

POLSKA AKADEMIA NAUK
INSTYTUT GEOGRAFII i PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA
im. Stanisława Leszczyckiego

DOKUMENTACJA GEOGRAFICZNA nr 29

Les relations
Climat → Homme → Climat

Édité par
Krzysztof Błażejczyk
Anna Beata Adamczyk



WARSZAWA 2003

DOKUMENTACJA GEOGRAFICZNA

Komitet Redakcyjny:

Krzysztof Błażejczyk (redaktor)
Bronisław Górz
Andrzej Kowalczyk
Teresa Kozłowska-Szczęsna
Roman Soja
Alojzy Woś
Barbara Jaworska (sekretarz)

Wydawca:
IG i PZ PAN

Adres redakcji:
00-818 Warszawa, ul. Twarda 51/55
tel.(48-22) 69 78 851
fax (48-22) 620 62 21

PL - ISSN 0012-5032
ISBN 83-87954-38-1

POLSKA AKADEMIA NAUK
INSTYTUT GEOGRAFII i PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA
im. Stanisława Leszczyckiego

DOKUMENTACJA GEOGRAFICZNA nr 29

Les relations
Climat → Homme → Climat

Édité par
Krzysztof Błazejczyk
Anna Beata Adamczyk



WARSZAWA 2003

<http://rcin.org.pl>

INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATE CHANGE
and related issues

DOCUMENTATION OF CLIMATE CHANGE

Climate – Humans – Climate

Edited by
Prof. Dr. J. H. R. van den Berg
Prof. Dr. J. H. R. van den Berg

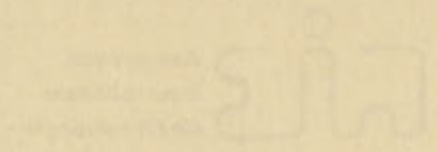


Table des matières

AVANT-PROPOS <i>K. Błażejczyk et A. B. Adamczyk</i>	11
LES PRECIPITATIONS A L'ORIGINE DES CRUES EXTREMES EN BASSE-NORMANDIE <i>E. Agasse</i>	13
UN CAS DE RISQUE CLIMATIQUE – LES CHABLIS DE FORETS PRODUITS PAR LE VENT DANS LE DEPARTEMENT DE SUCEAVA, LE 7 MARS 2002 <i>L. Apostol</i>	17
VARIABILITE CLIMATIQUE EN AFRIQUE DU NORD-OUEST <i>O. Baddour et Y. Djellouli</i>	21
UNE ETUDE HISTORIQUE DES RISQUES CLIMATIQUES EN ESPAGNE ENTRE LE XVI ^e ET LE XIX ^e SIECLES <i>P. Bárcena Odriozola, C. Diego Linao, J.C. García Codron et S. Pacheco Ibars</i>	25
ELABORATION D'UN SCENARIO CLIMATIQUE POUR LE MALI <i>A. Bayoko, F. Traore et S. Konate</i>	29
DIFFERENCES DE TEMPERATURE ET D'HUMIDITE AINSI QUE DIFFERENTIATION BIOCLIMATIQUE DANS DES ECOSYSTEMES CHOISIS DU PARC NATIONAL DE LA GRANDE POLOGNE <i>E. Bednorz, L. Kolendowicz et K. Szyga-Pluta</i>	33
L'IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA VITICULTURE EN FRANCE MEDITERRANEENNE <i>S. Bellia, A. Douguédroit et B. Seguin</i>	37
L'HOMME ET LES RISQUES LIES A UN POSSIBLE CHANGEMENT CLIMATIQUE <i>G. Beltrando</i>	41
VARIATIONS CLIMATIQUES ET CHANGEMENTS D'OCCUPATION DU SOL EN ZONE DE FORET PRIMAIRE : LE CAS DE LA FORET CLASSEE DU HAUT-SASSANDRA (Côte d'Ivoire) <i>S. Bigot, J. Oszwald et T.Y. Brou</i>	45
ETUDE DE LA DISTRIBUTION SPATIO-TEMPORELLE DES PARAMETRES CLIMATIQUES DANS LE TERRITOIRE DE L'ETHIOPIE: PREMIERS RESULTATS <i>P. Billi, M. Fazzini, S. Fratianni, F. Dramis, A. Biancotti et C. Bisci</i>	49
LA REPARTITION DES PRECIPITATIONS SELON LES TYPES DE REGIMES PERTURBES LE LONG DU COULOIR SAONE-RHONE (FRANCE) <i>G. Blanchet et J.-B. Suchel</i>	53
EVALUATION DU CLIMAT RESSENTIE DE LA POLOGNE EN UTILISANT DES NOUVEAUX INDICES BIOTHERMIQUES <i>K. Błażejczyk</i>	57
LA TEMPERATURE RESSENTIE PAR LES TOURISTES EN MONTAGNE EN ETE <i>K. Błażejczyk et M. Sitek</i>	61

REFLEXIONS A PROPOS DE LA FIABILITE DES DONNEES ET DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUPPORT: 100 ANS DE PRECIPITATIONS EN BASSE-NORMANDIE <i>O. Cantat et J.-O. Gires</i>	65
CLIMAT ET POLLUTION ATMOSPHERIQUE EN POUSSIERES (PM10): ROLES RELATIFS DES EMISSIONS ET DE LA DISPERSION DANS UNE VALLEE DE L'ARRIERE-PAYS NICOIS (CONTES, SUD-EST DE LA FRANCE) EN 2000 <i>P. Carrega</i>	69
TRAITEMENT DES DONNEES CLIMATOLOGIQUES EN VUE DES JEUX OLYMPIQUES DE TORINO 2006 <i>V. Coccolo, M. Nicoletta et R. Pelosini</i>	73
TEMPERATURE ET PRECIPITATIONS EXTREMES SUR LA FRANCE DANS UN SCENARIO DE CHANGEMENT CLIMATIQUE <i>M. Deque</i>	77
BILAN DES ECHANGES HYDRIQUES TERRE-ATMOSPHERE AU PASSAGE DES LIGNES DE GRAINS A DAKAR <i>B. Diop, B. Sow et D. Badiane</i>	81
LE RECHAUFFEMENT RECENT DU CLIMAT EN FRANCE ET SES CONSEQUENCES POUR L' AGRICULTURE <i>M. Domergue, I. Garcia de Cortazar, B. Seguin, N. Brisson et D. Ripoche</i>	85
L'EVENEMENT QUOTIDIEN EXTREME DU 19 SEPTEMBRE 2000 A MARSEILLE (FRANCE) <i>A. Douguédroit</i>	89
SUIVI DE LA SAISON DES PLUIES 1999-2000 AU MATO GROSSO (BRESIL) PAR IMAGERIE INFRAROUGE GOES <i>V. Dubreuil, A. Jallet, V. Jumeau et J. Ronchail</i>	
IMPACT DES BRISES DE MER ET DE TERRE SUR LA POLLUTION PHOTOCHIMIQUE URBAINE <i>A. Dudouit</i>	97
CALENDRIER – NOUVELLE METHODE D'ELABORATION DE DONNEES CLIMATOLOGIQUE <i>G. Durlo</i>	101
LE CALENDRIER BIOCLIMATIQUE EN TANT QUE METHODE D'ELABORATION CLIMATOLOGIQUE <i>G. Durlo</i>	105
CHANGEMENTS ET VARIABILITE DE LA DUREE DE LA PERSISTANCE ET DE L'EPAISSEUR DU COUCHE DE NEIGE EN POLOGNE AU XX ^e SIECLE <i>M. Falarz</i>	109
EVOLUTION DE LA QUALITE DE L' AIR MESUREE DANS LES VILLES ET LES CAMPAGNES EN SUISSE DURANT LES 15 DERNIERES ANNEES <i>J.-M. Fallot</i>	113

NIVOMETRIE DANS LE TERRITOIRE DU TRENTINO (ALPES ORIENTALES ITALIENNES) ET SES IMPLICATIONS TOURISTIQUES <i>M.Fazzini, S. Fratianni et M.Gaddo</i>	117
STRESS HYDRIQUE ESTIVAL ET INCENDIES DE FORET DANS LE NORD-OUEST DE LA TUNISIE <i>M. Feki et A. Douguédroit</i>	121
LES INVENTAIRES D'EMISSIONS SPATIALISES DU PROGRAMME ESCOMPTE: RESULTATS, DISCUSSION ET FUTURES APPLICATIONS <i>S. Francois, E. Grondin, S. Fayet et, J.-L. Ponche</i>	125
ANALYSE CLIMATIQUE DE LA STATION DE CAPO MELE (IM) (Ligurie, Italie) DANS LA PERIODE 1964-2002: IMPACT SUR LE TOURISME D'ETE <i>S. Fratianni</i>	129
ETUDE HYDROLOGIQUE D'UN MICRO BASSIN – ECOULEMENT, EROSION, RELATION AVEC LES PRATIQUES CULTURALES <i>R. Fury et J.P. Jacquinot</i>	133
LA PREVISION NIVO-METEOROLOGIQUE DANS LES GRANDS EVENEMENTES SPORTIFS EN HIVER: L'EXEMPLE DE « VAL DI FIEMME 2003 » <i>M. Gaddo, G. Tecilla, M. Fazzini, R. Barbiero, M. Pandesini, A. Piazza et G. Tognoni</i>	137
LES TENDANCES RECENTES DES TEMPERATURES DES OBSERVATOIRES DE MONTAGNE DE LA PENINSULE IBERIQUE <i>J.C. García Codron et D. Rasilla Alvarez</i>	141
LES BESOINS DE MESURES DE L'EVAPOTRANSPIRATION POUR LA GESTION DES TOURBIERES DE PLAINE <i>F. Grégoire et J.P. Amat</i>	145
LES PLUIES EXCEPTIONNELLES DU 19 SEPTEMBRE 2000 A MARSEILLE: COMPARAISON ENTRE RADAR ET DONNEES AU SOL <i>R. Guillon et A. Douguédroit</i>	149
ANALYSE DES CHAMPS DE PRECIPITATIONS POUR LA REGION DE SETIF (Algérie) <i>B. Haddad, L.Sadouki, R. Naili, A. Adane et H. Sauvageot</i>	153
DEUX ÉTATS STATISTIQUES CARACTÉRISENT-ILS LE CLIMAT DU DERNIER MILLÉNAIRE? <i>I. Haidu et J.-L. Mercier</i>	157
CLIMAT ET QUALITE DE L'EAU DANS LES BARRAGES EN TUNISIE: LE CAS DES BARRAGES DE <i>SIDI SALEM</i> ET <i>SIDI SAAD</i> <i>Z. Helaoui et H. Ben Boubaker</i>	161
CLIMAT ET BILANS HYDRIQUES DES BARRAGES EN TUNISIE <i>L. Henia, Z. Benzarti et H. Ben Boubaker</i>	165
GLACE DE LAC: CINQ ANNEES D'OBSERVATIONS ET DE SIMULATION AU LAC DELAGÉ (Québec) <i>A. Hufty</i>	169

INTERPOLATION SPATIALE DES CHAMPS THERMIQUES A MAILLE FINE (APPLICATION AU DEPARTEMENT DU VAUCLUSE) <i>D. Joly, P. Rossello, L. Garcia de Cortazar Atauri, B. Seguin, X.F. Gu, C. Riou et C. Sipp</i>	173
EFFET DE SERRE ET CHANGEMENT CLIMATIQUE DE LA SCIENCE A LA NEGOCIATION INTERNATIONALE <i>R. Juvanon du Vachat</i>	177
SUIVI PAR TELEDETECTION DU DEFICIT HYDRIQUE DANS LES PERIMETRES AGRICOLES DE L'ORANIE (Algérie) <i>H. Kadi et V. Dubreuil</i>	181
PATHOLOGIES RESPIRATOIRES ET POLLUTION ATMOSPHERIQUE DANS L'AGGLOMERATION CAENNAISE <i>S. Kermadi, D. Williams, V. Hamon Poupinel</i>	185
CONDITIONS BIOCLIMATIQUES DU COTE SUD DE LA MER BALTIQUE EN ETE <i>L. Kowalkowska, K. Błażejczyk et H. Kyrzcz</i>	189
APPROCHONS-NOUS A LA FIN DU HOLOCENE? <i>J. Litynski, C. Genest et F. Bellemare</i>	193
APPORTS DES SIG DANS L'ETUDE DU CLIMAT URBAIN: CAS DE MARSEILLE PENDANT LA CAMPAGNE ESCOMPTE (ETE 2001) <i>N. Long, S. Kermadi, A. Trébouet, J.-P. Lagouarde, C. Kergomard</i>	197
VARIABILITE SPATIALE DU VENT AU PRINTEMPS DANS LE VIGNOBLE MARNAIS <i>M. Madelini, G. Beltrando et F. Langellier</i>	203
ANALYSE DES MAXIMA D'ARIDITE POUR DES PERIODES PREDETERMINEES DANS L'OLTREPO DE PAVIE ET DE PLAISANCE (1951-1991) <i>I. Maggi, C. Meisina, C. Ottone et A. Ventrice</i>	207
LES DEPOTS DE GLACE DANS LES MONTAGNES DE BIHOR ET DE VLADEASA ET LEUR INFLUENCE SUR L'ENVIRONNEMENT <i>G. Mähära et O. Gaceu</i>	211
VARIABILITE ET TENDANCES DU NOMBRE MAXIMAL DES SEQUENCES SECHES ET HUMIDES EN GRECE DURANT LA PERIODE 1958-2000 <i>P. Maheras, Ch. Anagnostopoulou, K. Tolika et M. Vafiadis</i>	213
VARIABILITE CLIMATIQUE ET DEPOSITIONS ATMOSPHERIQUES COURANTES D'ACOES ANTROIQUES DANS L'AMAZONIE, MATO-GROSSO /BRESIL <i>G. T. Maitelli et W. S. Neto</i>	217
LES CHANGEMENTS DE LA TEMPERATURE A LA SURFACE DE LA MER BALTIQUE DANS LA REGION DE LA BAIE ET DE LA FOSSE DE GDAŃSK ET LEURS RELATIONS AVEC LA TEMPERATURE DE L'AIR (1871-1992) <i>A. A. Marsz et A. Styszyńska</i>	221
LA RELATION ENTRE LA METEOSENSIBILITE ET L'ETAT DE SANTE <i>A. Martynuska, B. Wojtach et M. Baranowska</i>	225

QUELQUES ASPECTS DU BILAN HYDRIQUE EN MILIEUX TROPICAL HUMIDE AU SUD DU CONGO <i>R. M'Bayi, J. Pérard, M. J. Samba-Kimbata, G. Samba et M. Mpounza</i>	229
SECHERESSE METEOROLOGIQUE ET AGRICOLE DANS LE NORD-OUEST DE L'ALGERIE <i>M. Meddi, L. Kouri et H. Meddi</i>	233
CLIMAT ET CRIMINALITE: UNE APPROCHE ANALYTIQUE A LA RECHERCHE D'UNE CORRELATION ENTRE LA TEMPERATURE DE L' AIR ET L'OCCURENCE DE CRIMINALITE URBAINE AU BRESIL <i>F. Mendonça</i>	237
TENDANCES CLIMATIQUES ET CONSEQUENCES REGIONALES DU RECHAUFEMENT GLOBAL DANS L'ETAT DU PARANA /BRESIL <i>F. Mendonça, R. Kröker et M. Nogaroli</i>	241
ANALISE GEOGRAPHIQUE DE LA LEPTOSPIROSE DANS LE PARANA ET A CURITIBA /BRESIL (1997-2001): UNE APPROCHE CLIMATOLOGIQUE <i>F. Mendonça et E.V. Paula</i>	245
ASPECTS GEOGRAPHIQUES DE LA MENINGITE DANS LE PARANA ET A CURITIBA /BRESIL (1992-2002): UNE APPROCHE CLIMATOLOGIQUE <i>F. Mendonça et E.V. Paula</i>	249
L'INCIDENCE DE LA DENGUE DANS LE PARANA ET A CURITIBA/BRESIL: APPROCHE CLIMATOLOGIQUE DE LA PERIODE 1995-2002 <i>F. Mendonça, E.V. Paula et M.M.F. Oliveira</i>	253
LE JOUR DU VENT ET DU FEU EN ROUMANIE <i>F. Moldovan, A.-E. Croitoru et C.S. Dragotă</i>	257
LE CLIMAT ET L'IMPLANTATION DES HOMMES: CAS DE LA COTE d'IVOIRE <i>R. Morel</i>	261
SCENARIOS CLIMATIQUES FUTURS AU CONGO <i>M. Mpounza et G. Samba</i>	265
CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES DES STATIONS BALNEOCLIMATIQUES DU LITTORAL ROUMAIN DE LA MER NOIRE <i>G. Neamu</i>	269
TENDANCES DES REGIMES PLUVIOMETRIQUES DANS LE SUD-EST MEDITERRANEEN FRANCAIS (1950-2000) <i>C. Norrant et A. Douguédroit</i>	271
MISE EN EVIDENCE D'UN CHANGEMENT DANS LA VARIABILITE PLUVIOMETRIQUE AU BENIN (AFRIQUE DE L'OUEST) <i>E. Ogouwale et L. Yabi</i>	275
APPLICATION DE LA TELEDETECTION ET DES TECHNIQUES DE SYSTEMES D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE DANS LES ETUDES DU CLIMAT URBAIN <i>K. Osinska-Skotak</i>	279

ECHANGE DE L'ENERGIE A L'INTERFACE TERRE-ATMOSPHERE COMME BASE D'UNE CLASSIFICATION DES TOPOCLIMATS <i>J. Paszyński</i>	283
VARIATION DES CONDITIONS BIOTHERMIQUES DEFAVORABLES A CRACOVIE <i>K. Piotrowicz</i>	285
RESEAU METEOROLOGIQUE URBAIN AU PORTUGAL : PREMIERE ANNEE D'OBSERVATIONS <i>V. Prior, R. Deus, C. Brandão et R. Carvalho</i>	289
ETUDE DE LA VARIABILITE SPATIALE DES TEMPERATURES MINIMALES EN MILIEU CLOS (HAIES BRISE-VENT) ET MISE EN PLACE D'UNE STRATEGIE RAISONNEE DE PROTECTION CONTRE LE GEL PRINTANIER <i>H. I. Quénot et G. Beltrando</i>	293
L'IMPACT DU TEMPS ATMOSPHERIQUE SUR LA MORTALITE D'HIVER A BARCELONE <i>J.M. Raso, L. Gómez et M.C. Moreno</i>	297
PRECIPITATIONS EN AFRIQUE DU SUD: OBSERVATIONS (1969-1998) ET SIMULATIONS (1969-1998, 2019-2049 ET 2070-2099) <i>Y. Richard, C. Marcel, Y. Zhao et P. Camberlin</i>	301
RADON ET INVERSIONS DE TEMPERATURE DANS L'AGGLOMERATION GRENOBLOISE <i>I. Roussel et J. Dechenaux</i>	305
LA VARIABILITE PLUVIOMETRIQUE DE LA SAISON AGRICOLE AU SUD DU CONGO (1950-1998) <i>G. Samba et M. Mpounza</i>	309
QUELQUES ASPECTS SPATIAUX DES PLUIES EXTREMES <i>V. Sorocovschi et I. Haidu</i>	313
LA MISE EN PLACE DE LA MOUSSON EN AFRIQUE DE L'OUEST <i>B. Sultan et S. Janicot</i>	317
APPLICATIONS AGRONOMIQUES DE L'ETUDE DE LA DYNAMIQUE REGIONALE DE LA MOUSSON EN AFRIQUE DE L'OUEST <i>B. Sultan, Ch. Baron, M. Dingkuhn et S. Janicot</i>	321
VERIFICATION DE LA RELATION ENTRE CONDITION METEOROLOGIQUE ET LES CARACTERISTIQUES DE POLLUTION DE L'AIR A CRACOVIE (1997-2002) <i>I. Śliwka, D. Limanówka, M. Jackowicz-Korczyński et J. Lasa</i>	325
LE POTENTIEL THERAPEUTHIQUE DES FACTEURS NATURELS DE LA MER NOIRE <i>E. Teodoreanu</i>	329
ANNEES ARROSEES ET ANNEES SECHES AU PROCHE-ORIENT RELATIONS AVEC LA CIRCULATION ATMOSPHERIQUE REGIONALE <i>M. Traboulsi et P. Camberlin</i>	333

SAISONNALITE, TRADITION ET MORBIDITE: LE CAS DU PALUDISME ET DE LA MENINGITE A NGAOUNDERE <i>M. Tsalefac, Th. Kagombe et R. Ngoufo</i>	337
VARIABILITE DES PRECIPITATIONS SOUS FORME DE NEIGE A „POGÓRZE KARPACKIE” <i>R. Twardosz</i>	341
L'EVOLUTION DES PHENOMENES DE TEMPS SEC ET SECHERESSE DANS LE PLATEAU DE DOBROUDJA DU SUD – ROUMANIE <i>I. Văduva</i>	345
MISE AU POINT D'UN INDICATEUR DE STRESS HYDRIQUE PAR THERMOGRAPHIE INFRAROUGE (APPLICATION A LA POMME DE TERRE) <i>A. A. Viau et S.O. Kotchi</i>	349
ETUDE DE LA DYNAMIQUE DES BROUILLARDS COTIERS DANS LE SUD MAROCAIN (29°N) A L'AIDE D'IMAGES NOAA-AVHRR <i>L. Wahl</i>	353
LES CONDITIONS SYNOPTIQUES DE L'APPARITION DES JOURS AVEC LES TYPES CARACTERISTIQUES DU TEMPS A TORUN (Pologne) <i>M. Więclaw</i>	357
CONDITIONS BIOCLIMATIQUES DES CHAMBRES SOUTERRAINES DE TRAITEMENT CURATIF DANS LES MINES DE SEL EN POLOGNE <i>J. Wojkowski et B. Olechnowicz-Bobrowska</i>	361
LE MILIEU „OXYGENO-THERMIQUE” COMME L'INSTRUMENT D'EVALUATION DE VARIABILITE DU TEMPS <i>B. Wojtach</i>	363
LES RELATIONS ENTRE LE NOMBRE JOURNALIER DES HOSPITALISATIONS PROVOQUEES PAR L'INFARCTUS AIGU ET LE TEMPS <i>B. Wojtach, J. Król, S. Sawicki et A. Martynuska</i>	367
QUELQUES PARTICULARITES DE LA VARIABILITE PLUVIOMETRIQUE DANS UN CLIMAT DE TRANSITION: CAS DU DEPARTEMENT DU ZOU AU BENIN – AFRIQUE DE L'OUEST <i>I. Yabi et F. Afouda</i>	371
EVALUATION DE L'ENERGIE SOLAIRE EN ALGERIE <i>F. Youcef Ettoumi, H. Sauvageot et A.-el-H. Adane</i>	375
LES CONDITIONS DE CIRCULATION PROPRES A LA VARIABILITE DE LA NEBULOSITE EN POLOGNE, EN 1951-2000 <i>E. Żmudzka</i>	379

100	EXAMINATION OF THE EFFECTS OF ...
101	THE EFFECTS OF ...
102	THE EFFECTS OF ...
103	THE EFFECTS OF ...
104	THE EFFECTS OF ...
105	THE EFFECTS OF ...
106	THE EFFECTS OF ...
107	THE EFFECTS OF ...
108	THE EFFECTS OF ...
109	THE EFFECTS OF ...
110	THE EFFECTS OF ...
111	THE EFFECTS OF ...
112	THE EFFECTS OF ...
113	THE EFFECTS OF ...
114	THE EFFECTS OF ...
115	THE EFFECTS OF ...
116	THE EFFECTS OF ...
117	THE EFFECTS OF ...
118	THE EFFECTS OF ...
119	THE EFFECTS OF ...
120	THE EFFECTS OF ...
121	THE EFFECTS OF ...
122	THE EFFECTS OF ...
123	THE EFFECTS OF ...
124	THE EFFECTS OF ...
125	THE EFFECTS OF ...
126	THE EFFECTS OF ...
127	THE EFFECTS OF ...
128	THE EFFECTS OF ...
129	THE EFFECTS OF ...
130	THE EFFECTS OF ...
131	THE EFFECTS OF ...
132	THE EFFECTS OF ...
133	THE EFFECTS OF ...
134	THE EFFECTS OF ...
135	THE EFFECTS OF ...
136	THE EFFECTS OF ...
137	THE EFFECTS OF ...
138	THE EFFECTS OF ...
139	THE EFFECTS OF ...
140	THE EFFECTS OF ...
141	THE EFFECTS OF ...
142	THE EFFECTS OF ...
143	THE EFFECTS OF ...
144	THE EFFECTS OF ...
145	THE EFFECTS OF ...
146	THE EFFECTS OF ...
147	THE EFFECTS OF ...
148	THE EFFECTS OF ...
149	THE EFFECTS OF ...
150	THE EFFECTS OF ...
151	THE EFFECTS OF ...
152	THE EFFECTS OF ...
153	THE EFFECTS OF ...
154	THE EFFECTS OF ...
155	THE EFFECTS OF ...
156	THE EFFECTS OF ...
157	THE EFFECTS OF ...
158	THE EFFECTS OF ...
159	THE EFFECTS OF ...
160	THE EFFECTS OF ...
161	THE EFFECTS OF ...
162	THE EFFECTS OF ...
163	THE EFFECTS OF ...
164	THE EFFECTS OF ...
165	THE EFFECTS OF ...
166	THE EFFECTS OF ...
167	THE EFFECTS OF ...
168	THE EFFECTS OF ...
169	THE EFFECTS OF ...
170	THE EFFECTS OF ...
171	THE EFFECTS OF ...
172	THE EFFECTS OF ...
173	THE EFFECTS OF ...
174	THE EFFECTS OF ...
175	THE EFFECTS OF ...
176	THE EFFECTS OF ...
177	THE EFFECTS OF ...
178	THE EFFECTS OF ...
179	THE EFFECTS OF ...
180	THE EFFECTS OF ...
181	THE EFFECTS OF ...
182	THE EFFECTS OF ...
183	THE EFFECTS OF ...
184	THE EFFECTS OF ...
185	THE EFFECTS OF ...
186	THE EFFECTS OF ...
187	THE EFFECTS OF ...
188	THE EFFECTS OF ...
189	THE EFFECTS OF ...
190	THE EFFECTS OF ...
191	THE EFFECTS OF ...
192	THE EFFECTS OF ...
193	THE EFFECTS OF ...
194	THE EFFECTS OF ...
195	THE EFFECTS OF ...
196	THE EFFECTS OF ...
197	THE EFFECTS OF ...
198	THE EFFECTS OF ...
199	THE EFFECTS OF ...
200	THE EFFECTS OF ...

Avant-propos

Ce volume de "Dokumentacja Geograficzna" (Documentation Géographique) rassemble, par ordre alphabétique, les résumés des communications et des posters, dont la présentation est prévue au XVI Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, du 10 au 13 Septembre 2003 à Varsovie.

L'Association Internationale de Climatologie (AIC) est un organisme fondé en 1988 pour promouvoir les recherches en climatologie et les contacts entre les climatologues francophones du monde entier. Un de sa but est la promotion d'échanges d'informations concernant les études climatologiques lors des réunions et des colloques. Cette année Laboratoire de Climatologie de l'Institut de Géographie et de l'Aménagement du Territoire, de l'Académie Polonaise des Sciences en coopération de l'Union Géographique Internationale, l'Université de Bydgoszcz et l'Université de Varsovie avons eu l'honneur d'organiser XVI Colloque de l'AIC.

*Le thème principal de Colloque sont les relations: **Climat → Homme → Climat**. Les présentations représentent les domaines varies de climatologie général et de climatologie appliqué:*

- *changement global (climat moyen, extrêmes, distributions, ...),*
- *bioclimatologie humaine,*
- *topoclimatologie et climatologie urbaine,*
- *éco-climatologie,*
- *variabilité climatique.*

Krzysztof Błażejczyk, Anna Beata Adamczyk

Przedmowa

Obecny tom "Dokumentacji Geograficznej" zawiera, w porządku alfabetycznym, rozszerzone streszczenia referatów i posterów zaprezentowanych na XVI Kolokwium Międzynarodowej Asocjacji Klimatologii (Association Internationale de Climatologie), które odbyło się w Warszawie, w dniach 10-13 września 2003 r.

Międzynarodowa Asocjacja Klimatologii została założona w 1988 roku w celu promowania badań klimatologicznych, a także rozwijania kontaktów pomiędzy klimatologami frankofońskimi. Jednym ze sposobów działalności Asocjacji jest wymiana doświadczeń naukowych na konferencjach organizowanych rokrocznie przez członków Asocjacji. W tym roku Zakład Klimatologii IGiPZ PAN wraz z Akademią Bydgoską, Międzynarodową Unią Geograficzną i Uniwersytetem Warszawskim mieli zaszczyt zorganizowania XVI konferencji AIC w Polsce.

Tematem ogólnym Konferencji były relacje zachodzące pomiędzy człowiekiem a klimatem. Zaprezentowane referaty i postery koncentrowały się wokół następujących zagadnień z zakresu klimatologii ogólnej i stosowanej:

- *zróźnicowanie klimatu w skali globalnej i regionalnej,*
- *bioklimatologia człowieka,*
- *topoklimat i klimat miast,*
- *eko-klimat,*
- *zmiany klimatu.*

Krzysztof Błażejczyk, Anna Beata Adamczyk

Le volume de "L'écologie des populations" (Écosystème) présente une synthèse des connaissances actuelles sur les interactions entre les individus et les groupes dans les populations et sur les mécanismes évolutifs de l'évolution des populations.

L'ouvrage de l'Université de Göttingen (1971) est un ouvrage fondamental sur les interactions entre les individus et les groupes dans les populations. Il présente une synthèse des connaissances actuelles sur les interactions entre les individus et les groupes dans les populations et sur les mécanismes évolutifs de l'évolution des populations.

Le livre "L'écologie des populations" est un ouvrage fondamental sur les interactions entre les individus et les groupes dans les populations et sur les mécanismes évolutifs de l'évolution des populations.

- Écosystème et interactions
- Évolution des populations
- Écologie des populations
- Écologie des populations

Écosystème et interactions

Écosystème

Le livre "L'écologie des populations" est un ouvrage fondamental sur les interactions entre les individus et les groupes dans les populations et sur les mécanismes évolutifs de l'évolution des populations.

Le livre "L'écologie des populations" est un ouvrage fondamental sur les interactions entre les individus et les groupes dans les populations et sur les mécanismes évolutifs de l'évolution des populations.

Le livre "L'écologie des populations" est un ouvrage fondamental sur les interactions entre les individus et les groupes dans les populations et sur les mécanismes évolutifs de l'évolution des populations.

- Écosystème et interactions
- Évolution des populations
- Écologie des populations
- Écologie des populations

Écosystème et interactions

LES PRECIPITATIONS A L'ORIGINE DES CRUES EXTREMES EN BASSE-NORMANDIE

Estelle AGASSE

*Laboratoire GEOPHEN-UMR 6554 CNRS, Université de Caen Basse-Normandie
Esplanade de la Paix, 14 032 Caen Cedex, France, agasse@geo.unicaen.fr*

Mots clés: précipitations, inondations hivernales, évolution climatique

Abstract: Since last decades, Normandy was affected by strong floods whose magnitude and frequency increase. The aim of this paper is to characterize the precipitations responsible for floods in Normandy.

Introduction

Depuis quelques années, la Basse-Normandie est marquée par une succession de crues hivernales importantes (1990, 1995, 1999, 2001). Une telle succession d'événements exceptionnels interroge sur l'évolution de la fréquence et de l'intensité de ces phénomènes, ainsi que sur les causes climatiques de ces événements.

En Basse-Normandie, les précipitations importantes sont le 1^{er} facteur à l'origine des crues, c'est pourquoi une attention particulière doit leur être portée afin de voir s'il existe une évolution en terme de volume, de répartition ou de genèse, capable d'expliquer les changements remarquables dans les hauteurs d'eau atteintes et la succession rapprochée des événements très intenses. Ces événements découlent en général d'une situation pluviométrique excédentaire sur des sols déjà largement saturés par l'excès d'eau des mois ayant précédé l'événement. Les périodes de crue s'inscrivent également dans une conjoncture climatique qui allie à la fois niveau des nappes (Cantat et al., 2002) et précipitations antécédentes.

En revanche, l'évaporation et l'évapotranspiration sont constantes en fin d'automne et en hiver en Basse-Normandie, période lors de laquelle les crues se produisent et affectent assez peu les relations pluie-débit.

Méthode

La réponse hydrologique d'un bassin versant est fortement dépendante de son état hydrique initial. Elle est conditionnée par: (1) une tendance climatique durable (qui semble stationnaire sur plusieurs décennies), (2) des conjonctures climatiques à la baisse ou à la hausse sur plusieurs années, c'est-à-dire de mouvements passagers mais durables inscrits dans le temps, (3) un rythme saisonnier et (4) des résidus que l'on assimile à des événements exceptionnels. La conjonction de plusieurs tendances positives: un niveau des nappes élevé, des précipitations hivernales importantes et une saturation des sols liée à la succession plus ou moins répétée des séquences pluvieuses précédant l'événement pluie-débit, ont pour conséquence des crues catastrophiques.

L'**objectif** de cette étude est de prouver l'intensification des crues extrêmes ces dernières années et d'identifier des volumes de précipitations efficaces à leur origine. L'étude est réalisée sur les 28 crues de période de retour de deux ans, répertoriées depuis 1950 à Thury-Harcourt sur le cours de l'Orne (Fig. 1). Ces crues ont dépassé la cote de 3,25 mètres, ce qui correspond à un débit estimé de 215 m³/s.

Parmi celles-ci, nous cherchons à caractériser les 13 crues "extrêmes", c'est-à-dire celles qui ont provoqué d'importants dégâts, définies par une hauteur atteinte de plus de 3,5 mètres.

Pour atteindre ce but, la mise en évidence des phases préparatoires des crues par l'étude des débits et des précipitations antécédentes, lors des quelques mois précédant la crue, est réalisée. Lors de cette phase, les sols soumis à des séquences pluvieuses fréquentes et

longues n'ont pas le temps de se ressuyer. Les précipitations alimentent alors l'écoulement de surface et hypodermique, les sols et les nappes étant rechargés.



Fig. 1. Localisation du Bassin versant de l'Orne

Les séquences pluvieuses composant les phases préparatoires sont des unités temporelles élémentaires pendant lesquelles les processus d'interception, de saturation des sols et de ruissellement hortonien et d'écoulement hypodermique opèrent sous la dépendance de conditions climatiques qui leur sont favorables. Nous avons défini et critiqué la notion de seuil et pouvons alors considérer comme séquence, une suite de deux jours consécutifs au moins pendant lesquels le volume de précipitations est au moins égal à 0,5 mm de pluie par 24 heures. Toutes les séquences sont alors encadrées par des événements secs ou par des séquences très peu pluvieuses, que l'on nomme des interséquences (entre 0,1 et 0,4 mm). La distribution, le nombre et la durée des interséquences déterminent les périodes pendant lesquelles le sol, n'étant plus soumis à de fortes précipitations continues, a le temps de se ressuyer. Moins ces périodes d'interruption des précipitations sont nombreuses, plus les écoulements (de surface et hypodermiques) sont favorisés.

Afin de déterminer la phase préparatoire, la **méthode** employée consiste à tracer sur les trois mois précédant la crue le couple hydrogramme-hyétogramme et de déterminer sur la courbe de tarissement, le moment à partir duquel les précipitations n'ont plus d'incidence sur la phase de montée de la crue. Au-delà de trois mois, en effet, les précipitations antécédentes sont mobilisées pour l'infiltration et la recharge des nappes et n'interviennent plus dans la réaction "en surface" de l'hydrogramme. Les hydrogrammes sont tracés à partir des données de débits de l'Orne à Rabodanges, station pour laquelle la série des débits journaliers est la plus longue (1960-2001). Pour les crues antérieures à 1960, la durée de la phase de préparation est estimée à partir de la distribution des précipitations.

Après avoir déterminé pour chacune des crues la longueur de la phase préparatoire, nous cherchons à caractériser la crue à l'aide de 7 paramètres caractéristiques de cette dernière: la longueur totale de la phase préparatoire, le nombre de séquences pluvieuses la composant, le volume total de ces séquences participant à la recharge, le nombre d'interséquences, c'est-à-dire de phases d'interruption, le débit maximal de la crue à Rabodanges (jusqu'en 1960), la hauteur maximale de la crue atteinte à Thury-Harcourt, le débit de base, déterminé par l'hydrogramme et identifiant la conjoncture climatique ou le niveau de la nappe avant la phase préparatoire.

Les quatre premiers paramètres conditionnent l'état du sol avant l'événement alors que les trois derniers témoignent de l'état des réserves. Pour chacune des 28 crues, les paramètres de la phase préparatoire exposés ci-dessus ont été déterminés.

Enfin, le dernier point de l'étude consiste à réaliser une typologie des crues s'étant produites en Basse-Normandie depuis 1950. Nous décidons de réaliser une analyse en composantes principales (ACP) sur les 28 crues de l'étude, permettant de déterminer les facteurs prépondérants à l'origine de ces crues et inondations. L'objectif est de caractériser l'évolution chronologique de ces conditions capables d'expliquer l'augmentation des hauteurs atteintes par les crues des deux dernières décennies.

Résultats

1. Evolution des épisodes de crue et d'inondation en Basse-Normandie depuis 50 ans

Au cours du dernier demi-siècle, le nombre et l'intensité des fortes crues a eu tendance à augmenter (Agasse, 2002). Leur distribution chronologique montre en effet une intensification de leur fréquence depuis le début des années 1980 ainsi qu'une augmentation des hauteurs atteintes (Fig. 2). Huit des treize crues se sont produites depuis 1980 et parmi celles-ci, les cinq dernières ont atteint un niveau supérieur à 4 mètres.

Comment expliquer l'intensification des hauteurs atteintes et de la fréquence de ces événements extrêmes? Est-elle liée à des précipitations antécédentes plus importantes, à une conjoncture climatique favorable, ou à la concomitance des deux?

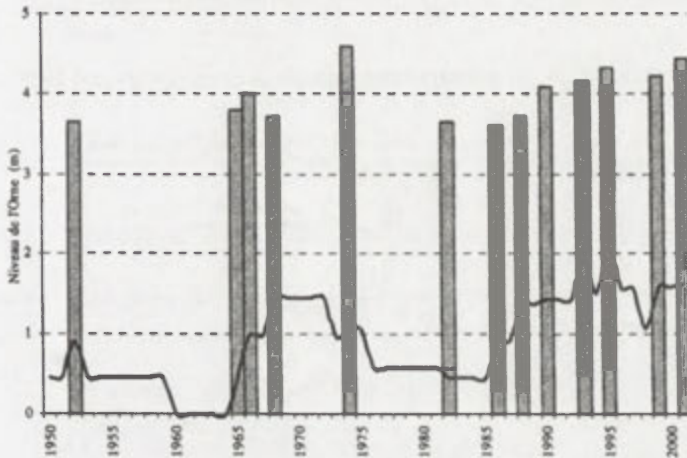


Fig. 2. Evolution des crues de l'Orne de plus de 3,5 mètres à l'échelle de Thury-Harcourt depuis 1950

2. Importance des conditions antécédentes d'humidité: étude des phases préparatoires et de la conjoncture climatique à l'origine des crues extrêmes

L'une des raisons évoquées peut alors être une modification de la répartition temporelle des précipitations antécédentes des crues. Pour répondre à cette question, une analyse fine des événements est indispensable.

Cette analyse permet, à terme, d'évaluer la part des causes climatiques dans le déclenchement et l'exacerbation des crues et des inondations ces dernières années.

Les résultats préliminaires exposés sont issus du traitement de deux crues, celle de 1990 et celle de 1995 (Fig. 3 et 4) pour lesquelles l'identification de la phase préparatoire et des paramètres entrant dans l'ACP a été réalisée.

Les crues de 1990 et 1995 se distinguent par leur genèse. La phase préparatoire en 1995, est plus courte et moins volumineuse que celle de 1990. Pour autant, le débit et la hauteur atteints en 1995 sont plus élevés que ceux atteints par la crue de 1990. Il faut chercher dans ces différences le rôle de la conjoncture climatique qui influe sur celle des nappes, indiquée par le niveau de base. En 1995, le niveau de base plus élevé est le reflet de la longue période de plusieurs mois pendant laquelle, les précipitations ont eu le temps de faire monter le niveau de la nappe. Une autre explication vient également de la répartition des séquences pluvieuses et des interséquences pendant la phase de préparation. L'ensemble de ces paramètres pris en compte explique l'importance du débit maximum observé en 1995. Le tableau suivant résume les paramètres observés pour les deux crues (Tabl. 1).

Le même travail, réalisé pour l'ensemble des 28 crues s'étant produites depuis un demi-siècle, fournit les données alimentant une ACP permettant de réaliser une typologie des crues.

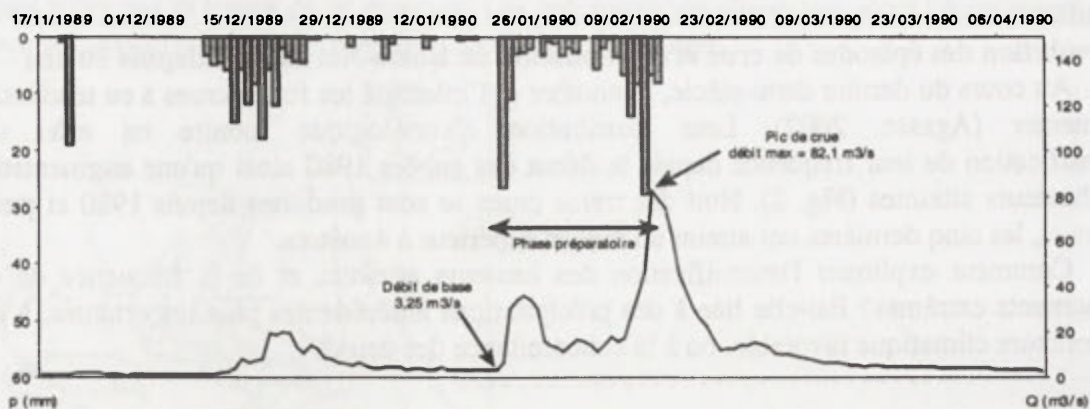


Fig. 3. Identification de la phase préparatoire lors de la crue de février 1990

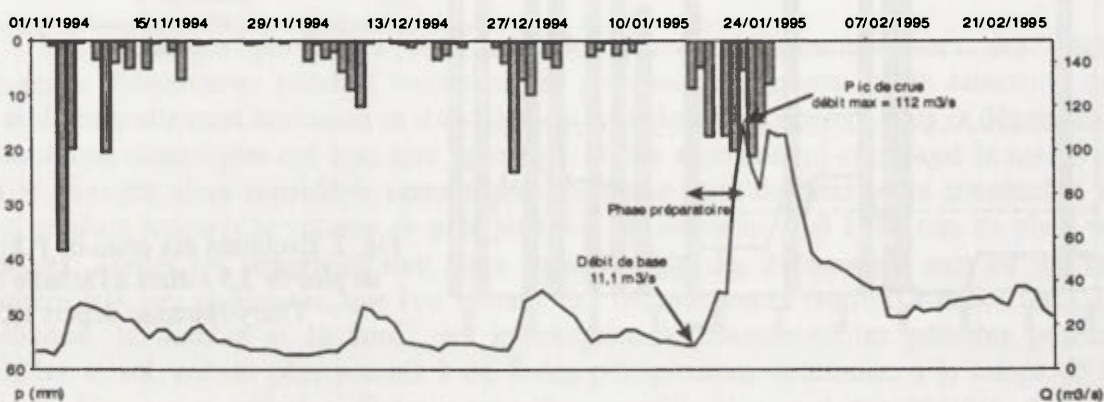


Fig. 4. Identification de la phase préparatoire lors de la crue de janvier 1995

Tableau 1. Caractérisation des phases préparatoires des crues

Crue	Durée de la phase préparatoire (jours)	Nb. de séquences de recharge	Volume de la recharge (mm)	Nb. d'interséquences	Durée des interséquences (Jours)	Débit maximum (m^3/s) Rabodanges	Débit de base (m^3/s) Rabodanges	Hauteur à Thury-Harcourt
15 février 1990	23	4	131,9	3	4	82,1	3,25	4,09
23 janvier 1995	7	2	116	1	1	112	11,1	4,32

Conclusions

Les premiers résultats issus de recherche des précipitations antécédentes des crues ont montré que l'analyse de la phase préparatoire ne permettait pas, à elle seule, d'expliquer l'origine des événements normaux et extrêmes que nous connaissons. En revanche, l'étude de ces phases et celle des conjonctures climatiques sur le plus long terme qui associe le niveau des nappes, permettent d'apporter quelques éléments de réponse.

L'objectif de l'ACP sur les 28 crues est de mettre en évidence les types de crues, ainsi que les facteurs déclenchants. Elle permet aussi de replacer les crues "extrêmes" dans la succession chronologique des crues "normales" et d'identifier les facteurs explicatifs de l'augmentation de l'intensité des crues et de leur fréquence ces dernières décennies.

Bibliographie

- AGASSE, E., 2002: Historical evidence of extreme flood events from the 17th to the 20th century in western France (Normandy), *Paleofloods, Historical data and climatic variability: Applications in flood Risk Assessment*, Colloque international, Barcelone, 16-19 octobre 2002.
- CANTAT, O., CADOR, J-M. et AGASSE, E., 2002: L'originalité des inondations de 2000-2001 dans la Plaine de Caen (Normandie – France), quand la remontée des nappes souterraines prolonge le débordement des rivières, *Annales de Géographie*, 246-264.

UN CAS DE RISQUE CLIMATIQUE – LES CHABLIS DE FORÊTS PRODUITS PAR LE VENT DANS LE DÉPARTEMENT DE SUCEAVA, LE 7 MARS 2002

Liviu APOSTOL

Département de Géographie et Géologie, L'Université „Al. I. Cuza”

B-dul Carol I, no. 11 A, 6600 Iași, România

apostolliv@yahoo.com

Mots clés: chablis de forêts, le département de Suceava, Roumanie

Abstract: The very strong wind from the 7th March in entire Romania, recorded the highest speed in the Suceava County. In this period, this aria entered under the influence of Southern periphery influence of a Icelandic depression, situated in the North of Europe. The Western intense wind (>144 km/h) produced the greatest felling in the forests of the County.

Introduction

Dans la Roumanie, le principale risque climatique est constitué par les précipitations atmosphériques, qui peuvent produire des inondations ou, lorsqu'elles manquent, des sécheresses. Le vent constitue le deuxième facteur de risque en produisant des pertes à cause des grandes vitesses.

Le département de Suceava est situé au Nord de la Roumanie et il a une surface de 8553 km² desquels plus de la moitié se trouve dans la région de montagne (les Carpates Orientales). Le département de Suceava, le deuxième de la Roumanie, et le premier en ce qui concerne la surface couverte de forêts (4566 km²). La surface de montagne est occupée presque entièrement de forêts d'épicéas, en mélange avec le sapin et le hêtre dans les aires plus basses et dans l'aire de plateau il y a des forêts de hêtre et de chêne. La plupart du fond forestier a souffert des abattages et des replantages, étant ainsi plus fragile face aux chablis des forêts. Les racines de l'épicéas, en forme de disque, à une profondeur réduite, favorisent les chablis produites à cause du vent et les ruptures à cause des sédiments de neige.

Les chablis des forêts du 6-8 mars 2002, suivis par les ruptures causées par la neige tombée dans la région de montagne le 24-25 mars, ont été les plus sérieuses connues dans cette aire dans les derniers 30 ans et parmi les plus sérieuses de la Roumanie. Les pertes principales ont été produites par le vent très fort dans la période 6-8 mars, surtout le 7 mars. Le phénomène a été comparé dans les médias avec le „météorite tungus”. Le vent très fort enregistré le 7 mars dans toute la Moldavie et dans les Carpates Orientales, a enregistré des grandes vitesses dans le département de Suceava, où se sont produites les plus grandes pertes, surtout en ce qui concerne le fond forestier. Les constructions ont été affectées, les arbres abattus ont bloqué des voies de fer et beaucoup de rues, l'électricité et les liens téléphoniques ont été interrompus dans nombreuses localités, on a produit des incendies et d'autres pertes. On n'a pas eu de victimes humaines.

Méthode

On a fait une analyse synoptique et climatologique des conditions qui ont produit les chablis de forêts du département de Suceava, dans la période 6-8 mars 2002. L'analyse synoptique a utilisé les cartes synoptiques des satellites: au sol (de l'Europe et de la Roumanie), aux niveaux de 850,700 et 500 hPa et de la tendance barique. L'analyse climatologique a été faite sur les éléments et les phénomènes impliqués dans les chablis de forêts de cette période, et aussi sur les paramètres multiannuels de la vitesse du vent dans les stations météorologiques sur le territoire du département de Suceava. Le système actuel de mesure aux stations météorologiques, avec la girouette, ne permet pas l'enregistrement de vitesses plus grandes de 40 m/s (144 km/h). La vitesse du vent est enregistrée chaque heure,

pur la direction et la vitesse, tant médiatement, pour une période d'observation de 2 minutes, que pour la direction et la vitesse de la rafale plus forte. Les dates oraires sont enregistrées dans le registre météorologique. Les tableaux météorologiques contiennent seulement les vitesses oraires médiate. Une analyse de la vitesse des rafales, pour les fils entiers d'observations, est difficile à réaliser. Dans le travail ont été utilisées les vitesses oraires médiate pour lesquelles on a sélectionné les valeurs des vitesses maxima, de toutes les stations météorologiques existentes ou qui ont fonctionné dans le département de Suceava, pendant toute la période d'observations, ou pour un nombre d'années signifiant.

Résultats

La situation synoptique au sol et en altitude dans la période 6-8 mars

Le 6 mars à 00 heures UTC, le Sud-Est de l'Europe était occupé par un champ de pression élevée avec le centre à l'Est du Mer Noir. Au Nord de la parallèle 50⁰ latitude Nord évoluait une vaste dépression, de nature islandaise, avec le centre dans la Mer de la Norvège. Pendant les prochaines 12 heures la dépression islandaise s'est déplacée vers le Sud Est, l'isobare de 1015 hPa atteignant l'Ouest et le Nord de la Roumanie. Après encore 12 heures (7 III, 00 UTC), la dépression islandaise a continué à descendre vers le Sud-Est, jusqu'aux Pays Baltes. Maintenant, la Roumanie est entrée sous l'influence de la périphérie sudique de celle-ci, la circulation de l'air prédominant de la direction Ouest-Sud-Ouest, étant intense dans la moitié de Nord de la Roumanie, au niveau de 850 hPa atteignant 29-33 m/s. Dans la Moldavie, le jour de 7 mars a eu un ciel serein et, à 13 heures, des températures plus élevées, d'environ 10° C, par rapport a la moyenne de cette période, dans une masse d'air tropicale. Depuis la nuit, dans l'aire de montagne, et pendant le matin, dans l'aire de collines du département de Suceava, la vitesse du vent a commencé à s'intensifier. Pendant l'après midi du 7 mars, un front froid a traversé le pays de Nord-Nord-Ouest à Est-Sud-Est (fig.1) et la circulation de l'air au sol s'est orientée de Nord-Nord-Ouest, la vitesse du vent atteignant le

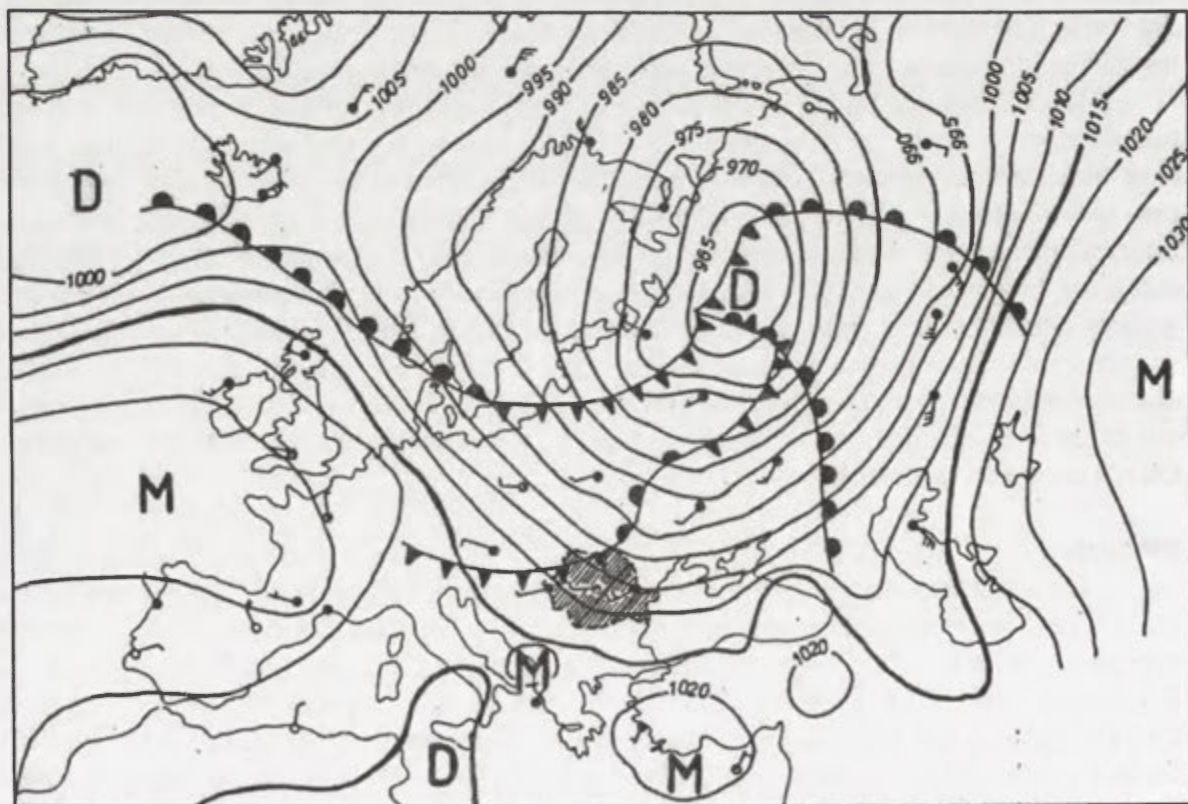


Fig. 1. Le champ de la pression atmosphérique au sol le 7 mars 2002, 18 heures UTC

maximum vers le soir. Dans la moitié inférieure de la troposphère, jusqu'au niveau de 500 hPa (5000 m), la circulation de l'air a été très intense, du secteur Ouest: à 850 hPa (1500 m), plus de 25 m/s ; à 700 hPa (3000m), plus de 30 m/s; à 500 hPa (5500 m), plus de 60 m/s (plus de 216 km/h). À 500 hPa, niveau qui caractérise très bien la troposphère moyenne, est bien mis en évidence le courant conducteur avec une direction prédominante de Ouest. Le 6 III, à 00 heures UTC, le courant était situé au nord de la Roumanie, l'isohypse caractéristique de 548 damgp se situant au long de la parallèle 57°, pour descendre ensuite vers le Sud. Le 8 mars, à 00 heures UTC, cette isohypse, qui marquait le centre du courant conducteur, se trouvait très près du Nord de la Roumanie, et la vitesse du courant d'altitude dépassait 200km/h.

L'analyse climatologique

Au présent, sur le territoire du département fonctionnent avec un oraie complet seulement les stations météorologiques Călimani, Rădăuți et Suceava. Les stations météorologiques Rarău, Poiana Stampei et Fălticeni fonctionnent dans l'intervalle 7-19. La représentativité des stations météorologiques, exclue leur situation dans des aires avec des conditions pour l'enregistrement des vitesses les plus grandes, à l'exception des stations situées sur les cimes hautes. La vitesse du vent atteint des valeurs hautes des moyennes seulement sur les cimes hautes. A 2022m altitude, à la station météorologique Călimani, les vents de Ouest ont la vitesse moyenne la plus élevée (10,3m/s) et la fréquence moyenne de 17,5%. Toujours ici, la vitesse moyenne dépasse 10m/s pendant les mois d'hiver et la vitesse moyenne oraie dépasse 10m/s pendant les mois d'hiver entre les heures 19 et 7. Le vent fort (>16m/s) a des fréquences hautes seulement sur les cimes, ses fréquences étant les plus réduites dans les depressions de montagne (tab.1).

Tableau 1. La fréquence (%) du vent fort (>16m/s) aux stations météorologiques du département de Suceava

Station meteorolog.	Dolhasca	Fălticeni	Suceava	Rădăuți	C-lung Moldov.	Vatra Dornei	Poiana Stampei	Rarău	Căliman
Période d'observ.	1984-1998	1961-1998	1971-2000	1961-2000	1961-2000	1988-2000	1961-2000	1996-2000	1992-2000
Fréq. (%)	0,03	0,2	1,0	1,0	0,7	0,01	0,02	0,3	11,5

Les vitesses maxima absolues dépassent pendant presque tous les mois 40m/s à Căliman, surtout pendant l'hiver et au début du printemps, à Rarău et accidentalement à Câmpulung Moldovenesc (tab.2). Dans l'aire de montagne, dans les depressions, les vitesses maxima n'ont pas dépassé 20m/s, à Vatra Dornei et 14m/s à Poiana Stampei. A l'Ouest du Département de Suceava, dans le Plateau de Suceava les vitesses maxima n'ont pas dépassé 28m/s sur les cimes et dans la Depression de Rădăuți et 18m/s dans la vallée de la rivière Siret. Les vents avec des vitesses > 40m/s ont eu des fréquences grandes (0,2%), seulement à la station météorologique Căliman.

Tableau 2. Les vitesses maxima mensuelles et annuelles absolues aux stations météorologiques du département de Suceava

Stations	Altit (m)	Le mois												Ann	Période analysée
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
Dolhasca	230	12	14	16	12	10	16	12	9	18	9	12	17	18	1984/1998
Fălticeni	348	>20	>20	20	17	20	17	>20	>20	20	20	>20	>20	>20	1964/1998
Suceava	352	28	20	24	24	20	18	16	14	18	20	28	20	28	1975/2000
Rădăuți	389	24	24	24	24	24	18	20	18	28	28	24	24	28	1971/2000
C-l. Mold.	660	24	40	18	16	16	18	18	14	18	20	18	20	40	1974/2000
V. Dornei	825	10	10	10	9	9	8	9	9	9	12	20	9	20	1988/2000
P. Stampei	923	14	8	9	9	9	10	8	9	9	8	9	9	14	1997/2000
Rarău	1572	40	40	24	18	24	24	20	34	20	20	24	40	40	1981/2000
Căliman	2002	>40	>40	>40	>40	>40	40	34	>40	40	40	>40	>40	>40	1990/2000

Dans le Nord-Est de la Roumanie, le jour de 7 mars 2002 a eu des températures plus élevées, d'environ 10° C, par rapport à la moyenne de cette période, dans une masse d'air tropicale. Depuis le soir du 6 mars, le vent est devenu plus fort aux niveaux supérieurs de la surface de 850mb, et, depuis la nuit de 6/7 mars, sur les cimes de montagne on a dépassé à travers les rafales la vitesse de 144 km/h. Les vitesses ont continué à s'intensifier, et on a enregistré des rafales de plus de 144km/h sur les versants, dans les vallées et aussi dans les dépressions, le courant fort de l'altitude atteignant aussi les aires basses. Le premier intervalle avec des vitesses hautes dans les aires basses s'est produit entre les heures 10 et 15 UTC, et le deuxième, plus intense, le soir, entre les heures 21-23 UTC. Le 7 mars 2002, à la station météorologique Poiana Stampei, située dans une dépression de montagne, s'est produite la vitesse maxima annuelle absolue, et à Rarău on a égalé la vitesse maxima absolue pour le mois de mars.

La direction des vents plus forts, produites dans la seconde partie du 7 mars, a eu des composants de Ouest: au début Nord-Ouest et après avoir passé le front froid, Ouest-Nord-Ouest, dans l'aire de montagne et Ouest-Sud-Ouest et Nord-Ouest, dans l'aire de plateau. La vitesse des rafales a eu des valeurs entre 24-28 m/s dans la région de plateau et a dépassé 40m/s dans la région de montagne.

Conclusions

Le caractère turbulent du vent avec des grandes vitesses, dans les régions avec du relief accidenté, a provoqué des modifications de directions et des augmentations de la vitesse dans certaines aires, surtout des rafales, sur les cimes, dans les secteurs des confluences des vallées et sur les versants descendants, mais aussi dans d'autres conditions a provoqué foehn, accélérations catabatiques, des canalisations, des concentrations des lignes de courant etc. Cela a provoqué une plus grande extension des surfaces avec des chablis de forêt et des chablis en masse. On a eu aussi une grande variété des conditions dans lesquelles se sont produits les chablis de forêt. Le temps trop froid a partir de la troisième décennie du mois novembre jusqu'à la deuxième décennie de janvier, a été suivi d'un intervalle trop chaud qui a duré jusqu'à 7 mars. Cela a fait que le sol soit dégelé et humide, favorisant les chablis de forêt, dans les conditions du vent très fort. La neige abondante qui est tombée dans tout le département, mais surtout dans l'aire de montagne, dans la période 24-25 mars, a provoqué d'autres ruptures et chablis de forêt, sur toute la surface du département, mais surtout dans les aires affectées dans la période avec du vent fort, 6-8 mars 2002. Ainsi, plus de la moitié de la surface du fond forestier du département a été affectée (2453 km^2). Les chablis en masse se sont produits sur 1,7% de l'aire affectée, (41 km^2), surface sur laquelle on a produit 31% du volume total des chablis du département. Le volume totale de la masse de bois abattue a dépassé $4.000.000 \text{ m}^3$. deux tiers des pertes sont représentées par les chablis produits par la neige, entre 24-25 mars. Les arbres plus vieux de 60 années ont représenté 80% du total des chablis.

Bibliographie

- APOSTOL, L. 2002: Situații de risc climatic în Carpații Orientali – Doborâturi de pădure, *Al. XXII-lea Sem. Geogr. „D. Cantemir”*, Univ. „Al.I.Cuza”, Iași, 101-108.
- ICHIM, R. et BARBU, I. 1981: Rupturile și doborâturile provocate de zăpadă în pădurile județului Suceava, *Institutul de Cercetări și Amenajări Silvice, seria a II-a, București*, 1-15.
- VLAD, R. 1998: Cercetări asupra impactului produs de vânt și zăpadă asupra pădurilor de rășinoase din zonele expuse, *Institutul de Cercetări și Amenajări Silvice – Stațiunea Experimentală de Cultură a Molidului Câmpulung Moldovenesc – Raport anual*, 44-51.

VARIABILITE CLIMATIQUE EN AFRIQUE DU NORD-OUEST

Omar BADDOUR*, Yamna DJELLOULI **

* Direction de Météorologie du Maroc

* Professeur, Université du Maine, 72085 Le Mans

Mot clés: variabilité climatique, Afrique nord-ouest, sécheresses

Abstract: The paper presents the results of research dealing with climate variability in north west Africa (Maroc). The draughts in the last 30 years of XX century are studied.

I. Introduction

L'étude concerne l'Afrique du nord-ouest (Maroc, Algérie et Tunisie) marqué par un contraste géographique, où l'agriculture représente une activité majeure. Les sécheresses des années 80 et 90 du 20^{ème} siècle ont beaucoup influencé les aspects socio-économiques de la région entraînant parfois une grande fluctuation du PIB. La plupart des systèmes météorologiques occurrent durant les excursions des systèmes frontaux arrivant d'ouest et du nord-ouest traversant l'Atlantique et l'Europe amenant l'air froid et les pluies. La période pluvieuse s'étend d'Octobre à Mai avec 80% du total pluviométrique annuel et la saison sèche de Juin à Septembre. Néanmoins des nuages convectifs intéressent les zones montagneuses durant cette période à cause de l'infiltration de l'air humide tropical et sa convergence sur les plateaux et les montagnes, ce qui provoque l'instabilité de l'air et le développement des orages estivaux.

Plusieurs travaux de recherche ont étudié la variabilité pluviométrique inter-annuelle et les possibilités de prévision. Les résultats qui ont émané de ces travaux ont mis en évidence le rôle primordiale que joue l'oscillation nord atlantique dans l'explication d'une bonne partie de la variabilité pluviométrique de cette région. En effet ce résultat synthétise l'effet de l'Anticyclone des Açores sur la dynamique et la fréquence des systèmes pluvieux qui intéressent la région. La présente étude étend le champs d'investigation à un autre facteur liée à la dynamique de grande échelle. Outre cela, les ondes planétaires jouent un rôle important dans la circulation générale, leur excitation pouvant intervenir sous l'influence des facteurs de surface, en particulier la température de la surface de la mer. Celle-ci étant réchauffée par des anomalies causées au niveau de la circulation océanique, ce réchauffement est ainsi communiqué verticalement aux couches atmosphériques par le biais des énergie latentes et horizontalement par la dynamique des différentes ondes atmosphériques planétaires en particulier celles de type onde de Rossby.

II. Etude de cas de Novembre

II.1 Données utilisées

Plusieurs études révèlent que les cas de pluviométrie extrême sont surtout en automne. En effet l'analyse des différents épisodes pluvieux indique qu'en moyenne, 47% des inondations surviennent en automne. La présente étude essaie de relever les mécanismes dynamiques de la circulation générale pouvant expliquer la variabilité climatique de la région pour le mois de Novembre, le plus pluvieux. Les données utilisées pour l'analyse de la variabilité sont celles obtenues du NCEPs aux Etats Unies, il s'agit des données du mois de Novembre concernant la pluviométrie estimée, le géopotential à 500 mb et la température de la surface de la mer, ces données étant obtenues à l'aide d'une ré-analyse des observations pour 1961 à 1990.

II.2 Analyse de la variabilité climatique

II.2.2 Variabilité pluviométrique

L'analyse de la pluviométrie de Novembre a été faite en utilisant l'analyse en composante principale (Fig. 1), celle-ci fait ressortir trois grands modes de variabilité, le premier est de nature homogène sur toute la région et les deux autres présentent, en particulier le deuxième, un dipôle orienté ouest – est. La figure 2 montre les séries temporelles des trois composantes (1961-1990), la PC1 connaît une forte variabilité inter-annuelle, alors que PC2 et PC3 ont un mode de variabilité sur plusieurs années avec un net changement de signe des valeurs depuis la fin des années 70, qui correspond aux sécheresses récurrentes qu'a connu la région durant cette période.

II.2 Variabilité à grande échelle du géopotential à 500 mb

La même technique est appliquée au champ de géopotential au niveau 500 mb pour le mois de Novembre. Les 4 composantes principales EOF1, EOF2, EOF3 et EOF4 expliquent respectivement 20%, 16%, 9% et 8% soit un total de 53% de la variance totale. La première composante EOF1 matérialise les ondes planétaires quasi-stationnaires bien connues sur l'hémisphère nord et qui sont dues aux divers facteurs géographiques surtout orographique. Les trois autres composantes mettent en évidence une succession de minima et maxima selon des trajectoires sud- nord-sud formant un grand arc de cercle. Elles représentent des paquets d'ondes se propageant à la vitesse de groupe selon la théorie cinématique des ondes (Hoskins, Karoly, 1981).

II.3 Anomalies observées au mois de Novembre 1984

Le mois de Novembre 1984 avait connu une pluviométrie excédentaire et des inondations dans une grande partie des pays du Maghreb. Les rapports à la normale sont >100% allant jusqu'à 250%. En Algérie ce même mois on a reçu 150 mm en 24 heures à Alger (ONM in Djellouli, 2003). L'analyse du champs de géopotential à 500 mb du même mois, utilisant l'écart à la moyenne 1961-1990, montre l'existence de noyaux de minima et maxima. Sur notre région, nous observons un affaiblissement remarquable du champ de géopotential sur l'Atlantique nord, s'étendant sur une la majeure partie de l'Europe occidentale et touchant l'Afrique du nord. Cette configuration est à l'origine des pluies excédentaires constatées durant ce mois dans la région. Par ailleurs, la température de surface de la mer montre une élévation au niveau de l'Atlantique tropicale de l'ordre de 1°C faisant de l'année 1984 une année historique, réchauffement débuté en été 1984 et poursuivi jusqu' à la fin de même année ; alors que le Pacifique, connaît un léger refroidissement (Episode d'un faible La Nina). Nous avons analysé la série temporelle des EOF1, EOF2, EOF3 et EOF4. EOF3 représente la plus forte valeur en absolue suivie de la EOF2 , mettant ainsi en relief le rôle dominant de ces deux composantes dans le déclenchement de l'anomalie du géopotential observée. La variation temporelle de 1980 à 1990 y est illustrée. Il y a bien corrélation entre de la SST et le géopotential à 500 mb est certaine.

Résultats et discussions

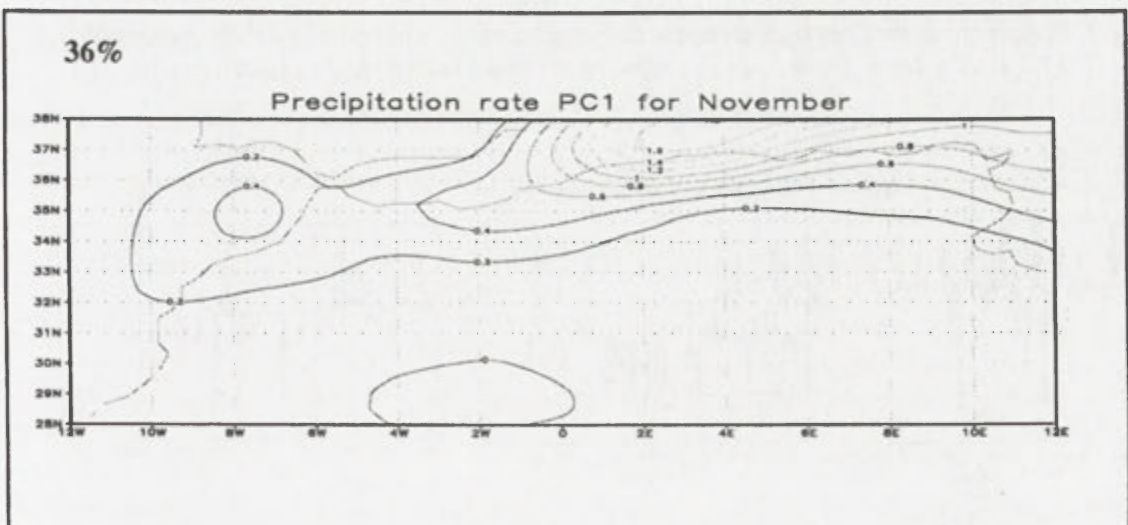
L'analyse conduite basée sur la corrélation entre la température de la surface de la mer et les deux composantes principales qui sont associées avec les fortes précipitations de Novembre 1984 confirme le rôle joué par le réchauffement de l'Atlantique tropicale dans l'excitation et le déclenchement des ondes planétaires de type Rossby représentées par la troisième composante principale EOF3 celle-ci ayant conduit d'après l'étude de l'Anomalie observée du géopotential en Novembre 1984 à l'affaiblissement notable du géopotential sur le domaine de l'Atlantique nord et de l'Europe occidentale ce qui a favorisé le passage des systèmes synoptiques pluvieux qui ont donné l'excédent fort des pluies. En effet par le biais de cette corrélation négative, le

réchauffement observé de la température de l'Atlantique tropicale entraîne une réduction des valeurs de la composante principale EOF3 dont les valeurs de la fonction orthogonale sont positives sur l'Europe occidentale et le nord-ouest de l'Afrique, ce qui amène en fin de compte à une réduction du champ de géopotential à 500 mb conformément aux observations.

Conclusion

La région de l'Afrique du nord-ouest connaît une variabilité pluviométrique importante d'une année à l'autre. L'analyse de la pluviométrie de Novembre a été faite en utilisant l'analyse en composante principale, celle-ci fait ressortir trois grands modes de variabilité, le premier est de nature homogène sur toute la région et les deux autres présentent, en particulier le deuxième, un dipôle orienté ouest – est. L'analyse en composante principale du champ de géopotential à 500 mb pour le mois de Novembre fait ressortir des modes de variabilité à caractère de paquets d'ondes planétaires se propageant selon de grands arcs de cercle autour du pôle nord. Sur la région d'étude ceci se traduit par l'existence de minima ou maxima sur l'Atlantique nord touchant l'Europe Occidentale. Ces minima et maxima ayant une influence d'échelle planétaire sont à l'origine des variations que subissent d'une année à l'autre les systèmes pluvieux qui intéressent la région et qui proviennent du nord-ouest. L'analyse des observations du mois de Novembre 1984 qui a connu une forte pluviométrie nous a permis de lier cette dernière à l'excitation d'un paquet d'onde de type Rossby représenté par la troisième composante principale du géopotential à 500 mb. La relation qui existe entre ces ondes planétaires et la température de la surface de la mer a fait l'objet d'analyse de corrélation et fait ressortir un résultat intéressant qui se résume au fait que ce troisième mode pourrait être excité par le réchauffement assez fort qu'a connu l'Atlantique tropical sur le golf de Guinée.

Il est maintenant judicieux de parler de l'interaction entre le réchauffement de la température de la surface de la mer sur l'océan tropical et l'excitation des ondes planétaires de type Rossby et que par ce biais l'explication toujours de manière statistique de certains événements de forte pluviométrie dans la région du Maghreb. Reste à démontrer ces résultats par l'utilisation des modèles numériques couplés océan/atmosphère suggérés fortement.



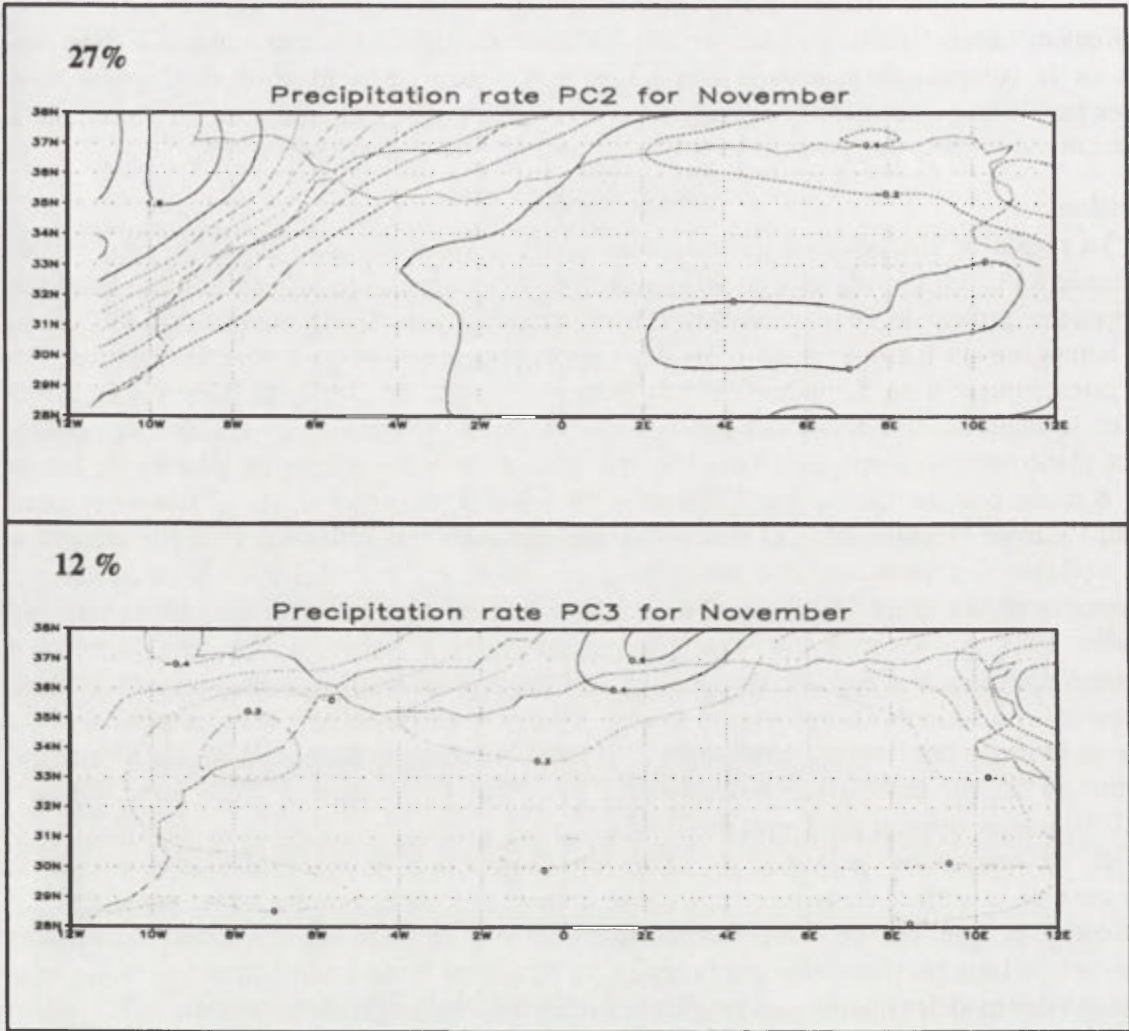


Fig. 1. Projection spatiale des trois composantes principales de la pluviométrie de Novembre PC1, PC2 et PC3. Le % de variance expliquée pour chaque composante en haut à gauche

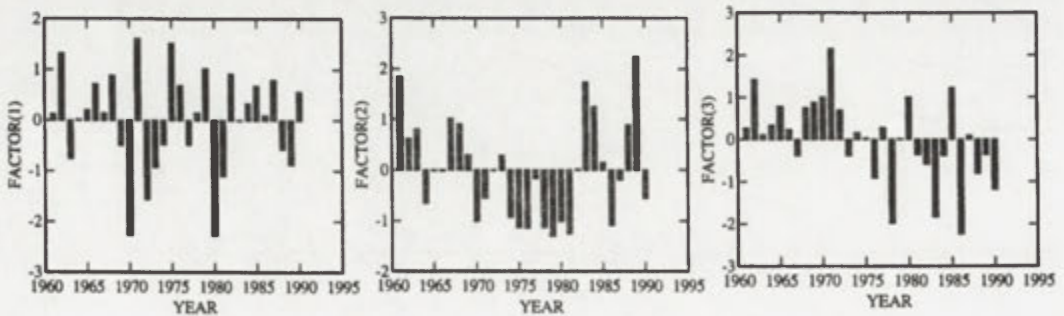


Fig. 2. Série temporelle des trois composantes principales de la pluviométrie de Novembre entre 1960 et 1990

UNE ETUDE HISTORIQUE DES RISQUES CLIMATIQUES EN ESPAGNE ENTRE LE XVI^e ET LE XIX^e SIECLES

*P. BARCENA ODRIOZOLA, C. DIEGO LIAÑO, J.C. GARCIA CODRON
et S. PACHECO IBARS*

*GIMENA (Groupe de Recherche et Gestion du Milieu Naturel)
Université de Cantabria, Avda. Los Castros s.n.; 39005 Santander, Espagne
garciaj@unican.es*

Mots clés: climat historique, risques naturels, sources, Espagne

Abstract: Historical documents are used as a primary source of paleoclimatic information. Despite their evident limitations, this kind of records can be very helpful for our research purposes. In this paper we present a set of first results concerning Spanish paleoclimatic data from the 16th to 19th centuries.

Introduction

La documentation écrite contenue dans les archives historiques est une précieuse source d'information pour la reconstruction des climats à l'échelle séculaire. Pourtant, comme il a été signalé par de nombreux auteurs (Barriendos, 2000), les sources historiques présentent des limitations très importantes qu'il est nécessaire de tenir en compte pour éviter la répétition de certaines erreurs d'interprétation commises dans le passé.

La première de ces limitations tient au caractère discontinu et asystématique de l'information contenue dans les documents historiques et à son inégale distribution spatio-temporelle. Notamment, il s'avère important de tenir en compte que:

- les faits s'enregistrent de façon diverse selon le niveau culturel des différentes régions, le poids relatif des centres urbains et le degré de bureaucratisation de leurs institutions;
- les données sont biaisées par le fort contrôle institutionnel et la rigidité sociale de l'ancien régime et ce qui nous est parvenu, est normalement le résultat de délibérations institutionnelles ou de comptes rendus à l'administration sur certains faits inattendus;
- parfois la multiplication de données apparemment crédibles n'est que le résultat de conjonctures politiques ou idéologiques. Ainsi, la surprenante multiplication de rogations afin d'implorer des pluies ou du beau temps en Espagne à partir du XVI^e siècle doit autant à la météorologie qu'à une politique de réaffirmation de l'Église et du culte des saints au moment de la Contre-Réforme;
- il se produit une fréquente migration des "centres producteurs d'informations" tout au long de l'histoire et les séries présentent de nombreuses discontinuités chronologiques, difficiles à déceler, qui créent des fausses ruptures.

Un deuxième type de limitation est en rapport avec la subjectivité des descriptions:

- les informations sont non seulement qualitatives mais, très souvent aussi, intéressées ce qui favorise les exagérations;
- les documents tendent à privilégier les événements exceptionnels face aux communs et les catastrophes face aux simples risques;
- il est difficile de distinguer entre les événements locaux et régionaux et entre les faits anecdotiques et les véritables catastrophes.

Finalement, les différentes régions sont inégalement étudiées et la distribution et qualité des archives sont tout aussi variables ce qui fait qu'un plus grand nombre de mentions dans la bibliographie ne veuille pas dire nécessairement que cette région soit plus touchée qu'une autre par les désastres naturels.

Cependant, le travail avec les sources historiques comporte aussi des avantages. Entre autres, l'abondance des données et le caractère exhaustif de certains recueils et une grande précision chronologique des phénomènes. C'est pour cela que, une fois que les limitations évoquées sont convenablement prises en compte, les données historiques deviennent une précieuse source de renseignements pour la compréhension des rapports climat-société tout au long de l'histoire (parfois, paradoxalement, grâce à ces mêmes limitations et biais).

Ceci est particulièrement vrai dans la Péninsule Ibérique qui, à cause de sa localisation et orographie, subit très fréquemment les effets de divers phénomènes météorologiques adverses: tempêtes, pluies intenses, sécheresses, chutes de grêle, vagues de froid ou de chaleur, etc. Tous ces événements donnent lieu à des situations à risque qui ont causé des dégâts et des milliers de victimes tout au long de l'histoire et qui, normalement, sont recueillis dans la documentation.

Le travail développé

Cette communication analyse l'information contenue dans une base de données, organisée à partir de sources bibliographiques et de documents d'archives, et qui contient en ce moment plus de 3000 références d'événements climatiques inhabituels survenus dans la Péninsule Ibérique et l'Archipel Baléar avant 1900. Le volume de l'information disponible et sa répartition spatio-temporelle garantissent la représentativité des résultats et permettent non seulement une analyse paléoclimatique mais, aussi, une étude théorique de la portée et la validité de ce type de données.

S'agissant de données "proxi", littéraires et de grande disparité, il a fallu commencer par un processus d'objectivation et de quantification et par un classement de l'information en un nombre réduit de catégories susceptibles d'un traitement statistique. Tous les événements, par exemple, ont été classés en 9 types (tempêtes, pluies excessives, inondations, sécheresses, froid/neige, chaleur, chutes de grêle, invasions de sauterelles et autres).



Fig. 1. Régionalisation du territoire péninsulaire espagnol (les noms sont conventionnels et ne correspondent pas aux désignations administratives réelles)

En même temps, le territoire espagnol a été sous-divisé en 8 zones à peu près homogènes climatiquement et culturellement mais en essayant de respecter autant que possible la division administrative moderne afin de rendre le travail plus facile (figure 1). La zone correspondante aux Illes Canaries présente des particularités très importantes et n'a pas été considérée dans ce travail.

Une fois accompli, ce travail a permis une analyse des données par type d'événement, par région et par époque à la fois qu'une comparaison avec la situation actuelle à travers les cartes des risques naturels disponibles et la localisation des épisodes, bien connus, du vingtième siècle.

Résultats

Notre travail permet de constater un bon nombre des faits commentés jusqu'ici mais, en même temps, d'obtenir une information paléoclimatique et "paléoévénementielle" utile:

L'information disponible par région et période fluctue beaucoup: sur 2865 données jugées "utiles", 747 correspondent à la région "Mediterran.N", 551 à la "Meseta N"... et seulement une centaine à la Vallée de l'Èbre. Il y a plusieurs raisons pour cela:

- différente disponibilité des documents et richesse des archives;
- diversité de traditions scientifiques et du nombre de travaux réalisés. Ainsi, la période 1501-1700 est mieux représentée (986 données par siècle) que celle correspondante à 1701-1900 (448) grâce à l'exhaustivité des répertoires publiés par Fontana au siècle passé (Barriendos, 2000);
- mutations des équilibres inter-régionaux: les deux "Meseta" (qui correspondent, grosso modo, à la Castille) totalisent 45,4% des mentions en 1501-50 mais seulement 24,8 % au début du XIX^e siècle tandis que la région SE ou la vallée de l'Èbre présentent une tendance inverse en rapport avec leur progressive intégration économique et démographique.

Cependant, et en dépit de ces fluctuations "techniques", on retrouve aussi une évolution dont l'origine ne peut-être que climatique: augmentation des problèmes provoqués par des épisodes froids au début du XVII^e et à la fin du XVIII^e siècles, forte baisse des inondations au XVIII^e siècle (plus précoce à la "Meseta S" et au Sud-Est que dans le reste de l'Espagne), etc.

Par événements, les inondations et les pluies excessives sont, de loin, les désastres climatiques (et, par extension, naturels) le plus fréquemment évoqués en Espagne avec 28,7 et 26,8% des mentions respectivement. Juste après, nous trouvons les situations opposées, les périodes de sécheresse avec 20% des mentions (qui sont beaucoup plus persistantes et généralisées mais apparaissent moins bien représentées statistiquement: une longue sécheresse qui sévit sur toute la Péninsule n'est notée qu'une fois tandis qu'une seule perturbation qui interromprait cette période pendant quelques jours produisant plusieurs inondations locales mais réparties à travers tout le territoire national donne lieu à plusieurs mentions).

Par saisons, la distribution des risques climatiques varie en fonction des climats régionaux et si l'hiver est, en général, la saison la plus dangereuse, la période la plus critique est le printemps dans la "Meseta S" (à cause d'une agriculture non irriguée sensible au gel et aux sécheresses), l'été dans la région cantabrique (qui craint les étés pourris et les inondations estivales) ou l'automne sur toute la façade méditerranéenne (très touchée à cette époque par les déluges soudains capables de provoquer des inondations extrêmement destructives).

La distribution du risque est assez homogène. Cependant, chaque région connaît "sa spécialité":

Les pluies et inondations sont générales quoique les plus hauts pourcentages des mentions se trouvent soit en Andalousie et le SE soit, dans le NO humide. Cependant, tout au long de la période considérée, on observe un accroissement progressif autour de la côte méditerranéenne (28,4% des mentions au début du XVI^e siècle, et 50 % à la fin du XIX^e) et une diminution en Andalousie et la Meseta. Il y a plusieurs raisons pour cela mais la principale est, sans doute, le déplacement du centre de gravité économique et démographique du pays au long de la période et la "domestication" progressive des grands fleuves origine des inondations dans ces régions.

En effet, une analyse plus détaillée montre que si tout le territoire espagnol est exposé aux risques hydrologiques, les grands désastres se distribuent très inégalement et tendent à se concentrer dans un nombre limité de régions. Les plus touchées sont surtout les zones de montagne du littoral méditerranéen (en particulier la Catalogne, sud de Valencia, Murcia et Andalousie méridionale) et les vallées des plus grands fleuves (Duero, Guadalquivir, Ebro entre autres). Mais tandis que les premières le sont généralement par des phénomènes très rapides et meurtriers du genre "flash flood" dans des bassins très petits et surpeuplés, les crues des grands bassins sont beaucoup plus lentes et prévisibles, causent des dégâts très graves mais un nombre relativement limité de victimes et peuvent-être relativement bien maîtrisées grâce aux barrages.

La sécheresse est surtout importante dans la Meseta et, en moindre mesure, Méditerranée.

Tout le pays connaît des vagues de chaleur ou de froid mais c'est surtout les régions du centre, les plus continentales, qui se plaignent de leurs effets. Paradoxalement, les chaleurs excessives sont plus ressenties dans le nord océanique (qui, il est vrai, est très vulnérable face à ces situations) que dans le sud (Guadalquivir) beaucoup plus chaud et, en conséquence, plus habitué aux hautes températures.

Les autres types d'événements climatiques à risque sont moins bien représentés et ne permettent pas une approche statistique satisfaisante.

Conclusions

En dépit de leurs inconvénients, les sources historiques offrent une information utile au paléoclimatologue ou aux responsables de la gestion des risques. L'obtention de cette information exige une approche interdisciplinaire et des techniques spécifiques mais, une fois que certaines précautions sont adoptées, elle permet d'obtenir une caractérisation des types d'événements qui causent le plus d'inconvénients à la population de chaque région en rapport avec son degré de vulnérabilité et son adaptation aux contraintes naturelles. Elle permet aussi d'établir une géographie des risques climatiques tenant en compte leur fréquence et la saison de l'année et peut offrir de bons services à l'aménagement du territoire.

Bibliographie

- BARRIENDOS, M., 2000: La climatología histórica en España. Primeros resultados y perspectivas de investigación. [Dans:] J.C. García Codron (coord.), *La reconstrucción del clima en época preinstrumental*. Universidad de Cantabria: 15-56.
- GARCÍA CODRON, J.C. et PACHECO IBARS, S., 2003: Risques hydrologiques et mémoire historique en Espagne. [Dans:] *Colloque Environnement 2000, risques climatiques et hantises millénaristes*. C.G.Bachelard, Université de Bourgogne (sous presse).

ELABORATION D'UN SCENARIO CLIMATIQUE POUR LE MALI

Abdoulaye BAYOKO, Famouké TRAORE**, Sidi KONATE***

**Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique*

BP: 3052, BAMAKO-MALI

projetgef@afribone.net.ml

***Ecole Nationale d'Ingénieurs*

BP: 242, BAMAKO-MALI

tfamouke@hotmail.com

Mots clés: scénario climatique, Mali, GCM CSIRO-TR, scénarios d'émission de GES, downscaling, température, pluviométrie, évènements extrêmes

Abstract: From a downscaling of a GCM, we have developed a climate scenario for Mali. The sensibility assessment of the rainfall and the temperature values has been done. It show that a wet period will be produced by an increasing of 5 % of the mean level of 1961-1990. A dry period will be produced by a decreasing of 10 % of the mean of rainfall level of 1961 to 1990.

Introduction

Dans le souci de mener des études de vulnérabilité et adaptation aux changements climatiques assez fiable au Mali, il nous a paru indispensable d'élaborer un scénario climatique qui d'écrit de façon plus plausible les perspectives d'évolution du climat au niveau national. La présente étude entre dans ce cadre. La méthodologie utilisé est basée sur une réduction d'échelle à partir des données climatiques globaux issues d'un modèle de circulation générale.

Methodologie

La méthode que nous avons utilisée pour réaliser les scénarios est résumé comme suit:

- normalisation des sorties de modèles de circulation globale pour déterminer différentes variations des paramètres climatiques pour un degré de réchauffement global ;
- représentation à l'échelle spatiale de ces variations obtenues ;
- interpolation de ces projections obtenues à l'échelle du pays (stations d'observations).

La construction de scénarios climatiques se fait en 4 étapes essentielles:

- 1) Choix de scénarios d'émissions globales de GES.
- 2) Détermination des projections climatiques avec le modèle climatique unidimensionnel MAGICC (Model for Assessment of Greenhouse-gas induced Climate Change). MAGICC est un modèle unidimensionnel, constitué d'un ensemble de modules couplés cycle gaz, modèle de climat et de fusion de glace, qui permet de comparer à un scénario-référence (scénario IPCC 92 par exemple) différents scénario-plan d'émissions dans le but d'estimer l'efficience d'une politique de contrôle des émissions de GES par rapport au cas "sans politique".
- 3) Génération du climat futur par représentation spatiale des différentes expériences de MGC avec le logiciel SCENGEN (SCENario GENerator). SCENGEN exploite les résultats d'expériences de GCM et les projections de MAGICC combinées avec des observations climatologiques aux échelles régionales et globales.
- 4) Représentation à l'échelle locale des variations des paramètres climatiques par interpolation des projections obtenues au point 3) seules ou en combinaison avec les données d'observations locales de la normale 1961-90.

Resultats

a) Variations de la pluviométrie

La Figure 1 montre que les précipitations diminuent du sud vers le nord. En effet, le sud correspond à une zone climatique de type pré-guinéenne où les précipitations moyennes saisonnières enregistreraient à l'horizon 2025 des taux de diminution allant de -2,4% à -5,5% pour les différentes sensibilités climatiques. Cette diminution s'accroîtrait plus au nord avec des taux de diminution variant de -5,2% à -10,5% pour la zone sahélienne (Tableau 1). La même tendance est observée pour la moyenne saisonnière aux horizons temporels 2050, 2075 et 2100.

Tableau 1. Taux de diminution de la pluviométrie moyenne saisonnière par rapport à la normale 1961-90 dans les différentes zones climatiques en fonction de la sensibilité

Sensibilité (°C)	Zone pré-guinéenne	Zone soudanaise	Zone sahélienne	Zone saharienne	Moyenne
1,5	-2,4 à -3,0	-3,1 à -4,0	-4,1 à -5,0	-5,1 à -8,0	-5,20
2,5	-3,8 à -4,0	-4,1 à -4,6	-4,7 à -6,2	-6,3 à -12	-7,90
4,5	-4,5 à -5,5	-5,6 à -7,0	-7,1 à -9,0	-9,1 à -16	-10,25

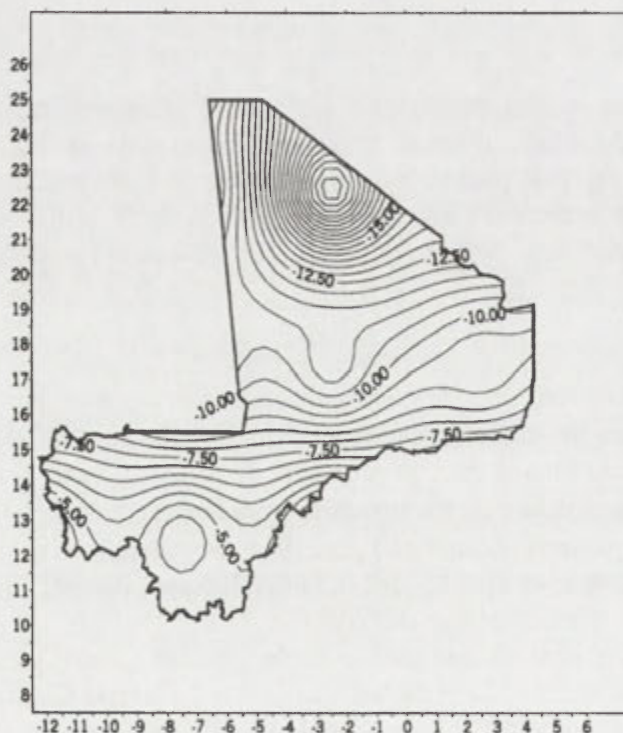


Fig. 1. Projections de la pluviométrie moyenne mensuelle en 2050 à S=1,5

b) Variations de la température

Les courbes de niveau de hausse de température sont surtout organisées suivant une direction Nord-Ouest Sud-Est jusqu'au niveau de la latitude 17°Nord.

c) Evènements extrêmes

1. Pluviométrie

Sur la Figure 2, nous voyons que dans le cas d'une baisse de 20% de la pluviométrie par rapport à la normale 1961-1990:

- la probabilité d'avoir une pluviométrie inférieure ou égale à **284 mm** (valeur moyenne de la normale pour le mois d'août) à Bougouni est de **80%** ;

- la probabilité d'avoir une pluviométrie inférieure ou égale à **168 mm** à Bougouni est de **20%** ;

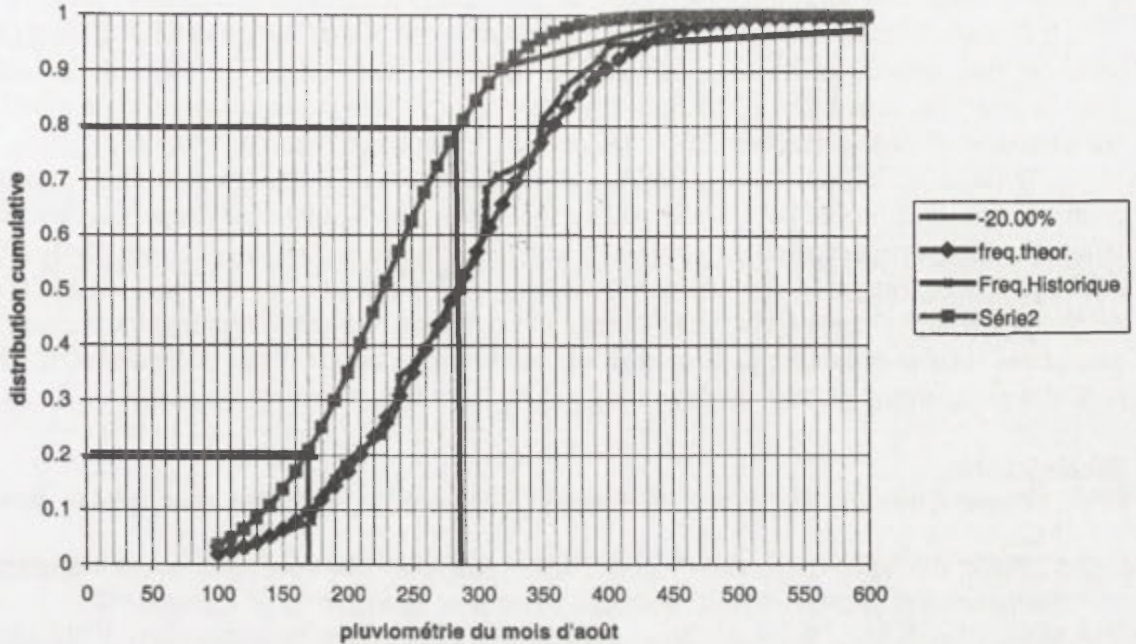


Fig. 2. Courbes de variation des fréquences historiques et théoriques dans le cas normal et courbe de fréquence théorique dans le cas d'une situation extrême (diminution de pluviométrie de 20%)

2. Température

Le test de la sensibilité du scénario climatique par rapport aux changements climatiques a été étudié en introduisant un taux de variation dans la variance et dans la moyenne par rapport à la normale 1961-1990 pour les horizons temporels 2025, 2050 et 2075. Ceci a donné de nouvelles distributions. Ces distributions ont été ajustées suivant une loi normale pour chaque année. Les courbes de ces distributions ont montré un déplacement des températures maximales vers les températures supérieures à la maximale moyenne de la normale 1961-1990. Ainsi par rapport à cette maximale de 30,5°C, la probabilité d'avoir des températures supérieures à la moyenne de la normale 1961-90 a été de 0,5. Cette probabilité a été de 0,4 pour une valeur maximale de 32, 5°C à l'horizon 2050 et de 0,36 pour une valeur maximale de 34,5°C à l'horizon 2100.

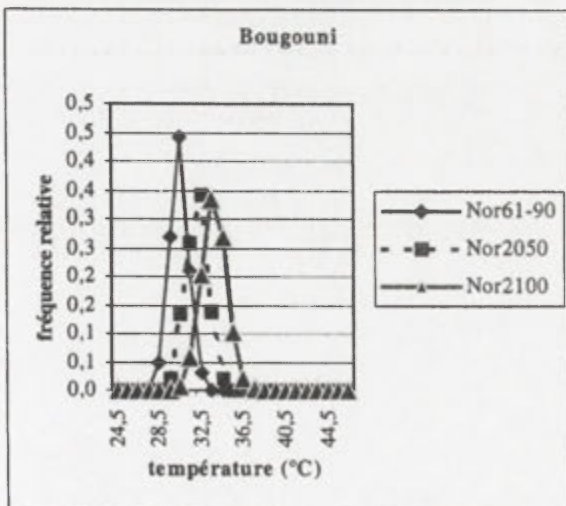


Fig. 3. Distribution de la température maximale à partir des observations de la période 1961-90 et pour les années 2050 et 2100 par un taux de variation de 20% par année et par degré de réchauffement global à Bougouni en juillet

Conclusions

Les résultats de cette étude ont montré que pour toutes les localités on assisterait à une diminution de la pluviométrie qui se traduirait par un déplacement des isohyètes vers le nord.

Des situations de sécheresse seraient constatées sur la première moitié de l'hivernage (mois de mai, juin et juillet) à partir de l'horizon 2025 sur toutes les stations de la zone d'étude pour une sensibilité climatique moyenne. Les mêmes situations pourraient s'installer dès l'horizon 2020 si la réaction du climat aux perturbations devenait plus rapide.

Suite au déficit pluviométrique, les sources d'approvisionnement naturelles en eau des communautés constituées par les eaux de surface et les eaux souterraines superficielles seront affaiblies dans une certaine proportion et les populations auront recours au transport, au stockage et aux forages. Les coûts que nécessiteront ces activités de transport, de réalisation de forages équipés constitueront un facteur limitant pour l'approvisionnement en eau. Des mouvements de populations pour se regrouper autour des points d'eau pérennes et un exode rural des populations vers les centres urbains et les pays voisins seront à prévoir.

Bibliographie

- CNRST/Projet Climat/Etude 1, 2002: Elaboration d'un scénario climatique pour le Mali; Bamako (Mali).
- CNRST/Projet Climat/Etude 3, 2002: Vulnérabilité et Adaptation des ressources en eau aux effets des changements climatiques dans les bassins du Sankarani et du Baoulé ; Bamako (Mali).
- FARAGO, T. et KATZ, R. W., 1990: Extreme and design values in climatology, Wold Climate Program, Wold Meteorological Organization, WMO/TD –No 386.
- GAYE, TH. A., FONGANG, S., DABO, E.M.F., SAMBOU, E. et SALL S.M., 2000: Downscaling global climate models outputs to build climate change Scenarios in Senegal, Word Resource Review, Vol. 12, No.2, 224-236.
- HULME, M., WIGLEY, TM.L., BARROW, E.M., RAPER, S.C.B., CENTELLA, A., SMITH, S. et CHIPANSHI, A.C., 2000: Using a climate Scenario Generator for Vulnerability and Adaptation Assessments - MAGICC and SCENGEN version 2.4 Workbook, Climatic research Unit, Norwich, UK.
- IPCC/WMO/UNEP, 2000: IPCC special report; Emissions Scenarios – Summary for Policymakers.
- VINER, D. et HULME, M., 1992: Climate change Scenarios for Impacts Studies in the UK: General Circulation Models, Scenario Construction Methods and Applications for Impacts Assessment. Report prepared for the UK Department of the Environment, Climatic Research Unit, Norwich.

DIFFERENCES DE LA TEMPERATURE ET DE L'HUMIDITE AINSI QUE DIFFERENTIATION BIOCLIMATIQUE DANS DES ECOSYSTEMES CHOISIS DU PARC NATIONAL DE LA GRANDE POLOGNE

Ewa BEDNORZ, Leszek KOLENDOWICZ, Katarzyna SZYGA-PLUTA
Département de climatologie, Université Adam Mickiewicz de Poznań,
ul. Fredry 10, 60-701 Poznań, Pologne
ewabedno@amu.edu.pl

Mots clefs: Parc national de la Grande Pologne, température, humidité, pouvoir réfrigérant

Abstract: The paper presents the results of topoclimatic and bioclimatic research carried out in the Wielkopolski National Parc. Differentiation of air temperature and humidity as well as cooling power of air was studied.

Introduction

Les mesures effectuées par le Département de climatologie de l'Université Adam Mickiewicz (UAM), dans la région de la Station écologique de Jeziora, sur le territoire du Parc national de la Grande Pologne (WPN), qui couvre des complexes forestiers dans la zone suburbaine au sud de la ville de Poznań, ont été à la base de cette étude. Les mesures topoclimatiques et bioclimatiques dans des écosystèmes choisis du WPN sont menées depuis plusieurs années. À partir de 2001, auprès de la Station écologique de l'UAM fonctionne une station météorologique automatique (mesures de la température, de l'humidité, des précipitations, de la vitesse et de la direction du vent). Des études topoclimatiques du même type sont réalisées dans le Parc national Słowiński (Bednorz et al. 2001).

Méthodes

Les recherches ont été réalisées au cours du printemps (avril – mai), dans les années 1998-2002. Dans la présente étude ont été utilisées les mesures de cinq sites d'observation, situés dans un rayon de jusqu'à 500 m de la Station écologique de l'UAM, représentant des écosystèmes choisis du WPN:

- 1) plage aux bords du lac Góreckie;
- 2) versant boisé d'une exposition sud-ouest à proximité du lac;
- 3) clairière dans la forêt mixte, près du bâtiment de la station;
- 4) forêt mixte;
- 5) vaste prairie près du parking automobile.

Les mesures de la température et de l'humidité relative ont été effectuées toutes les 2 heures à trois niveaux: 5, 50 et 150 cm au-dessus du niveau du sol. Jusqu'à 2000, ont été utilisés des psychromètres d'aspiration Assmanna, tandis que dans les années postérieures – des thermohygromètres automatiques.

Le pouvoir réfrigérant a été calculé sur la base de mesures effectuées à l'aide de catathermomètre sec Hill, sur tous les trois sites, à trois heures différentes: 8H00, 14H00 et 20H00, à 150 cm. Afin d'évaluer le confort thermique, ont été utilisées les échelles de Conrad ainsi que de Petrović et Kacvinsky (Kozłowska-Szczęsna et al. 1997).

Par ailleurs, on a observé l'importance et le type de nébulosité, mesuré la vitesse du vent et noté des phénomènes supplémentaires (précipitations atmosphériques, brouillard, rosée, etc.).

L'analyse a porté aussi sur le développement de la température journalière et de l'humidité de l'air à différentes distances du sol sur tous les sites de mesure. Ont été calculés l'amplitude journalière et les gradients de la température (différence entre la température de l'air à 5 cm et à 150 cm au-dessus du niveau du sol) ainsi que l'humidité, de même que leur corrélation avec la température au niveau du sol. Les mesures en conditions de rayonnement et de non rayonnement ont été séparées et les résultats comparés.

Résultats

La température de l'air, au cours de quelques saisons printanières, s'est avérée fort différenciée. L'étendue des changements se situait entre 4.2 et 32.7 C.

Ont été constatées d'importantes différences journalières de développement de ce paramètre entre différents sites, en conditions de rayonnement et de non rayonnement (Tabl. 1).

Tableau 1. Principaux paramètres de température (en °C), à 5 cm au-dessus du niveau du sol.

Le gradient calculé comme la différence de la température à 5 i 150 cm au-dessus du niveau du sol

N° site	Temps de rayonnement					Temps de non rayonnement				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Température journalière moyenne	17.1	16.9	17.2	16.7	17.1	14.7	14.0	13.9	13.6	13.6
Température journalière moyenne maximale	23.4	23.4	26.7	22.2	25.9	18.6	17.6	19.6	16.9	18.4
Maximum absolu de température	25.2	25.9	32,7	25.3	30.0	27.5	25.0	31.5	27.5	24.8
Température journalière moyenne minimale	10.5	10.7	9.8	11.3	8.6	12.1	11.9	11.1	10.7	9.7
Minimum absolu de température	6.3	8.6	5.8	6.5	4.7	8.2	7.8	6.4	7.2	4.2
Amplitude journalière moyenne de la température	12.9	12.7	16.9	10.9	17.3	6.5	5.7	8.5	6.2	8.7
Amplitude journalière maximale de la température	16.6	16.6	22.4	14.2	21.7	13.2	10.4	17.4	15.5	12.0
Amplitude journalière minimale de la température	11.2	8.8	13.7	8.7	13.9	14.4	6.0	7.3	2.5	5.8
Gradient journalier moyen maximal de la température	0.9	0.5	2.1	1.9	1.7	1.8	1.2	1.7	0.9	1.0
Gradient journalier moyen maximal absolu de la température	3.9	2.0	6.9	5.0	7.0	5.3	3.8	3.7	4.5	3.3
Gradient journalier moyen minimal de la température	-0.4	-0.3	-1.2	-0.2	-0.7	0.4	0.0	-0.5	-0.3	-1.1
Gradient journalier moyen minimal absolu de la température	-2.7	-1.6	-5.0	-4.6	-4.0	-0.8	-1.2	-4.0	-1.2	-3.4

Conformément aux attentes, dans les heures d'après-midi, les températures maximales ont été notées sur les sites 5 et 3, tandis que les moins élevées sur la plage et dans la forêt. En cas de conditions de rayonnement, les différences moyennes de la température de l'air entre les sites concernés étaient d'environ 4 C (au niveau du sol). Au cours des heures nocturnes, ont été observées des différences similaires de la température (en moyenne 4 C, et sporadiquement jusqu'à 7 C au niveau du sol), cette fois-ci en faveur de la forêt et de la plage des bords du lac Góreckie. Ces valeurs ont été moins importantes en cas de conditions de non rayonnement. En ce cas-là, la différence de la température journalière moyenne maximale entre une vaste prairie (3) et la forêt (4) était de 2.7 C. La température journalière moyenne minimale était la plus élevée aux bords du lac (1) et elle était plus grande que la température sur le site 5 de 2.4 C. Les amplitudes journalières moyennes de la température se sont avérées les plus importantes sur le site 5 en conditions de rayonnement (17.3 C), mais la valeur record a été notée sur le site 3 et elle était de 22.4 C. Les amplitudes moyennes les moins importantes ont été notées aux bords du lac et dans la forêt (5-7 C), en temps couvert. La moindre différenciation thermique journalière a été notée dans la forêt, lorsque l'amplitude de la température accusait la valeur de 2.5 C. Les valeurs susmentionnées témoignent d'une grande diversité de types thermiques de temps qui ont été notés au cours des saisons de mesure respectives.

Les gradients thermiques verticaux ont atteint les valeurs les plus élevées au cours des heures d'après-midi sur les sites les plus exposés à l'insolation (3 i 5). C'est sur ces sites justement qu'ils se sont avérés essentiellement corrélés avec la température de l'air au niveau du sol ($r = 0.53$, $p \geq 99\%$). Les gradients négatifs, c'est-à-dire des inversions de la température au niveau du sol, ont été notés aux bords du lac et dans la forêt, en cas de conditions de non rayonnement notamment.

L'humidité de l'air se caractérisait par une moindre variabilité entre les sites respectifs, mais accusait un déroulement journalier bien net.

Au cours d'un temps radiatif l'humidité relative moyenne oscillait de 60 à 67%, et en temps non radiatif de 80 à 90%. L'humidité la plus importante caractérisait le site situé dans la forêt. Sur la vaste prairie (5) a été notée la moindre valeur d'humidité relative en temps de rayonnement qui s'élevait à 20%. En temps non radiatif la moindre valeur d'humidité relative, qui atteignait 33%, a été notée sur une clairière en pleine forêt (3). Le site 3 se caractérise en même temps par les gradients verticaux les plus élevés d'humidité indépendamment du temps. La moindre différenciation verticale d'humidité de l'air a été observée sur le site 2.

Dans le cas de tous les sites de mesure la plus grande humidité relative a été notée à 6H00. La chute la plus rapide d'humidité de l'air, en temps de rayonnement, vers 10H00, caractérise la vaste prairie (5). La période de basse humidité dure sur ce site le plus longtemps (jusqu'à 18H00), en raison du plus grand ensoleillement. En temps non radiatif les différences entre les sites respectifs s'estompent. Le site situé dans la forêt se caractérise alors par des oscillations les moins importantes d'humidité journalière.

Le pouvoir réfrigérant de l'air s'est façonné autrement en conditions de rayonnement et de non rayonnement, tandis que son déroulement journalier accusait des différences spatiales (Tabl. 2)

Tableau 2. Pouvoir réfrigérant de l'air – A, charge thermique (selon l'échelle Conrad) – B, ainsi que la sensation thermique (selon l'échelle Petrović et Kacvinsky) – C.

N° site	Heure	Temps de rayonnement			Temps de non rayonnement		
		A	B	C	A	B	C
1	8.00	532.7	confort	doux	810.6	confort	frais agréable
	14.00	453.9	confort	doux	797.4	confort	frais agréable
	20.00	363.2	conditions de la surchauffe	chaud	611.2	confort	doux
2	8.00	344.9	conditions de la surchauffe	chaud	835.0	confort	frais agréable
	14.00	261.7	conditions de la surchauffe	chaud	535.0	confort	doux
	20.00	372.2	conditions de la surchauffe	chaud	431.6	confort	doux
3	8.00	365.2	conditions de la surchauffe	chaud	552.7	confort	doux
	14.00	218.1	conditions de la surchauffe	chaud	474.4	confort	doux
	20.00	374.4	conditions det la surchauffe	chaud	489.6	confort	doux
4	8.00	374.9	conditions de la surchauffe	chaud	585.5	confort	doux
	14.00	237.6	conditions de la surchauffe	chaud	461.3	confort	doux
	20.00	267.8	conditions de la surchauffe	chaud	485.4	confort	doux
5	8.00	586.1	confort	doux	823.7	confort	frais agréable
	14.00	455.5	confort	doux	709.6	confort	frais agréable
	20.00	362.7	conditions de la surchauffe	chaud	571.5	confort	doux

En temps de rayonnement, sur les sites 2, 3 et 4 à toute heure de mesure apparaissaient des conditions favorisant la surchauffe (sensation thermique – «chaud»). Sur les sites 1 et 4, à 8H00 et à 14H00, apparaissait une charge thermique de type «confort» (sensation thermique – «doux»), à 20H00 par contre, on a noté des conditions favorisant la surchauffe (sensation thermique – «chaud»). Une telle distribution des valeurs de charge thermique (sensation thermique) résulte probablement de l'absence de boisement sur les sites 1 et 5, qui pourrait constituer une source de rayonnement thermique supplémentaire, notamment au cours des heures matinales (Paszyński et al. 1999). Ce qui attire également l'attention, c'est la situation

du site n° 1, dans une dénivellation (bordure de lac), ce qui permet le glissement de l'air frais sur la plage, le long du versant qui se trouve à l'arrière. Au cours des heures vespérales, après une action journalière du soleil, les différences entre les sites respectifs s'estompent.

En cas d'apparition d'un temps à caractère non radiatif, s'agissant de la charge thermique l'on n'a pas noté de différences entre les sites. À toute heure de mesure, on a noté une charge thermique de type «confort». Les différences ont apparues en cas d'utilisation d'une échelle plus détaillée de Petrović et Kacvinsky. La sensation de «frais agréable» a été notée sur les sites 1 et 2, à 8H00 et à 14H00 ainsi que sur le site 2 à 8H00. Sur les autres sites, à toute heure de mesure apparaissait la sensation «doux».

Conclusions

Il a été constaté que les paramètres météorologiques décrits accusent un développement journalier différenciés, en fonction de la configuration et du revêtement de terrain par la couche végétal. Les points de mesure situés en terrain découvert, herbeux se caractérisent par des gradients et les amplitudes de température plus importants que ceux situés en terrain boisé. L'exposition directe au rayonnement solaire provoque une augmentation notable de la température en temps sans nébulosité. Un terrain découvert permet également de libérer le rayonnement effectif la nuit ce qui fait diminuer le minimum matinal de température. Une thermique spécifique caractérise le terrain directement voisin du lac Góreckie. Les résultats des mesures confirment l'impact d'un grand réservoir d'eau qui chauffe l'air la nuit et empêche un réchauffement important le jour (Okołowicz, 1964, 1969).

La température et l'humidité de l'air ont également un développement différent en cas de divers types de temps dont on a séparé celui de rayonnement sans vent et sans nébulosité ainsi que celui de non rayonnement. Le type de temps modifie la thermique et l'humidité, influe par là-même sur la sensation thermique. Les conditions de non rayonnement font diminuer les différences apparaissant entre les sites respectifs pour ce qui est de la charge thermique ainsi que font diminuer d'un cran, dans la majeure partie des cas, tout aussi bien la charge que la sensation thermique.

Les mesures présentées dans la présente étude ont été réalisées au printemps (avril, mai) – au début ou en pleine période de végétation. La distribution et les valeurs de la température et de l'humidité, au cours de cette période, peuvent avoir un impact sur le fonctionnement des plantes. Elles ont aussi une importance indéniable pour les échanges énergétiques et de matière dans la partie superficielle du sol et immédiatement au-dessus d'elle (Bokwa, 2001).

Bibliographie

- PASZYŃSKI, J., SKOCZEK, J., et MIARA, K., 1999: Wymiana energii między atmosferą a podłożem jako podstawa kartowania topoklimatycznego. *Dokumentacja Geograficzna*, 14.
- KOZŁOWSKA-SZCZĘSNA, T., BŁAŻEJCZYK, K., et KRAWCZYK, B., 1997: Bioklimatologia człowieka. Metody i ich zastosowanie w badaniach bioklimatu Polski. *Monografie 1*.
- BOKWA, A., 2001: Ekstremalne gradienty temperatury w przygruntowej warstwie powietrza (Extreme thermal gradients in the air layer near the ground). *Przegląd Naukowy Wydziału Inżynierii i Kształtowania Środowiska SGGW*. 21: 153-159.
- BEDNORZ, E., KOLENDOWICZ, L. et SZYGA-PLUTA, K., 2001: Typy topoklimatu Słowińskiego Parku Narodowego. *Dokumentacja Geograficzna*, 23: 19-31.
- OKOŁOWICZ, W., 1964: Zachmurzenie i opad wybranych miesięcy letnich 1962-63 w okolicy Wielkich Jezior Mazurskich. *Prace i Studia Kat. Klimat. IG UW*.
- OKOŁOWICZ, W., 1969: *Klimatologia ogólna*. PWN, Warszawa.

L'IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA VITICULTURE EN FRANCE MEDITERRANEENNE

Sandrine BELLIA*, Annick DOUGUÉDROIT*, Bernard SEGUIN**

* Institut de Géographie, UMR 6012 Espace, Université Aix-Marseille I, 29 avenue Robert Schuman, 13621 Aix en Provence, France.

s_bellia@hotmail.com, annick.douguedroit@up.univ-aix.fr.

** Institut National de Recherche Agronomique, Domaine Saint-Paul site Agroparc, 84914 Avignon, France. bernard.seguin@avignon.inra.fr.

Mots clés: Phénologie de la vigne; qualité du raisin; région Méditerranéenne; changement climatique

Abstract: Crop models have been used to evaluate the impacts of the climate change on the phenology and the quality of the grapevine *Vitis vinifera* L. in the French Mediterranean area. The results of the study indicate that the climate change might shorten phenology cycle and cause an increase of the number of years with a quality worse than presently.

Introduction

Les rendements et la qualité du raisin sont, entre autres, étroitement dépendants des conditions climatiques (Lebon, 2002). Dans ces dernières décennies, on a déjà constaté que la date des vendanges est de plus en plus précoce et que le degré alcoolique a augmenté (Ganichot, 2002). Dans la mesure où les scénarios de l'IPCC (Intergovernmental Panel of Climate Change: 2001) pour le XXI^{ème} siècle supposent une augmentation de la température certains chercheurs se sont intéressés à son influence éventuelle sur le rendement de la vigne et la qualité du raisin. Des températures élevées pourraient raccourcir la durée de la saison de croissance de la vigne (Lebon, 2002, Bindi et al., 1996). L'intervalle débourrement-floraison serait réduit et la période véraison-récolte serait avancée dans le temps (Lebon, 2002). Pourtant d'après Bindi et al. (1998), aucune différence significative n'apparaît entre la qualité du raisin actuelle et future (augmentation du CO₂): les valeurs moyennes des indicateurs de qualité n'ont pratiquement pas évolué. La variabilité annuelle de la qualité de la récolte pourrait néanmoins changer.

Dans la région méditerranéenne, la viticulture tient une place importante avec la production de vins célèbres dont les Côtes du Rhône (Vaucluse) et quelque peu moins connus les Côtes de Provence (Var). L'objectif de cette étude consiste ainsi à estimer l'impact d'une modification climatique engendrée par un doublement de CO₂ sur la phénologie de la vigne (*Vitis vinifera* L.) et la qualité du raisin en France méditerranéenne. Ce projet nous est apparu innovant dans une zone géographique au climat particulier et pour laquelle les scénarios climatiques pour le XXI^{ème} siècle proposent un réchauffement hivernal et estival, une diminution des pluies du printemps à l'automne et aucune augmentation en hiver. Cette étude porte sur la phénologie du cépage la Syrah, commun aux deux vignobles. Les résultats relatifs à la qualité du raisin sont limités ici aux Côtes de Provence.

Méthode

Pour l'étude de la phénologie de la Syrah nous avons simulé les dates de débournement et de floraison à partir du modèle de culture de Marco Bindi (Bindi et al., 1997). Celles de véraison l'ont été à partir du modèle de Jorge Tonietto (1999). A ces dates de véraison ont été ajoutés 40 jours afin d'obtenir une date de récolte théorique. Ces dates simulées représentent des valeurs moyennes régionales. Les données agronomiques utilisées pour adapter les modèles de culture à la zone d'étude sont les dates phénologiques d'une parcelle située à Chateauneuf de Gadagne (de 1990 à 1997) et de 5 parcelles proches d'Orange (de 1976 à 2000).

La qualité du raisin a été étudiée avec la méthode de Gerbier et Rémois (1977). Les données utilisées sont les degrés alcooliques moyens (moyenne de plusieurs parcelles) de la commune des Arcs de 1977 à 1984 et de 1993 à 2000. Nous avons cherché des corrélations significatives entre les degrés alcooliques et des cumuls de critères climatiques couvrant l'ensemble du cycle végétatif: cumuls des précipitations quotidiennes, de l'évapotranspiration, du rayonnement global, des températures moyennes, des amplitudes thermiques, des températures minimales inférieures à 0,5 et 10°C, des températures maximales supérieures à 10, 15, 20 et 25°C. Ces cumuls sont faits sur des séquences de 1 à 98 pentades, glissantes à compter du 1^{er} mai de l'année précédant les vendanges (i-1), avec un pas fixe d'une pentade. Un modèle statistique de régression multiple a ensuite été mis en place entre les degrés alcooliques et les critères corrélés significativement.

Les données climatiques utilisées sont celles d'Orange (de 1960 à 2000) pour les Côtes du Rhône et du Luc-Cannet des Maures (de 1955 à 2000) pour les Côtes de Provence. Les figures 1 et 2 nous ont permis de scinder en deux les séries climatiques pour montrer l'existence d'une évolution différente des températures entre les deux périodes : de 1955 (ou 1960 pour Orange) à 1977 sans tendance à la hausse des températures moyennes (valeurs moyennes de 13,49°C pour Orange et de 14,40°C pour le Luc), et de 1978 à 2000 avec une tendance à la hausse des températures moyennes dans les deux stations (valeurs moyennes de 14,40°C pour Orange et de 14,83°C pour le Luc).

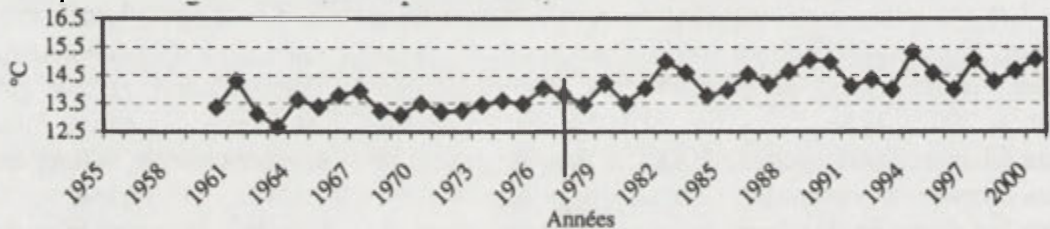


Fig. 1. Moyennes annuelles des températures moyennes de la station d'Orange

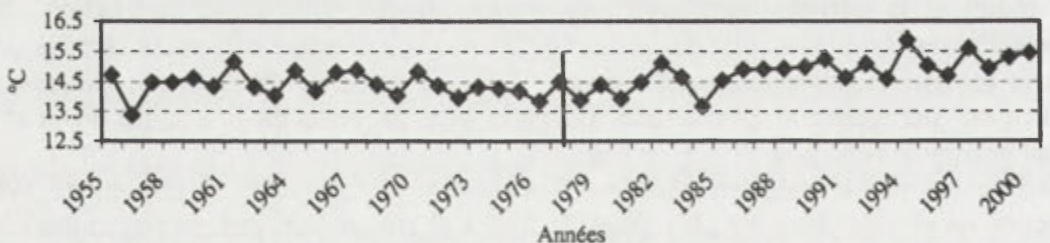


Fig. 2. Moyennes annuelles des températures moyennes de la station du Luc-Cannet des Maures

Les sorties climatiques du modèle de circulation générale LMD (1xCO₂ et 2xCO₂) relatives à la région ont servi à la création de scénarios climatiques. Elles prévoient avec 2xCO₂ une augmentation des températures mensuelles entre 2 et 3°C de juillet à octobre, de 2°C en janvier et en mars. Les précipitations augmentent durant le mois de février et de juin de 4mm, elles diminuent un peu au printemps et beaucoup en automne (de 8 à 11mm). Les changements du rayonnement solaire sont négligeables. Ces sorties ne prennent pas en compte l'évolution des aérosols soufrés dans l'atmosphère qui atténuent le réchauffement (IPCC, 2001). Deux types de scénarios ont été mis en place: un scénario regroupant essentiellement les paramètres de variabilité relatifs aux températures («2xCO₂ températures») et un scénario dans lequel ont été ajoutés les changements de précipitations et du rayonnement («2xCO₂») dans l'objectif d'identifier l'impact d'une modification de ces dernières variables. Un générateur climatique (LARS-WG) nous a permis de transformer ces scénarios en séries climatiques journalières trentenaires, «artificielles» mais admissibles, de précipitations, températures minimales et maximales et rayonnement solaire.

Résultats

- Phénologie:

L'augmentation de la température pendant les périodes d'observations (Fig. 1 et 2) a provoqué une réduction de l'ensemble du cycle de 11 jours pour les Côtes du Rhône (Tabl.1) et de 4 jours pour les Côtes de Provence (Tabl.2). L'augmentation des températures engendrée par 2x CO₂ pourrait diminuer le cycle de 18 à 20 jours en comparaison avec la situation de 1978-2000. La phase la plus raccourcie (moins 13 à 12 jours sous 2xCO₂) est celle du 1^{er} janvier au débourrement. La plante semble donc très sensible à la hausse des températures de janvier à mars, moins à celles du printemps et de l'été. Une modification des précipitations et du rayonnement n'a pas d'influence sur la phénologie.

Tableau 1. Nombres moyens de jours entre les stades phénologiques (Côtes du Rhône)

Climat	1er Janvier - Débourrement	Débourrement - Floraison	Floraison - Véraison	Véraison- Récolte	Total
1960-1977	105	58	65	40	268
1978-2000	98	58	61	40	257
2xCO₂ températures	85	59	56	40	240
2xCO₂	83	60	56	40	239

Tableau 2. Nombres moyens de jours entre les stades phénologiques (Côtes de Provence)

Climat	1er Janvier - Débourrement	Débourrement - Floraison	Floraison - Véraison	Véraison- Récolte	Total
1955-1977	87	69	66	40	262
1978-2000	83	71	64	40	258
2xCO₂ températures	71	67	60	40	238
2xCO₂	70	68	59	40	237

-Qualité:

Les facteurs climatiques fortement corrélés aux degrés alcooliques de la Syrah pour les Côtes de Provence sont résumés dans le tableau 3.

Tableau 3. Les facteurs climatiques fortement corrélés aux degrés alcooliques de la Syrah (Côtes de Provence). i:année des vendanges, i-1: année précédent l'année des vendanges

Facteurs favorables	Période	Corrélations	Facteurs défavorables	Période	Corrélations
Pluies	juin-juillet i	0.61	Pluies	août i	-0.55
Amplitude thermique journalière	été i-1 à hiver i	0.77	Températures max>25°C	juillet-août i	-0.61
Amplitude thermique journalière	juin-sept i	0.56			

L'application d'une régression pas à pas entre les degrés alcooliques (de 1977 à 1984 et de 1993 à 2000) et les valeurs des différentes variables climatiques corrélées significativement nous donne le modèle statistique suivant (R²= 0.93):

$$\text{Degrés alcooliques} = 4.223 + 0.00175 \text{ Ampl M} - 0.00271 \text{ Tx25} + 0.00245 \text{ Ampl J}$$

avec Ampl M:la somme des amplitudes thermiques quotidiennes du 16 mai i-1 au 20 mars de l'année i(part d'explication: 75%);

Tx25: la somme des températures maximales quotidiennes > 25°C du 11 juillet au 5 août de l'année i (part d'explication: 12%);

Ampl J: la somme des amplitudes thermiques quotidiennes du 21 juin au 10 septembre de l'année i (part d'explication: 6%).

Le degré alcoolique apparaît donc fortement sensible à une augmentation de l'amplitude thermique journalière, c'est-à-dire à la présence d'écart thermique associés à du beau temps: jours chauds-nuits fraîches.

Sous 2XCO₂, la somme des amplitudes thermiques quotidiennes de mai de l'année i-1 à mars de l'année i n'évolue pas par rapport à la situation actuelle. Au contraire, la somme des amplitudes thermiques caractérisant les mois d'été de l'année i augmente de 14°C, ainsi que

la somme des températures maximales journalières (de 71°C). Ce changement climatique semble très peu modifier les valeurs moyennes de degré alcoolique par rapport à la situation actuelle (Tabl. 4). Cependant la variabilité interannuelle est modifiée de façon défavorable: apparition d'années où le degré est inférieur à 11° (Fig.3). La prise en compte d'un changement de précipitations et de rayonnement semble légèrement ralentir ce phénomène.

Tableau 4. Les modifications du degré alcoolique sous un doublement de CO₂

	Aujourd'hui (1xCO ₂)	2xCO ₂ Températures	2xCO ₂
Moyenne	11.5	11.3	11.3
Ecart-type	0.2	0.3	0.3

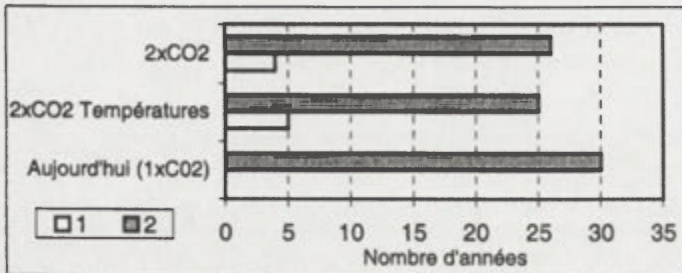


Fig. 3. Répartition des valeurs de degrés alcooliques obtenues avec le climat actuel et sous un doublement de CO₂. 1: entre]10 et 11] 2: entre]11 et 12]

Conclusions

Les résultats relatifs à l'impact du changement climatique sur la phénologie de la Syrah pour les Côtes du Rhône et de Provence font apparaître un raccourcissement du cycle végétatif avec un doublement de CO₂. La phase la plus touchée est celle du 1^{er} janvier (dormance) au débourrement.

Le modèle statistique de corrélations multiples calculé entre les degrés alcooliques et les variables climatiques fait ressortir l'importance des conditions climatiques de l'année antérieure. La Syrah apparaît fortement sensible à l'augmentation de l'amplitude thermique journalière. Sous 2xCO₂, les valeurs moyennes du degré alcoolique évoluent très peu par rapport à la situation actuelle, mais apparaissent des années où le degré alcoolique est faible (entre 11 et 12°).

Bibliographie

- BINDI, M. et al., 1998: The effect of climate change on grapevine production. *Science*, 48: 81-85.
- BINDI, M. et al., 1997: A simple model for simulation of growth and development in grapevine. I. Model description. *Vitis*, 36: 67-71.
- BINDI, M. et al., 1996: Modelling the impact of future climate scenarios on yield and yield variability of grapevine. *Climate Research*, 7: 213-224.
- GANICHOT, B., 2002: Evolution de la date des vendanges dans les Côtes du Rhône méridionales. [Dans:] *6èmes rencontres rhodaniennes: Evolution des techniques et production d'AOC en Vallée du Rhône*. Institut Rhodanien: 38-41.
- GERBIER, N. et REMOIS, P., 1977: *Influence du climat sur la qualité et la production du vin de champagne*. Monographie de la Météorologie Nationale.
- IPCC, 2001: *Third Assessment Report. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press.
- LEBON, E., 2002: Changements climatiques: Quelles conséquences pour la viticulture?. [Dans:] *6èmes rencontres rhodaniennes: Evolution des techniques et production d'AOC en Vallée du Rhône*. Institut Rhodanien: 31-36.
- TONIETTO, J., 1999: *Les macroclimats viticoles mondiaux et l'influence du mésoclimat sur la typicité de la Syrah et du Muscat de Hambourg dans le sud de la France*. Thèse de l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique, Montpellier.

L'HOMME ET LES RISQUES LIES A UN POSSIBLE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Gerard BELTRANDO

*Equipe Dynamique des Milieux et Risques (UMR 8586 PRODIG)
Centre de Géographie Physique (cc 7001) Université Paris VII Denis Diderot
2 place Jussieu 75251 Paris Cedex 05
beltrando@paris7.jussieu.fr*

Mots clés: risque climatique, changement climatique, principe de précaution, viticulture, aménagement du littoral, paludisme

Abstract: The objective of this communication is to show that a part of the potential risk to which the Man will be probably confronted is explained by its management and its mode of occupation of space.

Introduction

Les gaz de l'atmosphère formés de molécules triatomiques ou plus ont la capacité d'absorber différemment le rayonnement solaire et terrestre et c'est par l'intermédiaire de ces gaz à effet de serre (GES) que l'atmosphère régule les échanges d'énergie entre la surface et l'espace. Or, depuis le début de l'ère industrielle, les émissions anthropiques des GES et les aérosols rejetés massivement par les sociétés modernes ont sensiblement augmenté. Ces émissions perturbent l'équilibre du système climatique et provoquent un *effet de serre additionnel* pouvant induire un changement climatique plus brutal que dans des conditions naturelles. L'augmentation des températures moyennes de $0,6 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$, enregistrée dans l'hémisphère Nord durant le XX^e siècle, tend à le montrer. Cependant, comme l'origine essentiellement anthropique de ce réchauffement relatif n'est pas prouvée de manière irréfutable, la prise de décisions politiques efficaces, en matière de limitation des rejets, a beaucoup de mal à être acceptée par les acteurs économiques. Pourtant, les perturbations économiques imputables à ce possible changement climatique affecteront peut-être de nombreux secteurs : de l'agriculture au tourisme en passant par la protection du littoral.

Au-delà de ces incertitudes de la science et de l'attente des politiques sur la limitation des émissions de GES, l'Homme aura peut-être aussi une part de responsabilité, car il prend peu de mesures préventives dans le domaine de l'aménagement de l'espace, pour palier aux conséquences de ce risque possible.

Les prévisions des modèles

La plupart des modèles couplés et reconnus ont au minimum simulé l'évolution du climat pour un doublement du taux de CO₂ par rapport à sa valeur initiale, c'est à dire avant le début de l'ère industrielle (1750). Dans cette hypothèse, le forçage radiatif dû à l'accroissement de l'effet de serre, au-delà des nombreuses incertitudes qui ne sont pas abordées ici, donne pour la deuxième moitié du XXI^e siècle une augmentation de la température de l'air d'environ 2°C (la fourchette va de +1,5 à 4°C voire 6°C) ainsi qu'une élévation du niveau de la mer (de +15 à + 98 cm suivant les modèles) et un changement dans la répartition des précipitations (derniers rapports de l'IPCC). L'augmentation de la température peut se répercuter sur un changement du cycle de l'eau, au moins dans sa composante atmosphérique. En partant du scénario de Barthelet & al. (1998), la modélisation donne une intensification moyenne d'environ 3 % du cycle de l'eau pour la fin du siècle. L'augmentation serait plus importante dans les régions équatoriales et sous les moyennes et les hautes latitudes. A l'opposé, entre 20 et 45° de latitude, il y aurait un accroissement de l'évaporation par rapport aux précipitations. Des sécheresses plus intenses, assorties d'incidences sur les sols et le stress des écosystèmes, sont assez souvent évoquées, mais un

certain nombre de divergences persistent à l'échelle régionale sur les relations entre ces phénomènes et le possible changement climatique.

Une des conséquences de l'augmentation globale de la température est l'élévation du niveau de la mer, principalement par effet de dilatation thermique de l'eau et secondairement par variation du volume des glaces continentales (98% des glaciers de la planète sont en récession). Cette augmentation, déjà observée sur l'ensemble du XX^e siècle à partir des mesures conventionnelles, est confirmée par l'analyse des données altimétriques du satellite *Topex-Poseidon* pour les dernières années (Cazeneuve et al., 1998). Dans les ports de Brest et de Marseille, la tendance générale du niveau de la mer est d'un peu plus de 1 mm par an, pour les deux derniers siècles. Mais à Marseille, comme dans d'autres sites du monde, une décélération apparaît depuis le début des années 60 (Pirazzoli, 1986). Ce changement peut s'expliquer par une augmentation de la densité de l'eau dû à un déficit en apport d'eau douce par les fleuves (moins de précipitations), cependant, les marégraphes ne permettent pas de préciser si c'est l'élévation du niveau marin ou l'affaissement du continent qui explique les valeurs mesurées.

Des perturbations diverses sont donc à envisager et, quelles soient d'origine naturelle ou anthropique, l'homme devra s'y adapter, mais l'occupation moderne des milieux ne sera-t-elle pas aussi responsable des gênes potentielles?

Les risques pour l'économie viticole européenne

La vigne, liane d'origine méditerranéenne, possède un potentiel d'adaptation important aux changements de son environnement, au moins en ce qui concerne les températures et éventuellement le CO₂. Mais, le possible changement climatique pourrait cependant avoir des effets plus ou moins directs, perturbant ainsi ce secteur agricole à forte valeur ajoutée et source de revenus importants dans certaines régions (coteau alsacien, champenois...). Dans l'hypothèse d'un réchauffement autour de 2°C d'ici à la fin de XXI^e siècle, la frontière nord de la vigne se déplacerait de 10 à 30 km par décennies jusque dans les années 2020 et plus encore au-delà (Kenny, Harrison, 1993). Ce changement climatique modifierait aussi la répartition des cépages adaptés à l'Europe. H. R. Schultz (1996) utilisant l'indice héliothermique de Huglin (largement admis dans le milieu agronomique), indique que dans le vignoble de Geisenheim (Allemagne, 50° N), le merlot ou le cabernet pourraient se substituer au riesling ou aux pinots noir et blanc actuels. La diminution des précipitations et l'élévation des températures pourraient réduire sensiblement l'humidité des sols. En Europe, la péninsule ibérique serait particulièrement concernée par ce phénomène et l'eau est une denrée déjà rare dans certaines de ces régions où l'irrigation ne sera probablement pas possible à des coûts acceptables. Si la profession est bien organisée et si les services techniques d'aide aux viticulteurs sont souvent très efficaces, il n'en reste pas moins que, sur certains terroirs au moins, l'adaptation risque de ne pas être facile. Mais, là encore, les approches à partir de modèles à une échelle spatiale trop globale, apportent pour le moment des résultats très insuffisants. C'est à une échelle spatiale très fine (de l'ordre de la parcelle) et en tenant compte du comportement et des possibilités matérielles des viticulteurs concernées que l'on peut tenter d'évaluer les bouleversements économiques mais aussi psychologiques et culturels imputables à un éventuel changement climatique qui lui-même est difficile à préciser.

Les risques d'une élévation du niveau des océans

L'élévation de quelques centimètres du niveau des mers pourrait fragiliser les plages de sable et les côtes basses et tout particulièrement les deltas peuplés de l'Asie du Sud et certaines îles (Pacifique, Caraïbes...). L'érosion des plages, phénomène quasi général dans le Monde, est due à une pénurie de sédiments. Ce processus d'origine naturelle a commencé à se manifester à la fin de la transgression post glaciaire, mais il s'est fortement accentué à l'époque moderne par les actions directes de l'homme amplifiant localement la pénurie

sédimentaire : mise en place de barrages sur les fleuves (pièges à sédiments) et prélèvement massif des matériaux sur les plages (sable, galets...) pour des constructions diverses (Paskoff, 1998). L'accroissement prévu du niveau de l'océan accentuera l'érosion des plages déjà concernées par ce processus et, éventuellement, il pourrait le déclencher là où cette érosion ne se manifeste pas encore. L'homme dispose d'une technologie permettant de protéger les plages de l'érosion, soit par des ouvrages implantés en bord de plage (murs, cordons d'enrochement), soit par l'apport artificiel de sable ou de galets permettant de palier le déficit sédimentaire. Mais ces actions sur le milieu posent des problèmes: la protection par ouvrage d'art, constitue une gêne environnementale évidente et elle contribue à accélérer l'érosion par réflexion des vagues sur l'obstacle que constitue cet ouvrage ; l'apport de matériaux est une formule plus 'naturelle' mais elle nécessite la proximité d'un gisement et l'opération doit être reconduite régulièrement (coût). Avant toute action, se pose la question de savoir si l'on doit protéger systématiquement le trait de côte avec des crédits publics sans tenir compte de la valeur des biens à protéger et de leur intérêt pour la communauté ? L'élévation possible du niveau de la mer doit (et devra encore plus) inciter les décideurs à choisir, par anticipation, l'emplacement des installations de sorte que celles-ci ne soit pas affectées, par l'érosion marine ou la submersion marine, avant la fin de leur durée de vie prévue. Même si la modélisation ne permet pas de simuler finement l'évolution possible du trait de côte, l'homme doit par précaution anticiper cette évolution. La meilleure réponse, tant sur le plan environnemental que financier, est le retrait des aménagements partout où l'urbanisation n'est pas encore très importante, pour limiter, dans les prochaines décennies, l'étendue du linéaire à protéger, si l'élévation prévue se vérifie. Il reste à convaincre, les décideurs et les propriétaires de terrain en bord de mer de l'intérêt d'une telle démarche.

Les risques sur la santé

En dehors des hautes latitudes, le réchauffement de l'air pourrait avoir des conséquences préjudiciables en directes sur la santé humaine: s'il y a un renforcement et un allongement des épisodes de chaleur notamment en milieu urbain, cela pourra augmenter la mortalité due aux affections cardiorespiratoires. Sous les moyennes latitudes, même si le cumul des degrés-jours de chauffage peut baisser (moins de dépense pour le chauffage), en contrepartie le nombre de degrés-jours de climatisation pourrait augmenter. Il va de soi que le bilan entre les deux dépendra des possibilités financières des populations qui devront intégrer cette donnée dans leur habitat (isolation, climatisation...) et dans l'urbanisme.

Les effets possibles sur la santé sont extrêmement variés et, à nouveau, il n'est pas facile de distinguer ce qui relèvera directement d'un changement climatique de ce qui résultera d'autres actions de l'homme sur son environnement pour lesquelles le climat n'est pas le premier facteur explicatif. L'accroissement de la population dans les zones à risque, la promiscuité de vie des populations défavorisées, l'évolution de l'occupation des surfaces, apparition de vecteurs hors des zones d'extension actuelles, l'intensification des migrations de population ou l'industrialisation de la production agricole sont des exemples de facteurs qui pourraient être à l'origine de pathologies nouvelles ou de la ré-émergence de pathologies plus anciennes, sans que le climat soit *a priori* le premier agent.

Aujourd'hui, pour les pathologies tributaires des conditions environnementales, la recherche médicale est confrontée à un manque de données épidémiologiques et environnementales permettant d'évaluer précisément leurs liens. Par exemple, la fièvre de la vallée du Rift identifiée en Afrique de l'Est s'est propagée récemment en l'Égypte (1977), en raison de conditions climatiques particulières et de la migration d'animaux infectés ; puis en Afrique de l'Ouest (1987), région où elle est associée à la construction d'un barrage sur le fleuve Sénégal (Meslin, Formenty, 2002). En général, les maladies à vecteurs ne coïncident pas avec l'aire de ce vecteur, ce qui signifie que d'autres facteurs sont à prendre en compte (déforestation, aménagement de barrages-réservoir...). Le lien entre augmentation de la température régionale et augmentation des vecteurs est donc loin d'être linéaire. On peut

cependant penser qu'une évolution des températures peut avoir un impact sur les marges actuelles, altitudinales et latitudinales, des zones endémiques.

Plusieurs publications évoquent le cas du paludisme, mais les conclusions sont assez divergentes. L'histoire du paludisme en Europe du Sud permet de s'interroger sur le manque de relations évidentes entre l'élévation des températures et l'extension de cette maladie. Le paludisme, est connu dans l'Antiquité et il a été considéré comme l'une des causes de la décadence de l'Empire Romain. Plus tard, le paludisme a semble t-il peu inquiété les populations du Moyen Age avant de revenir en force durant le Petit Age Glaciaire. Son déclin en Europe méditerranéenne a commencé au milieu de XIX^e siècle (sauf en Italie du Sud). En France, les derniers cas connus sont en Camargue au début des années 1940 (Mouchet, 2002). L'amélioration des conditions de vie (séparation entre étable et habitat par exemple) et plus tard l'arrivée des insecticides de synthèse (DDT) ont été déterminants: l'aire d'expansion du paludisme a été réduite de plus du tiers. L'ambiance climatique est un facteur essentiel mais les conditions de vie de l'Homme sont probablement tout aussi importantes. La présence d'eau stagnante est un facteur d'explication de l'existence du paludisme, jusque dans le Nord de l'Europe et, ces dernières années, les cas déclarés s'expliquent surtout par l'importation à partir d'aéroports. En France, le retour du paludisme est prévu par quelques scientifiques, mais, s'il réapparaît, pourra t'on objectivement l'expliquer directement par le changement climatique? L'extension des zones humides ou des surfaces irriguées, la présence plus permanente que dans le passé des hommes dans les littoraux où les anophèles peuvent vivre, seront probablement des facteurs explicatifs de premier ordre. En Europe, l'intervention des services de santé peut aujourd'hui empêcher la propagation de toute épidémie, mais dans les régions où ces services sont peu organisés, le changement climatique associé à un changement de l'environnement pourrait avoir des conséquences plus désastreuses.

Conclusion

De tous temps, les conditions climatiques ont changées et l'Homme tout comme la flore et la faune ont dû progressivement s'y adapter d'une manière ou d'une autre. Mais, ce qui est inquiétant dans le changement annoncé c'est la rapidité que pourraient avoir les changements à venir et l'Homme ne semble pas intégrer suffisamment cette donnée dans sa manière de gérer et d'occuper l'espace. Malgré les difficultés de prévoir les changements climatiques potentiels avec la précision nécessaire, ne serait-il pas prudent d'anticiper les conséquences attendues? Faut-il continuer à focaliser l'essentiel des efforts financiers de la recherche sur la modélisation physique et secondairement économique? Faut-il attendre que la recherche puisse apporter des réponses irréfutables, avant d'envisager les aménagements permettant de se préparer en peu mieux à un éventuel changement climatique?

Bibliographie

- BARTHELET, P., BONY, S. et BRACONNOT, P., 1998: Global coupled simulations of climate change due to increased atmospheric CO₂ concentration. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 326, sér. IIA, 677-684.
- CASENAVE, A., 1999: Les variations du niveau moyen de la mer. *C.R. Acad. Sci.*, Paris, 329, 457-469.
- KENNY, G.H. et HARRISON, P.A., 1993: The effects of climatic variability and change suitability in Europe. *J. of Wine Research*, 4, 163-183.
- MESLIN, F.-X. et FORMENTY, P., 2002: Les maladies infectieuses émergentes et ré-émergentes: quelle relation avec le changement climatique? *Envir., Risques & Santé*, 1, n° spécial, 26-31.
- PASKOFF, R., 1998: *Les littoraux, impacts des aménagements sur leur évolution*, A. Colin, Paris.
- PIRAZZOLI, P. A., 1986: Secular trends of relative sea-level changes indicated tide-gauge records. *J. of Coastal Research*, SI, 1, 1-26. *Oceanologica Acta*, 22, 153-166.
- SCHULTZ, H. R., 1996: Climate change and its possible effects on Viticulture. [In:] GESCO Compte Rendu, Budapest, Ungarn, 21.8.-24.8.96, 221-226.

VARIATIONS CLIMATIQUES ET CHANGEMENTS D'OCCUPATION DU SOL EN ZONE DE FORET PRIMAIRE: LE CAS DE LA FORET CLASSEE DU HAUT-SASSANDRA (COTE D'IVOIRE)

Sylvain BIGOT, Johan OSZWALD* Téléphore Yao BROU***

**Laboratoire de Géographie des Milieux Anthropisés (CNRS UMR 8141)*

Université des Sciences et Technologies de Lille

Avenue Paul Langevin, 59655 Villeneuve d'Ascq cedex – France

sylvain.bigot@univ-lille1.fr

***Institut de Géographie Tropicale, Université de Cocody (Abidjan)*

UFR Sciences de l'Homme et de la Société, 22 BP 744 – Abidjan 22 – Côte d'Ivoire

Mots clés: Côte d'Ivoire, précipitations, variabilité, forêt dense, télédétection, déforestation

Abstract: From the analysis of rainfall variability, it is possible to identify ruptures of stationarity (for example the end of 1970's) in the forest area of Haut-Sassandra (mid-west of the Côte d'Ivoire) which correspond certainly to significant variations of the West African climate but also to significant modifications of regional land cover studied by SPOT imagery.

Introduction

Les variations environnementales terrestres, du fait de la modification des échanges avec la couverture végétale, modulent en grande partie la mosaïque des climats régionaux, notamment au travers de paramètres tels que l'albédo, les ressources en eau du sol et le cycle de l'eau aérien. Ainsi, localisée en bordure du golfe de Guinée, au sein d'interactions complexes du système Terre-Océan-Atmosphère, et touchée à la fois par des modifications significatives de son climat (baisse des précipitations) et de ses états de surfaces forestiers (dégradation et déforestation) au cours des 30 dernières années, la Côte d'Ivoire est un exemple particulièrement représentatif de la nécessité d'une approche systémique pour comprendre, et éventuellement prévoir, les variations climatiques régionales. L'exemple présenté ici analyse la variabilité pluviométrique spécifique de la région forestière du centre-ouest de la Côte d'Ivoire sur la période 1923-2000. L'étude s'appuie plus particulièrement sur le cas de la forêt classée du Haut-Sassandra, en rapport avec ses changements d'occupation du sol et ses variations phénologiques saisonnières.

Données et méthodes

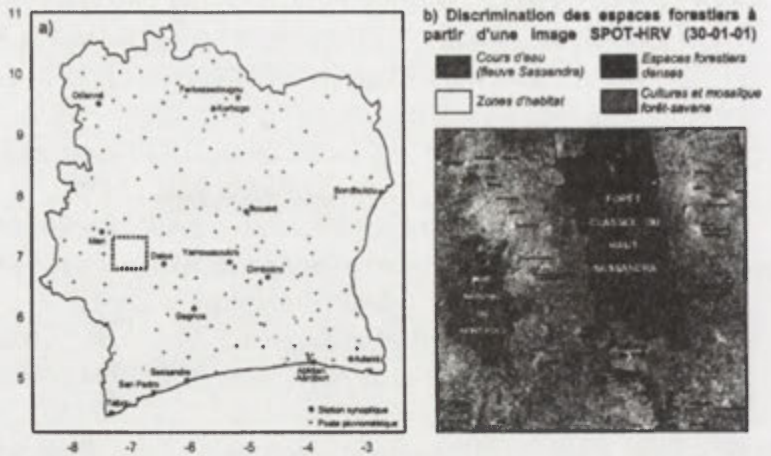
Dans le cadre d'un programme de recherches international financé par l'AUPELF et mené au Laboratoire de Géographie des Milieux Anthropisés (USTL) et à l'IGT (Institut de Géographie Tropicale), un ensemble de données climatiques et biophysiques a été collecté à l'échelle de la Côte d'Ivoire. Un effort particulier a notamment été fait pour archiver les chroniques au pas de temps journalier, seule échelle pertinente lorsqu'on analyse des rythmes bioclimatiques, notamment phénologiques, et pour actualiser les séries pluviométriques jusqu'à l'année 2000. Ces données sont réparties sur tout le territoire, mais seules les séries des stations synoptiques de Man (1923-2000) et Daloa (1950-2000), possédant d'une part des données de bonne qualité, avec peu de lacunes, et situées d'autre part à proximité de la forêt classée du Haut-Sassandra, sont utilisées dans les analyses ci-après (Fig. 1).

Parallèlement, une collection d'images SPOT à haute résolution (20 mètres) a été constituée afin de pouvoir étudier l'évolution diachronique des principaux paysages agroforestiers ivoiriens, notamment dans l'ouest du pays.

Fig. 1.

a) Réseau pluviométrique ivoirien (les limites de la scène SPOT utilisée sont indiquées en pointillés)

b) localisation de la forêt classée du Haut-Sassandra à partir de la même scène SPOT dans le centre-ouest de la Côte d'Ivoire



L'étude porte plus précisément sur la forêt classée du Haut-Sassandra, située à environ 60 km à l'ouest de Daloa et couvrant plus de 102 000 hectares, soit un des derniers grands espaces de forêt dense résiduelle homogène de la Côte d'Ivoire. Mais cette région subit depuis maintenant 20 ans des évolutions rapides, soit par le biais du déclassement de zones protégées pour développer des espaces agricoles (exemple de l'enclave du V12 au sud) soit à cause de l'infiltration et de l'installation de campements agricoles non autorisés. En complément des images ayant une haute résolution spatiale mais qui demeurent très ponctuelles dans le temps, l'ensemble des synthèses décennales SPOT4-Végétation possédant une résolution spatiale de 1 km est également analysé sur la période 1999-2001, base qui permet d'actualiser l'étude des différentes phénologies régionales saisonnières.

Résultats

L'analyse de la variabilité des totaux pluviométriques de la station de Man sur la période 1923-2000 révèle l'existence de quatre périodes statistiquement homogènes (Fig. 2a). Elle confirme l'existence d'une période relativement plus humide au début du siècle que les quatre dernières décennies. Cependant, la rupture de stationnarité datée vers 1945 peut aussi être liée à des biais d'origine instrumentale, comme on le détecte dans de nombreuses séries climatiques à l'échelle planétaire. La rupture observée vers 1965 correspond en revanche à la récession pluviométrique enregistrée dans toute l'Afrique occidentale au courant des années 1960 et 1970, aussi bien les régions sahéliennes que guinéennes. Les variations à Man indiquent aussi que la baisse des précipitations perdure pendant les années 1980, mais qu'au contraire, plusieurs années de la décennie 1990 enregistrent à nouveau des anomalies nettement positives (1994, 1995 et 1999).

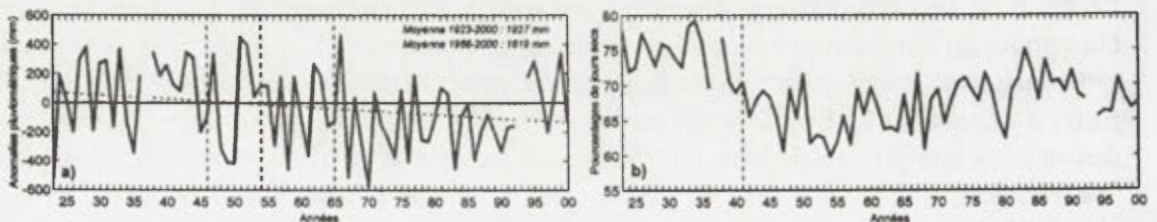
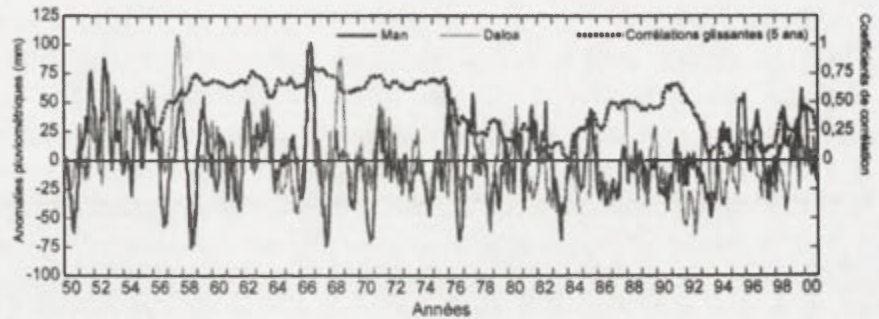


Fig. 2. Variabilité pluviométrique interannuelle de la station synoptique de Man entre 1923 et 2000: a) pour les totaux annuels, b) pour le nombre de jours secs; les traits pointillés verticaux signalent les ruptures de stationnarité significatives à 95% selon un test de Pettitt; les années 1937 et 1993 sont manquantes

Au-delà des variations de hauteurs d'eau à l'échelle quasi-séculaire, l'examen du nombre de jours secs indiquent aussi de profonds changements des caractéristiques pluviométriques régionales. En effet, même si la période 1966-2000 est plus sèche que celle antérieure à 1945, le nombre moyen de jours secs est cependant inférieur au cours de l'année, suggérant donc une répartition différente des précipitations au cours de l'année et une modification de l'intensité des évènements pluvieux (Fig. 2b). En outre, alors que le nombre de jours secs semblait cependant augmenter depuis le milieu des années 1950 dans la région du Haut-Sassandra, il diminue à nouveau depuis 1984. La comparaison avec les variations pluviométriques interannuelles enregistrées à Daloa, située environ 130 km au sud-est, révèle *a priori* une assez bonne covariation générale entre les deux stations sur la période 1950-2000 (Fig. 3).

Fig. 3. Anomalies pluviométriques mensuelles (1950-2000) pour les stations de Man et Daloa ; ces 2 séries sont lissées à partir d'un filtre passe-bas ; les corrélations glissantes calculées sur une fenêtre de 5 ans ($R_{99\%} > 0,35$) sont également indiquées



Pourtant, une analyse plus fine montre d'une part que certaines anomalies pluviométriques sont localisées, avec de grandes différences d'intensité régionales (notamment 1957, 1968, 1987, 1989), et d'autre part que les tendances des deux dernières décennies sont souvent inverses (notamment 1979, 1981, 1982, 1992 à 1994, 1998). Le calcul des corrélations interstationnelles sur une fenêtre temporelle glissante de 5 ans précise que la cohérence climatique régionale a significativement évolué après 1976 ainsi que 1991 (Fig. 3). Ces deux dates correspondent à des changements majeurs enregistrés dans les états de surface de la région du Haut-Sassandra. En effet, alors que la déforestation massive de la Côte d'Ivoire débute vers 1958, celle des régions du sud-ouest et du centre-ouest commence plutôt vers 1977-80, époque à laquelle les deux pistes carrossables Guiglo-Zagné furent construites et provoquent la destruction de plus de 20% du couvert forestier dense en moins de 10 ans (Chatelain, 1996). A l'échelle de la forêt classée du Haut-Sassandra, l'étude diachronique par imagerie SPOT révèle que la déforestation s'est intensifiée pendant la décennie 1990, surtout par le biais du développement des enclaves agricoles en zones déclassées.

L'étude saisonnière montre que les variations après 1976 affectent surtout le cœur de la grande saison des pluies, mais cependant avec des différences importantes puisque le mois d'août (*septembre*) enregistre une hausse (*baisse*) des précipitations mais une diminution (*augmentation*) du nombre de jours secs (Fig. 4).

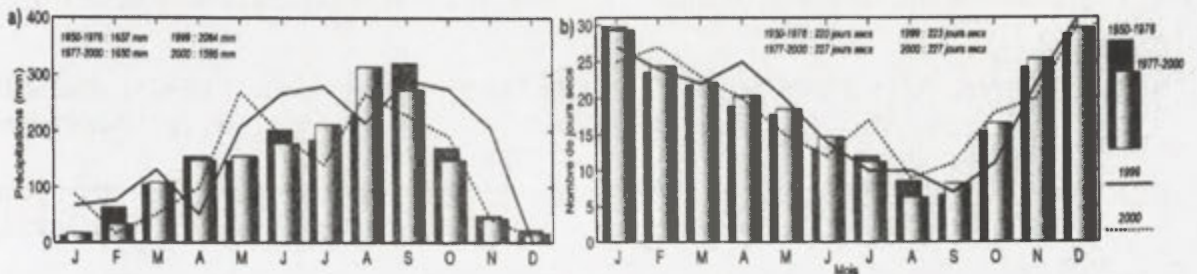


Fig. 4. Régimes pluviométriques saisonniers à la station de Man pour les moyennes 1950-1976 et 1977-2000, et pour les années 1999 et 2000: a) selon les hauteurs mensuelles de précipitation, b) selon le nombre de jours secs par mois

Comme cela est suggéré par les simulations numériques effectuées à l'échelle des grands ensembles forestiers tropicaux, la phase annuelle des précipitations, tant au niveau des hauteurs d'eau précipitées que du nombre d'évènements pluvieux, peut en effet être significativement influencée par les changements d'états de surface via la déforestation, particulièrement celle des grands ensembles forestiers encore spatialement intègres et cohérents. Mais ces conclusions doivent aussi être pondérées à la lumière des variations observées dernièrement, ainsi l'année 1999 qui ne se conforme pas du tout au modèle précédemment décrit, avec plutôt de fortes précipitations en petite saison sèche et au début de la grande saison des pluies, avec une baisse significative en août (Fig. 4). En outre, les années 1976-77 ainsi que le début de la décennie 1990 correspondent aussi à des modifications très significatives des champs thermiques atlantiques tropicaux, structures qui semblent expliquer une part des variations pluviométriques de la Côte d'Ivoire et qui modèrent donc les explications purement anthropogéniques (Bigot *et al.*, 2002). Pourtant, grâce à l'imagerie SPOT, la discrimination des phénologies saisonnières en fonction de l'occupation du sol (espaces urbanisés, forêts denses, forêts dégradées, plantations monospécifiques, zones agricoles) et des conditions pluviométriques régionales révèle qu'il existe effectivement des réponses très différentes liées aux diverses productivités végétales et susceptibles d'influencer le climat via les changements d'albédo et d'évapotranspiration (Fig. 5).

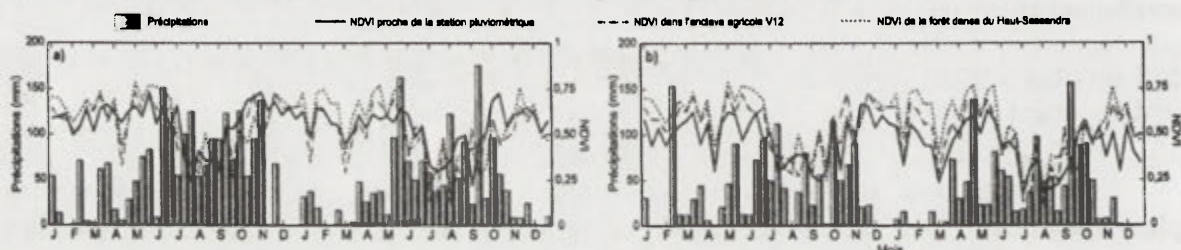


Fig. 5. Comparaison entre les variations pluviométriques mensuelles et le NDVI moyen à proximité du poste pluviométrique, en zone de forêt dense du Haut-Sassandra et dans l'enclave agricole du V12 sur la période 1999-2000: a) pour la station pluviométrique de Man, b) pour la station pluviométrique de Daloa; les indices phénologiques sont calculés pour une superficie moyenne de 25 km²

Conclusions

Discriminer les causes des changements climatiques régionaux au sein des espaces forestiers tropicaux demeure donc difficile. Cet exemple ivoirien montre en effet qu'il est certes possible d'identifier des variations climatiques régionales synchrones de modifications anthropogéniques des états de surface, mais aussi de variations climatiques liées à la circulation générale atmosphérique des basses latitudes. Et il reste de toute façon impossible de fournir des conclusions définitives sans mesures physiques et bioclimatiques *in situ* plus détaillées, mesures toujours très complexes à mettre en œuvre en zone de forêt dense.

Remerciements: ce travail a été soutenu financièrement par l'AUPELF-UREF (programme 2002-PAS-18) et le MAE français (programme SUP2000).

Bibliographie

- BIGOT, S., BROU, Y.T., BONNARDOT, V. et SERVAT E., 2002: Interannual stability of rainfall patterns in the Ivory Coast over the period 1950-1996. *Publications de l'Association Internationale des Sciences Hydrologiques*, 274: 507-514.
- CHATELAIN, C., 1996: Possibilités d'application de l'imagerie satellitaire à haute résolution pour l'étude des transformations de la végétation en Côte d'Ivoire forestière. Université de Genève, thèse de doctorat.

ETUDE DE LA DISTRIBUTION SPATIO-TEMPORELLE DES PARAMETRES CLIMATIQUES DANS LE TERRITOIRE DE L'ETHIOPIE: PREMIERS RESULTATS

*Paolo BILLI**, *Massimiliano FAZZINI***, *Simona FRATIANNI****,
*Francesco DRAMIS, ***, *Augusto BIANCOTTI****, *Carlo BISCI*****

**Dipartimento di Scienze della Terra – Università di Ferrara, Italie*

*** Dipartimento di Scienze Geologiche – Università Roma Tre, Italie,*
meteomax@katamail.com

****Dipartimento di Scienze della Terra – Università di Torino*

*****Dipartimento di Scienze della Terra – Università di Camerino*

Mots clés: Ethiopie, tendances thermo-pluviométriques, désertification

Abstract: Longest series of climatic data for several meteo stations in Ethiopia were collected. They include 14 raingauges and 5 thermometric stations located in the highlands and in the Main Ethiopian Rift Valley and ranging in elevation from 1200 to 2500 m a.s.l. These data, were statistically analysed in order to provide a reliable base for the characterisations of climate in this part of the world and to investigation on the occurrence of climatic trends with respect to desertification process that is widely expanding in sub-Saharan East Africa.

Introduction

On a considéré, dans ce travail, la totalité des données thermo-pluviométriques relatifs aux séries historiques continues, existantes dans le territoire éthiopien, ayant une période minimale de 30 ans; la distribution spatiale et des altitudes des stations n'est pas très homogène, avec un réseau assez satisfaisant dans la région de Addis Ababa, et dans la Rift Valley tandis que il manque totalement des stations dans la vallée de l'Omo, aux déserts de Dancalie, de l'Ogaden, et, en général, au-dessous de 1200 mètres et au-dessus de 2700 mètres. En totale, les stations analysés sont 16 pluviométriques et seulement 5 (Addis Ababa, Asela, Awassa Ziway et Makele) thermométriques (Fig. 1 et Tabl. 1).

Le but principal de la recherche est celui de recueillir toutes les données climatologiques disponibles; ensuite de commencer l'homogénéisation et la validation afin de chercher, bien que les séries soient assez courtes; d'analyser les variations des trends relatifs aux paramètres climatiques soit mensuels que saisonniers et annuels, et à quelque indice climatique (indice d'Aridité de De Martonne, évapotranspiration potentielle de Thornthwaite qui peuvent donner des informations sur le procédé de désertification, toujours plus évidente. Le passage suivant, au moment en cours d'exécution, es celui d'appliquer des méthodes statistiques simples comme les régressions linéaires et les moyennes mobiles à 5 ans, ensuite d'autres plus complexes comme l'analyse spectrale à bref et à moyen période afin de chercher de comprendre l'évolution de ce phénomène dramatique et ses conséquence dans le domaine de l'agriculture.

1. Tableau climatique

Le climat de l'Ethiopie est très influencé de la complexe orographie et la variabilité physiographique du territoire. On peut reconnaître deux régions physiques principales: le plateau éthiopien qui présente une altitude moyenne de 2500 m.s.n.m., avec des reliefs dans le Nord-Ouest qui s'élèvent au dessus de 4000 mètres (M. Semien); La Rift Valley et la vallée du fleuve Omo qui s'étende à altitudes inférieures à 1500 mètres.

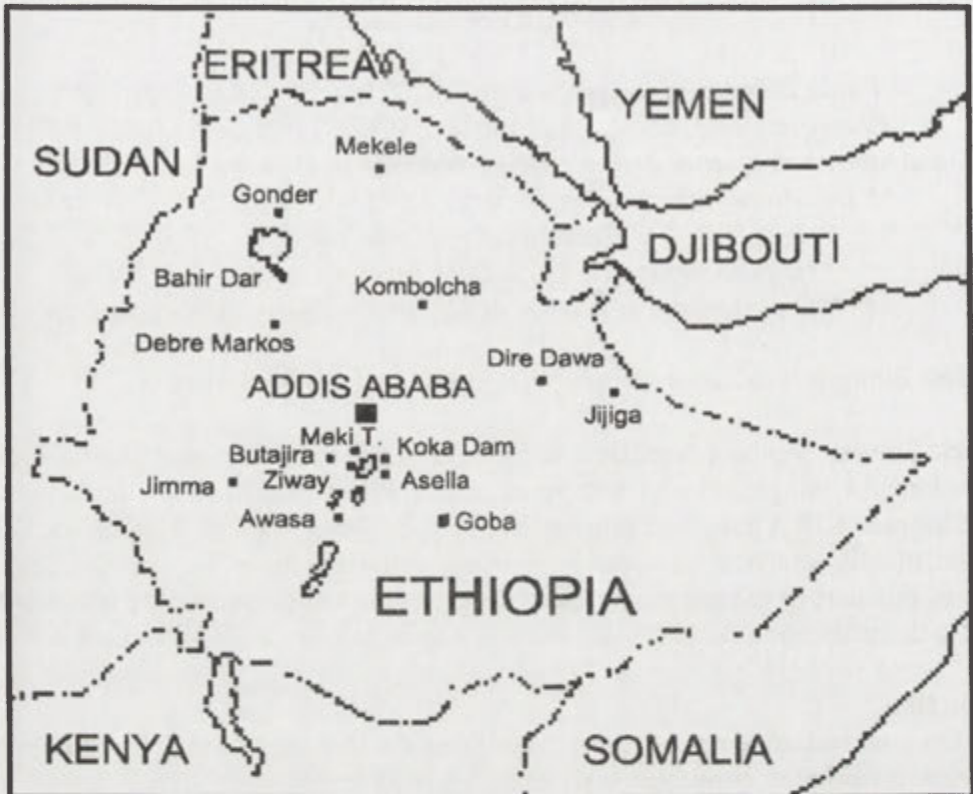


Fig. 1. Position géographique des stations météorologiques

Selon la classification de Koppen-Geiger (dans UNEP, 1992) on peut affirmer que le territoire présente un climat tropical avec hiver sec.(Aw) La position saisonnière de la ligne de convergence intertropicale (ITC) détermine une directe influence des talwegs équatoriens dans la période à haut soleil, tandis que durant le reste de l'an c'est l'alizé de Nord-Est qui apporte de l'aire sec du Sahara. Dans chaque mois, jusqu'à 2000-2200 mètres d'altitude les températures moyennes dépassent les 18 degrés. Au dessus de cette altitude le climat devient «intertropical d'altitude» (H).

Les précipitations (qui devient souvent neigeuses, en l'été dans les M.ts Semien) sont distribuées dans deux différentes périodes: la brève saison des grandes pluies (*Kiremt* selon la langue locale) de juin à septembre et les petites pluies (*Belgh*) de mars à mai. Dans la première période les pluies sont soit d'origine frontale, assez prolongées dans le temps, soit convectives mais presque jamais très intenses; les petites pluies, plus fréquentes et abondantes sur le plateau et les reliefs les plus hauts sont d'évidente origine oro-convective et se manifestent par des averses très intenses mais de brève durée et à tel point que, ici, elles déterminent un maximum relatif dans le régime météorique annuel.

Dans la période entre octobre et mars le temps est presque toujours ensoleillé et les averses sont très rares. Les totales annuels arrivent à 1000-1300 mm sur le plateau et en proximité des massifs les plus importants mais en procédant vers le fond de la Rift Valley et au Tigray elles montrent une baisse très rapide et ne dépassent presque jamais les 800 mm (Tabl. 1). En général les mois les plus pluvieuses sont juillet et août avec des valeurs de 130-170 mm (le maximum valeur in Addis Ababa est de 292 mm in Août) tandis que le moi le plus sec est justement décembre avec des valeurs moyens inférieurs à 10 mm.

Dans la «Rift» (Ziway, Awasa), le *Kiremt* recueille presque le 60% du total annuel, le *Belgh* le 30% dans le Tigray (Makele) et le nord-ouest (Gonder) en la saison des grandes pluies tombent plus de l'80% du total.

Les températures moyennes annuelles (Tabl. 1) sont comprises entre le 19-20°C de la Rift Valley et le 14-16°C du plateau; Les valeurs moyennes les plus hautes se gagnent en avril tandis que celles les plus basses se relèvent entre décembre et janvier; l'amplitude thermique annuelle est partout très réduite – autour de 4-6°C - tandis que celle quotidienne est assez élevée – comprise entre 8 e 13°C - et plus marquée dans l'hiver et au fond de la Rift Valley qui présente des caractères thermiques modérément continentaux.

Les températures montrent une baisse assez régulière avec un gradient thermique annuel de 0,53°C/100 mètres, de conséquence, l'isotherme de 18°C se colloque à 2000-2200 m.s.n.m.; puisque dans le climat intertropicale d'altitude les valeurs du gradient sont généralement plus fort aux maximum altitudes, on peut supposer, en l'absence de quelconque station de relèvement thermométrique en haute montagne, que l'isotherme annuelle de 0°C annuel se colloque à 4500 mètres environ.

Tableau 1. Données moyennes thermo – pluviométrique du territoire, à ce moment validées:
TMA – température moyenne annuelle; PET – évapotranspiration potentielle selon Thornthwaite (1957)

STATIONS	LAT	LONG	ALT	J	F	M	A	M	G	J	A	S	O	N	D	TOT	TMA	PET
Addis Ababa	9,03	38,42	2408	16	39	68	97	77	125	253	280	176	35	8	12	1095	16	740
Asela	8,24	39,14	2300	20	45	96	111	112	139	201	228	180	56	24	14	1225	15	690
Awasa	7,08	38,26	1571	26	42	68	101	122	103	125	124	125	72	26	17	951	19	866
Bahir Dar	11,36	37,23	1770													1407		
Butajira	8,26	38,10	2000	34	76	135	128	113	116	172	155	115	37	10	13	1104		
Debre Marcos	10,21	37,44	2515													1325		
Dire Dawa	9,58	41,22	1260													637		
Goba	7,02	39,59	2743													905		
Gonder	12,36	37,28	1967	4	5	18	40	87	155	311	287	112	56	25	11	1038		
Ijjiga	9,33	42,48	1775													777		
Jimma	7,67	36,05	1725													1515		
Koka Dam	8,33	39,07	1595	10	22	40	50	36	50	163	155	75	17	7	7,4	791		
Kombolcha	11,05	39,44	1903													1048		
Mekele	13,30	39,28	2030	2	8	26	42	37	31	205	230	37	3	6	2	620	17	530
Meki Tokn	8,43	38,75	1650													791		
Ziway	7,56	38,53	1640	15	35	57	78	78	88	139	128	87	38	2	4	751	20	897

2. Analyse temporelle des données

L'analyse des précipitations annuelles et saisonnières montre, tout d'abord, une générale baisse des valeurs, sauf dans la région à sud-ouest de Addis Ababa (Fig. 1) qui enregistre des faibles hausses; le résultat le plus important est celui relatif au contraste entre la hausse des valeurs dans le *Belgh* (petites pluies du printemps) et la baisse, localement très marquée dans le *Kiremt*. (grandes pluies de l'été).

Ce processus est très négatif au point de vue de l'érosion du sol, pour le fait que les averses du Printemps, toujours plus intenses, après la période sec, provoquent l'instabilité des terrains cultivée ou non («gully» et «rill érosion») et l'érosion des substances organiques qui les rendent assez fertiles. La dégradation du sol est dernièrement soutenue par la déforestation des pentes qui favorise les processus de sécheresse des mêmes.

Par contraste, dans la même période, les précipitations estivales dénoncent une baisse significative surtout dans les régions agricoles de Asela, Gonder, Jijiga avec une perte de 20% au 25%.

Les températures moyennes montrent une augmentation généralisée (Tabl. 1), plus marquée au fond de la Rift Valley (Tabl. 2) et pour les valeurs de la saison sèche, avec une considérable hausse des indices d'aridité mensuels et annuels dans les régions agricoles les plus importantes.

Tableau 2. Analyse quantitative des tendances pluviométriques et thermométriques pour la période 1970-2000

STATIONS	ALT	TOT	An	Belgh	Kiremt	temp. An
Addis Ababa	2408	1095	+	+	-	0,9
Asela	2300	1225	-	+	-	1,4
Awasa	1571	951	-	+	-	1,3
Bahir Dar	1770	1407	-	+	-	
Butajira	2000	1104	+	+	+	
Debre Marcos	2515	1325	-	+	-	
Dire Dawa	1260	637	-	+	-	
Goba	2743	905	-	-	-	
Gonder	1967	1038	-	+	-	
Jijiga	1775	777	+	+	-	
Mimna	1725	1515	-	+	-	
Koka Dam	1595	791	-	-	-	
Kombolcha	1903	1048	-	+	-	
Mekele	2030	620	-	+	-	1,3
Meki Tokn	1650	791	-	+	-	
Ziway	1640	751	-	+	-	1,9

3. Conclusion

Cette particulière tendance des précipitations, combinée avec l'accroissement des températures moyennes, détermine aussi des effets substantiels sur l'agriculture en termes de productivité et de diversification des cultures inférieurs.

En accord avec l'UNEP(1992), une région peut être définie «aride» si le rapport entre les précipitations annuelles et l'évapotranspiration potentielle – selon Thorntwaite – est inférieure à 0,65. En analysant ce rapport pour les stations thermopluviométriques, et toujours dans les derniers trent ans, on tire que la tendance du phénomène d'aridification est très accentué au fond de la Rift Valley (Ziway, Awasa) avec une baisse du rapport de XX pour chaque an, tandis que ce même rapport est presque constant, bien qu'aux limites de la seuille d'aridité – à peu près 0,65 – dans le Tigray. (Mekele) Plus en particulier, dans les derniers vingt ans, le rapport a été inférieur à 0,65 dans cinq ans à Ziway et dan six ans à Mekele.

4. Bibliographie essentielle:

- BILLI, P. et DRAMIS, F., 1999: Recent climatic trends and soil erosion in some selected area of Ethiopia, *Proc. of "Sustainable development of dry land areal of east Africa"* European Commission: 145-162.
- UNEP, 1992: *Word Atlas of Desertification*, Edward Arnold ed. London.

LA REPARTITION DES PRECIPITATIONS SELON LES TYPES DE REGIMES PERTURBES LE LONG DU COULOIR SAONE-RHONE (FRANCE)

Guy BLANCHET*, Jean-Bernard SUCHEL**

*Société Météorologique de France – blanchet.guy@wanadoo.fr

**CRENAM Université Jean Monnet Saint-Etienne – jbsuchel@minitel.net

Mots clés: Précipitations journalières, régimes perturbés, Couloir Saône-Rhône

Abstract: By classifying the daily precipitations according to the various weather types along the Saône and Rhône's valley, it is possible to follow precisely and understand the evolution of the effects of each type from the north towards the south.

Introduction

Par son ouverture sur la Méditerranée, sa forte individualisation entre les principaux massifs montagneux français et ses dimensions même: près de 500 km du N au S, le Couloir séquano-rhodanien constitue une unité régionale de grand intérêt pour une analyse des relations entre précipitations et types de temps et, plus particulièrement, pour suivre l'évolution progressive de la pluviométrie en fonction des principaux types de régimes perturbés et en comprendre la logique.

Méthode



Les régimes perturbés sur la région lyonnaise.

Pour ce faire, nous avons systématiquement réparti les valeurs de pluviométrie journalière d'un certain nombre de stations fiables selon les régimes météorologiques observés au jour le jour, au cours de la décennie 1991-2000.

Les stations retenues s'échelonnent assez régulièrement le long de l'axe Saône-Rhône. Ce sont, du N au S, Dijon, Chalon-sur-Saône, Mâcon, Lyon (Bron), Sablons (à mi-chemin entre Lyon et Valence), Saint-Marcel-lès-Valence, Montélimar, Orange et Marignane (au bord de l'Etang de Berre au NW de Marseille). La pluviométrie moyenne annuelle augmente progressivement de Chalon (749,0 mm pour les 10 ans pris en compte) à Montélimar (945,6), située dans le secteur le plus étroit du Sillon rhodanien, puis s'effondre rapidement pour se limiter à 550,0 mm à Marignane.

Les régimes météorologiques ont été classés selon la méthode empirique mise au point par l'un des auteurs (Blanchet, 1974 sqq, 1990, 1998) et régulièrement expérimentée depuis 1956. L'objet de cette étude nous a amené à prendre en considération essentiellement les régimes perturbés, distingués selon le sens de déplacement du flux perturbé et, pour les plus

importants d'entre eux, la trajectoire suivie par le corps de la perturbation sur le territoire français. Cela conduit à une répartition en 15 catégories, y compris les gouttes froides et les fronts stationnaires, auxquelles nous avons ajouté les situations de marais barométrique, fréquemment pluviogènes (voir figure).

Les régimes perturbés d'W sont les plus fréquents: 65 jours par an en moyenne, ou 27,7% des jours perturbés (marais inclus), parmi lesquels le régime W1 l'emporte très nettement (17,0%). Viennent ensuite ceux de SW (17,7%), le SW2 représentant à lui seul 11,5%, suivis par les situations de marais (15,7%). Il ne reste donc qu'un peu plus d'1/3 (38,9%) des jours perturbés pour l'ensemble des autres régimes, parmi lesquels ceux de S ont une place plutôt modeste (6,3%), pratiquement à égalité avec NW2 (6,2%); mais cela ne préjuge aucunement de l'ordre de classement établi par leurs apports pluviométriques respectifs!

Trois critères ont été retenus pour présenter les résultats:

- les cumuls de précipitations (en mm) pour chaque type,
- les quantités relatives (en %) par rapport au total des précipitations de la période considérée,
- les apports moyens (en mm) par types de régimes, en rapportant la hauteur relevée pour chacun d'eux au nombre de jours où il a été observé. Ce critère, que nous appellerons "efficacité pluviométrique", est particulièrement révélateur des différences entre les stations.

Résultats

Les cumuls pour les dix années considérées placent partout en tête les régimes de SW considérés globalement (et même de SW2, sauf à Marignane où le régime de S l'emporte). La prépondérance des apports de SW devient écrasante en automne, et ceci d'autant plus qu'on progresse vers le S, au moins jusqu'à Montélimar. Les précipitations d'W arrivent en deuxième position pour le total annuel et en première en hiver, jusqu'à Lyon inclusivement. Bien que beaucoup moins fréquents, les régimes de S se distinguent par l'abondance de leurs apports, surtout en automne, mais aussi au printemps à Dijon et Chalon; dans le total annuel, ces derniers occupent la deuxième place au S de Lyon, la troisième au N. Les régimes de NW ne suscitent une pluviométrie substantielle qu'au N de la moyenne vallée du Rhône. On voit donc déjà apparaître des mutations significatives à l'approche du domaine méditerranéen. En revanche et comme on pouvait s'y attendre, les gouttes froides et fronts stationnaires n'établissent pas de discrimination nette à l'intérieur de l'espace étudié; mais ils présentent une forte variation saisonnière au profit de l'été, où leurs apports cumulés sont importants (tabl. 1).

Les principaux résultats obtenus en ce qui concerne les quantités relatives (en % des apports totaux) et l'"efficacité pluviométrique" sont présentés dans le tableau joint. Ils confirment les tendances déjà mentionnées, tout en permettant une approche plus fine de la réalité. Pour ce qui est des pourcentages, les faits marquants sont d'abord la diminution continue des précipitations d'W1 et NW1 de Dijon à Marignane (et de SW1 de Dijon à Valence); il en est de même, de façon un peu moins régulière, de celles d'W2, et de NW2 à partir de Mâcon, tandis que celles d'W3 et SW3 suivent logiquement l'évolution inverse. La part très importante des apports de SW2 présente une double évolution: augmentation de Dijon à la moyenne vallée du Rhône, diminution plus au S, où ceux de SW3 prennent en partie le relais. Mais ce sont surtout les précipitations de S qui se renforcent dans la partie méridionale du Couloir rhodanien, au point d'arriver en tête à Marignane, au terme d'une évolution progressive continue depuis Dijon. La participation des régimes de SE s'accroît pratiquement dans le même sens. Il se confirme, par ailleurs, que les pourcentages revenant aux fronts stationnaires et gouttes froides ne montrent pas de tendance significative. En revanche, les marais barométriques révèlent une régression de leur contribution du N au S.

Les enseignements que l'on peut tirer des données de l'"efficacité pluviométrique" sont d'abord les scores somme toute médiocres des régimes d'W, NW, N et NE en général. Les valeurs qui sortent un peu du lot sont celles d'W2 et NW2 dans la partie septentrionale du

domaine, et surtout d'W3 à Marignane, où s'affirme le caractère méditerranéen du climat. Dans cette même station, l'efficacité des régimes de SW3 se distingue pareillement, alors que celle des régimes de SW2 est en retrait. Partout ailleurs, les flux perturbés de SW2 se révèlent remarquablement pluvio-gènes, avec une intensité croissante de Dijon à Montélimar. Seuls ceux de S leur sont comparables, au moins dans la moyenne vallée du Rhône, tandis que leur contribution devient prépondérante à Orange et Marignane. On remarquera la très faible efficacité globale des marais barométriques, qui ne sont pas à proprement parler des régimes perturbés.

La répartition saisonnière des valeurs pour les régimes les plus efficaces montrerait la suprématie de l'automne pour SW2, avec un maximum de 19,3 mm/jour à Montélimar (un record, tous régimes et toutes stations confondus), suivi d'un fléchissement très net plus au S (6,3 à Marignane). Pour les régimes de S, l'automne révèle aussi de fortes valeurs, nettement supérieures à 10 mm/jour au S de Lyon (17,5 à Montélimar, 17,4 à Orange), mais cette saison n'en a pas l'exclusivité (17,8 en été à Orange). Les régimes de SE s'avèrent un peu décevants: leur score le plus élevé atteint seulement 9,4 mm/jour à Montélimar en automne; l'orientation franchement méridienne de la vallée du Rhône avantage sans doute les apports de S par rapport à ceux de SE.

Conclusion

En définitive, la répartition des précipitations en fonction des régimes perturbés le long du Couloir séquano-rhodanien montre que les reliefs compacts qui séparent ce dernier des régions océaniques réduisent incontestablement les apports des régimes d'W, les plus fréquents, et de NW, mais aucunement ceux des flux perturbés de SW, très riches en humidité, qui s'engouffrent aisément dans la brèche largement ouverte du Sillon rhodanien.

Mais elle révèle surtout les subtiles modalités du passage progressif du climat d'affinité continentale du bassin de la Saône au climat proprement méditerranéen des plaines du bas Rhône. Il est clair que les mutations les plus significatives s'opèrent entre Lyon et Montélimar: au-delà d'une simple permutation dans les apports respectifs des courants perturbés de types 1 et 3, elles s'expriment par le rapide renforcement du poids des régimes "méridionaux": régimes de SW, singulièrement SW2, et surtout de S, en contrepartie de l'affaiblissement brutal des précipitations d'W et NW. Mais lorsqu'on aborde le domaine méditerranéen au sens strict, la contribution des régimes de SW dans leur ensemble fléchit à son tour au profit de celle des régimes de S et SE, qui ne cesse d'augmenter jusqu'à la Méditerranée.

Ainsi, au regard des relations entre pluviométrie et régimes météorologiques, le Couloir séquano-rhodanien s'identifie manifestement comme un espace de transition climatique.

Bibliographie

- BLANCHET, G., 1974sqq: Le temps dans la région Rhône-Alpes (chronique annuelle de 1974 à 1992). *Rev. de Géogr. de Lyon*.
- BLANCHET, G., 1990: Régimes météorologiques et diversité climatique dans l'espace rhônalpin. *Rev. de Géogr. de Lyon*, 65-2: 106-117.
- BLANCHET, G., 1998: Répartition des précipitations en fonction des régimes météorologiques dans l'espace rhônalpin: l'exemple de l'année 1995. *Publ. Assoc. Intern. de Climatol.*, 11: 143-150.

Tableau 1. Classement par stations et types de régimes, pour la période 1991-2000, des résultats obtenus

Régimes	DIJON	CHALON	MACON	LYON	SABLONS	VALENCE	MONTEL	ORANGE	MARIGN
W1 (40,1)*	12,2	11,0	9,8	6,5	4,5	2,1	1,7	0,9	0,5
	2,3	2,0	2,1	1,4	1,0	0,5	0,4	0,2	0,1
W2 (21,2)	12,5	12,3	11,9	9,7	7,2	7,8	5,7	5,5	4,8
	4,5	4,4	4,8	4,0	3,0	3,4	2,5	2,0	1,2
W3 (4,1)	1,0	0,8	1,0	1,0	1,3	1,6	1,9	2,0	6,1
	1,6	1,5	2,2	2,1	2,9	3,5	4,4	3,8	8,2
tot. W (65,4)	25,6	24,1	22,7	17,2	13,0	11,5	9,3	8,4	11,4
	3,0	2,8	3,0	2,3	1,8	1,6	1,3	1,0	1,0
SW1 (10,7)	4,8	3,3	3,1	1,2	1,5	0,2	0,7	0,5	0,7
	3,4	2,3	2,5	1,0	1,2	0,2	0,6	0,4	0,4
SW2 (27,2)	28,9	31,5	34,1	37,5	40,7	44,1	44,2	37,5	26,0
	8,2	8,8	10,8	12,1	13,4	14,9	15,4	10,5	5,3
SW3 (3,9)	0,9	0,9	0,9	1,4	1,3	1,9	2,1	3,8	5,6
	1,7	1,8	2,0	3,1	2,9	4,4	5,0	7,2	7,9
tot. SW (41,8)	34,6	35,7	38,1	40,1	43,5	46,2	47,0	41,8	32,3
	6,3	6,4	7,9	8,4	9,3	10,1	10,6	7,6	4,3
NW1 (8,7)	2,4	1,8	1,7	1,7	1,0	0,3	0,1	0,0	<0,1
	2,0	1,5	1,7	1,7	1,0	0,3	0,1	0,0	0,0
NW2 (14,5)	6,9	7,1	8,0	7,0	5,5	4,7	2,7	1,8	1,3
	3,6	3,7	4,8	4,2	3,5	3,0	1,8	0,9	0,5
NW3 (2,0)	0,5	0,6	0,8	0,6	0,7	0,6	0,7	0,5	0,8
	2,0	2,3	3,3	2,6	3,3	2,8	3,4	1,8	2,1
tot. NW (25,2)	9,8	9,4	10,5	9,3	7,2	5,6	3,5	2,3	2,1
	3,6	2,8	3,6	3,2	2,6	2,1	1,3	0,7	0,5
N (11,9)	1,6	2,0	2,1	2,1	1,9	1,5	0,9	0,5	0,4
	1,0	1,2	1,5	1,5	1,3	1,2	0,8	0,3	0,2
NE (1,7)	0,2	0,6	0,6	0,4	0,1	0,3	0,2	0,0	0,3
	1,2	2,9	3,2	2,1	0,6	1,7	1,2	0,1	1,0
SE (10,2)	2,4	2,6	2,7	4,0	4,1	3,9	5,3	6,6	7,9
	1,8	1,9	2,3	3,4	3,3	3,5	4,9	4,6	4,3
S (14,9)	10,4	12,0	12,6	14,7	17,3	20,9	22,5	28,9	30,6
	5,1	5,8	7,3	8,6	9,3	12,9	14,3	14,0	11,3
front stat. (7,5)	3,1	2,6	2,6	2,9	2,3	1,8	0,7	2,1	2,6
	3,1	2,6	3,0	3,4	2,2	2,2	3,4	2,1	1,9
goutte fr. (20,0)	6,5	6,2	4,8	7,0	7,8	6,0	6,0	7,2	9,1
	2,5	2,3	2,1	3,1	3,3	2,8	2,8	2,8	2,5
marais (37,0)	4,7	3,8	3,3	2,3	2,2	2,4	2,2	2,4	1,7
	1,0	0,8	0,8	0,6	0,5	0,6	0,6	0,5	0,3
anticycl. (129,4)	1,2	1,1	0,1	0,1	0,6	<0,1	0,2	0,7	1,4

* nombre de jours moyen annuel

EVALUATION DU CLIMAT RESSENTIE DE LA POLOGNE EN UTILISANT DES NOUVEAUX INDICES BIOTHERMIQUES

Krzysztof BŁAŻEJCZYK

*Institut de Géographie et d'Aménagement du Territoire, Varsovie, Twarda 51/55,
00-818 Warszawa, Pologne, k.blaz@twarda.pan.pl

Mots clés: température ressentie, stress thermophysologique, charge thermique, Pologne

Abstract: The paper presents new approach of bioclimatic evaluation of Poland based on bio-thermal indices derived from the human body heat balance. Seasonal and spatial variability of Subjective Temperature (*STI*), Physiological Strain (*PhS*) and Heat Load in man (*HL*) are discussed.

Introduction

L'évaluation du climat ressentie est très importante de point de vue des différentes activités humaines (récréation, tourisme, agriculture, travail extérieur etc.). En bioclimatologie humaine plusieurs indices existent pour illustrer l'influence des conditions météorologiques sur l'homme (Kozłowska-Szczesna et al., 1997). C'est vrai qu'ils apportent une valorisation qualitative des conditions biométéorologiques mais ils n'apportent pas l'information sur l'influence réelle (quantitative) de l'atmosphère sur l'organisme humain.

L'Organisation Météorologique Mondiale et L'Organisation Mondiale de la Santé recommandent d'utiliser, dans les études bioclimatiques, les méthodes qui sont basées sur une analyse de bilan thermique de l'homme.

Le but de cette communication est de présenter trois nouveaux indices biothermiques (température ressentie – *STI*, stress thermophysologique – *PhS* et charge thermique de l'organisme – *HL*) qui sont basées sur une modèle d'échange de chaleur entre l'homme et son entourage MENEX_2002 (Blazejczyk, 2003a). Les indices ont été appliqués pour l'évaluation des conditions bioclimatiques de la Pologne.

Méthode

La forme générale de bilan de chaleur de l'homme est exprimée par l'équation suivante:

$$M + Q + E + C + Res = S$$

ou: *M* est la chaleur produit par organisme, *Q* – solde du rayonnement (solaire et thermique), *E* – perte de chaleur par évaporation, *C* – perte de chaleur par convection, *Res* – perte de chaleur par respiration, *S* – solde de chaleur.

L'indice de la température ressentie (*STI*) représente les conditions thermiques au contact de l'air et des récepteurs du chaud et du froid dans la peau. L'indice *STI* se base sur la température moyenne de rayonnement (*Mrt*) qui est calculée en utilisant la formule suivante:

$$Mrt = [R' / (5,39 \cdot 10^{-8}) + (273 + t)^4]^{0,25} - 273$$

ou *R'* représente le rayonnement solaire absorbé par l'homme. Il a été calculé en utilisant le model SolAlt (Blazejczyk, 2003b).

Pendant le processus d'adaptation de l'organisme aux conditions météorologiques les flux de chaleur sont optimisés et une valeur résultant du solde de la chaleur (*S**) est formé. *STI* (en °C) est une combinaison des valeurs de *Mrt* et de *S**:

- quand *S** est $< 0 \text{ W m}^{-2}$

$$STI = Mrt - [|S^*|^{0,75} / (5,386 \cdot 10^{-8}) + 273^4]^{0,25} - 273$$

- quand *S** est $\geq 0 \text{ W m}^{-2}$

$$STI = Mrt + [|S^*|^{0,75} / (5,386 \cdot 10^{-8}) + 273^4]^{0,25} - 273$$

Les valeurs suivantes de *STI* représentent les différentes conditions ressenties:

<i>STI</i> (°C)	Conditions ressenties:
< -38,0	- très froid
-38,0 – -0,5	- froid
-0,4 – 22,5	- frais
22,6 – 32,0	- confortable
32,1 – 46,0	- chaud
46,1 – 55,0	- très chaud
> 55,0	- extrêmement chaud.

La charge thermique de l'organisme (*HL*) est une combinaison du solde de chaleur (*S*), du gain de chaleur par absorption du rayonnement solaire (*R*) et de la perte de chaleur par évaporation (*E*). Il représente l'intensité du processus de thermorégulation:

- quand $S < 0 \text{ W m}^{-2}$ et $E \geq -50 \text{ W m}^{-2}$

$$HL = [(S + 1000) / 1000]^{5 / (1 + R)}$$
- quand $S \geq 0 \text{ W m}^{-2}$ et $E \geq -50 \text{ W m}^{-2}$

$$HL = [(S + 1000) / 1000]^{2 - 1 / (1 + R)}$$
- quand $S < 0 \text{ W m}^{-2}$ et $E < -50 \text{ W m}^{-2}$

$$HL = (E / -50) [(S + 1000) / 1000]^{5 / (1 + R)}$$
- quand $S \geq 0 \text{ W m}^{-2}$ et $E < -50 \text{ W m}^{-2}$

$$HL = (E / -50) [(S + 1000) / 1000]^{2 - 1 / (1 + R)}$$

Les valeurs suivantes de *HL* représentent les différentes charges thermiques de l'organisme:

<i>HL</i>	Charge thermique:
≤ 0,250	- très fort – stress du froid
0,251 – 0,820	- fort – stress du froid
0,821 – 0,975	- pas trop grand – stress du frais
0,976 – 1,025	- minimal – neutral
1,026 – 1,180	- pas trop grand – stress du chaud
1,181 – 1,750	- fort – stress du chaud
> 1,750	- très fort – stress du chaud.

L'indice de stress thermophysique (*PhS*) est calculé par un rapport entre les pertes de chaleur par évaporation et par convection:

$$PhS = C / E$$

Les valeurs de l'indice du stress thermophysique nous informent du type de processus d'adaptation de l'organisme pour les conditions météorologiques actuelles. Quand les pertes de chaleur par convection sont plus grandes que les pertes de chaleur par évaporation notre organisme réagit par une diminution de la circulation du sang mais aussi par l'augmentation de la tension artérielle et de l'isolation thermique de la peau. Par contre, lorsque l'évaporation l'emporte, le pouls augmente et un dégagement intensif de sueur se manifeste. Les réactions mentionnées peuvent conduire à diminution de la tension artérielle et une déshydratation de l'organisme. Des grands fluctuations de la température de la peau peuvent aussi être observées.

Les valeurs suivantes de *PhS* représentent les réactions physiologiques de l'organisme:

<i>PhS</i>	Intensité des réactions physiologiques:
< 0,25	- grand intensité des réactions du stress du chaud
0,25 – 0,75	- intensité considérable des réactions du stress du chaud
0,751 – 1,50	- conditions neutre

- 1,501 – 4,00 - intensité considérable des réactions du stress du froid
 > 4,00 - grand intensité des réactions du stress du froid.

En guise de comparaison, les conditions du climat ressentie ont été définies pour quelques stations de cure situées dans des différentes régions de la Pologne. Leba (côte de la mer Baltique), Ciechocinek (région centrale), Naleczow (région sud-est), Polanica (Sudètes) et Rabka (Carpatés). Les données météorologiques quotidiennes pour chaque la période 1971-1990 ont été appliquées. Pour tous les calculs le logiciel BioKlima© 2.2 a été utilisé.

Résultats

En hiver, les valeurs moyennes mensuelles de la température ressentie oscillent dans une intervalle de 2,9°C (à Leba) à 17,8°C (à Rabka). Par contre en été les valeurs moyennes de *STI* passent de 35,6°C à 44,6°C (dans les mêmes stations). Une amplitude de 33-39°C des valeurs mensuelles de *STI* est observée. Les valeurs extrêmes de *STI* varient de -16,5°C (conditions ressenties „froid”) à Rabka à 75°C („extrême chaud”) à Ciechocinek. Les valeurs moyennes des charges thermiques indiquent que, dans la période d’octobre à avril, les conditions thermoneutres dominant. Les valeurs de *HL* peuvent varier dans l’intervalle de 0,642 („charge thermique fort – stress du froid”) à 5,5 („charge thermique très fort – stress du chaud”). Une très grande différenciation saisonnière et spatiale des réactions thermophysiological est observée en Pologne. En été, dans la région centrale et dans les Carpatés, un équilibre entre évaporation et convections („conditions neutre”) se forme. Par contre, dans la même saison, au bord de la mer, les pertes de chaleur par convection dominant. En hiver la quantité de chaleur qui est perdue par convection est 2-3 fois plus grande que les pertes de chaleur par évaporation (Tabl. 1).

Tableau 1. Valeurs moyennes mensuelles d’indices biothermiques, 1971-1990

Station	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nnov.	Dec.	
Leba <i>STI</i> (°C)	3,0	7,9	15,2	23,3	33,1	35,6	38,6	38,8	29,0	20,3	8,6	2,9	
	<i>HL</i>	0,93	0,96	0,98	1,01	1,09	1,09	1,14	1,17	1,06	0,99	0,95	0,92
	<i>PhS</i>	3,65	3,47	3,23	2,86	2,20	1,89	1,65	1,55	1,99	2,47	3,20	3,55
Ciechocinek <i>STI</i> (°C)	3,8	8,6	17,6	26,8	37,3	42,9	43,1	42,2	34,0	23,5	10,0	3,9	
	<i>HL</i>	0,96	0,97	0,99	1,06	1,27	1,46	1,49	1,42	1,17	1,02	0,97	0,96
	<i>PhS</i>	3,05	2,97	2,64	2,04	1,38	1,07	0,97	1,00	1,42	1,97	2,64	2,89
Naleczow <i>STI</i> (°C)	5,3	10,4	18,5	28,0	38,1	41,0	43,9	43,6	34,2	23,4	11,2	4,7	
	<i>HL</i>	0,96	0,98	0,99	1,07	1,25	1,28	1,35	1,37	1,15	1,03	0,97	0,96
	<i>PhS</i>	3,18	2,91	2,62	2,07	1,39	1,24	1,03	1,02	1,54	2,10	2,75	2,96
Polanica <i>STI</i> (°C)	6,5	11,8	19,4	26,2	35,9	38,3	41,2	42,6	33,9	26,4	12,8	7,1	
	<i>HL</i>	0,96	0,98	1,00	1,04	1,17	1,21	1,30	1,31	1,13	1,04	0,98	0,96
	<i>PhS</i>	3,05	2,82	2,50	2,09	1,50	1,31	1,13	1,09	1,50	1,95	2,53	2,89
Rabka <i>STI</i> (°C)	12,0	17,8	24,8	30,8	38,6	41,2	43,5	44,6	37,5	30,3	17,8	11,4	
	<i>HL</i>	0,99	0,99	1,01	1,04	1,14	1,19	1,24	1,26	1,12	1,04	0,99	0,98
	<i>PhS</i>	2,54	2,43	2,17	1,84	1,35	1,21	1,09	1,04	1,38	1,71	2,24	2,46

La variation saisonnière et spatiale du climat ressentie est illustrée aussi par la fréquence des classes de *STI* à Leba et à Rabka. Au cours de la période de novembre à février, la fréquence des classes est semblable dans les deux stations. Les différences régionales sont plus nettes en juillet et août. Au bord de la mer Baltique les conditions „extrême chaud” sont très rares. Par contre dans les Carpatés elles apparaissent jusqu’à 16 jours par mois (Fig. 1).

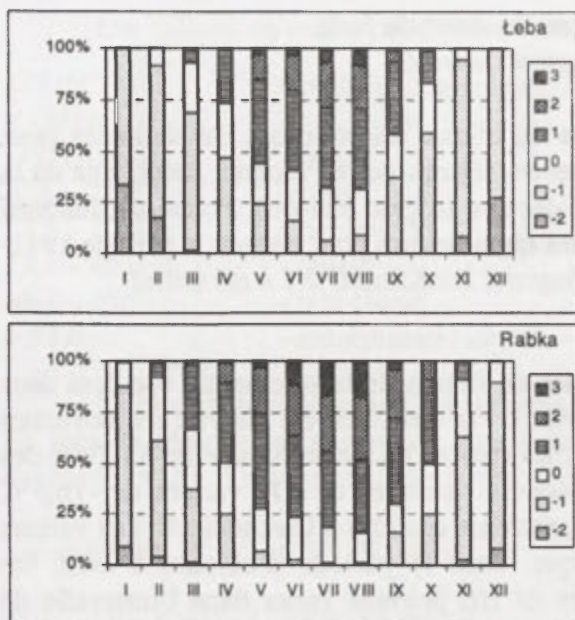


Fig. 1. Fréquence des différentes classes de la température ressentie (STI)
-2 – froid, -1 – frais, 0 – confortable, 1 – chaud, 2 – très chaud, 3 – extrêmement chaud

Conclusions

Les nouveaux indices biothermiques confirment la grande variation saisonnière et spatiale des conditions bioclimatiques de la Pologne. En utilisant de nouveaux indices nous pouvons faire une évaluation qualitative ainsi qu'évaluation quantitative du climat ressenti. En raison de la grande variabilité des masses d'air pendant l'hiver, les conditions biothermiques au cours de cette saison, sont plus différenciées qu'en été.

Les valeurs des charges thermiques (HL) indiquent que l'organisme humain se caractérise par de très grandes possibilités d'adaptation pour différentes conditions météorologiques. Les situations extrêmes sont plus fréquentes en été qu'en hiver.

L'indice du stress thermophysique (PhS) nous informe que, au bord de la mer, les réactions intensives d'appareil de thermorégulation par des conditions froides sont plus fréquentes que dans la région centrale et dans les régions de montagnes. Par contre dans ces régions le processus d'adaptation pour des conditions chaudes est relativement fréquente.

Bibliographie

BioKlima© 2.2, logiciel, www.igipz.pan.pl/klimat/blaz/bioklima.html

BŁAŻEJCZYK, K., 2003a, Warunki bioklimatyczne Polski w świetle nowych wskaźników

biotermicznych (L'évaluation des conditions bioclimatiques de la Pologne en utilisant les nouveaux indices biothermiques). *Przegląd Geograficzny*, 4 (sous presse).

BŁAŻEJCZYK, K., 2003b, Assessment of radiation balance in man in various meteorological and geographical conditions. *Geographia Polonica* (sous presse).

KOZŁOWSKA-SZCZĘSNA, T., BŁAŻEJCZYK, K. et KRAWCZYK, B., 1997, Bioklimatologia człowieka. Metody i ich zastosowanie (Bioclimatologie humaine Méthodes et applications). *Monografie 1*.

LA TEMPERATURE RESENTIE PAR LES TOURISTES EN MONTAGNE EN ETE

Krzysztof BŁAŻEJCZYK, Monika SITEK

Institut de Géographie, Université de Bydgoszcz, Minska 15, Bydgoszcz, Pologne,
k-blaz@ab-byd.edu.pl

Mots clés: température ressentie, tourisme montagnard, Tatra Montagnes

Abstract: The paper presents an attempt of applying the new bio-thermal index of Subjective Temperature (*STI*) for evaluation of thermal sensations in man during summer mountain tourism. Thermal sensations reported by tourists were compared with the ranges of *STI* calculated for the actual weather conditions.

Introduction

L'évaluation du climat ressentie est très importante du point de vue de l'activité touristique en montagne. Plusieurs indices bioclimatiques sont utilisés pour illustrer l'influence des conditions météorologiques sur l'homme (Kozłowska-Szczęsna et al., 1997). Ils apportent évaluation qualitative des conditions biométéorologiques mais ils ne donnent pas d'information sur l'influence réelle (quantitative) de l'atmosphère sur l'organisme humain.

Le but de cette communication est de présenter les résultats d'étude comparative sur les conditions biothermiques en montagne. Nous compareront les relations subjectives des touristes pendant l'activité touristique en montagne avec les valeurs de la température ressentie (*STI*), (Błażejczyk, 2003a).

Méthode

L'indice de température ressentie (*STI*) représente les conditions thermique sur le contact de l'air et des récepteurs du chaud et du froid dans la peau. L'indice *STI* se base sur le bilan de la chaleur de l'homme qui est exprimé par l'équation suivante:

$$M + Q + E + C + Res = S$$

ou: *M* est la chaleur produite par l'organisme, *Q* – le solde de la radiation (solaire et thermique), *E* – la perte de chaleur par évaporation, *C* – la perte de chaleur par convection, *Res* – la perte de chaleur par la respiration, *S* – solde de chaleur.

Pendant le processus d'adaptation de l'organisme aux conditions météorologiques, les flux de chaleur sont optimisés et une valeur résultant du solde de la chaleur (*S**) se forme. *STI* (en °C) est une combinaison des valeurs de *Mrt* (température moyenne de rayonnement) et *S**:

$$\begin{aligned} &\text{- quand } S^* \text{ est } < 0 \text{ W m}^{-2} \\ &\quad STI = Mrt - [|S^*|^{0,75} / (5,386 \cdot 10^{-8}) + 273^4]^{0,25} - 273 \\ &\text{- quand } S^* \text{ est } \geq 0 \text{ W m}^{-2} \\ &\quad STI = Mrt + [|S^*|^{0,75} / (5,386 \cdot 10^{-8}) + 273^4]^{0,25} - 273 \end{aligned}$$

Mrt est calculée en utilisant la formule suivante:

$$Mrt = [R' / (5,39 \cdot 10^{-8}) + (273 + t)^4]^{0,25} - 273$$

ou *R'* représente le rayonnement solaire absorbé par l'homme (Błażejczyk 2003b).

Les valeurs suivantes de *STI* représentent les différentes conditions ressenties:

<i>STI</i> (°C)	Conditions ressenties:
< -38,0	- très froid
-38,0 – -0,5	- froid
-0,4 – 22,5	- frais
22,6 – 32,0	- confortable
32,1 – 46,0	- chaud
46,1 – 55,0	- très chaud
> 55,0	- extrêmement chaud.

Pour vérifier la concordance des valeurs de *STI* avec les réactions des touristes une campagne d'observation a été organisée en Juillet 2002 dans une partie des Tatras. Pendant deux jours (8 et 13 juillet), 90 touristes ont été examinés deux fois. Tout près et tout de suite après les ascensions, les touristes ont été questionnés sur leurs impressions ressenties thermiques. La première série d'enquêtes a eu lieu à Kuźnice (1100 m au-dessus de niveau de mer), de 8 à 10 heures. La deuxième enquête a eu lieu au sommet de Kasprowy Wierch (1998 m au-dessus de niveau de mer), de 12 à 14 heures. Au sommet les touristes ont relaté aussi la vitesse d'ascension et l'intensité de la fatigue et de la transpiration occasionnée.

Les données météorologiques de la station de vallée (Hala Gąsienicowa) et de la station de sommet (Kasprowy Wierch) ont été utilisées. Pour les calculs de *STI* le logiciel BioKlima© 2.2 a été utilisé.

Résultats

Les conditions météorologiques pendant les jours étudiés ont été relativement mauvaises avec une grande nébulosité (*N*) (Tabl. 1). La température de l'air (*t*) dans la vallée a été 2-3°C plus élevée qu'au sommet. L'humidité relative de l'air (*RH*) a varié de 70 à 100%. La vitesse du vent (*v*) a été faible. Des précipitations passagères (*RR*) ont été notées le 13 juillet.

Tableau 1. Conditions météorologiques observées pendant les jours étudiés

Date	Station	Eléments météorologiques								
		<i>t</i> 08 (°C)	<i>t</i> 14 (°C)	<i>RH</i> 08 (%)	<i>RH</i> 14 (%)	<i>v</i> 08 (m/s)	<i>v</i> 13 (m/s)	<i>N</i> 08 (%)	<i>N</i> 14 (%)	<i>RR</i> (mm)
8 juillet 2002	de vallée	13,1	12,9	86	89	1	1	50	88	.
	de sommet	8,7	9,3	94	100	3	3	25	100	.
13 juillet 2002	de vallée	16,8	18,7	80	87	1	2	88	88	7,2
	de sommet	14,7	17,0	69	82	1	3	88	88	7,9

Le 8 juillet 2002 les valeurs de *STI* ont variées entre 37°C (le matin, dans la vallée) et 20°C (le midi, au sommet). Elles correspondent aux températures ressenties „chaud” et „frais”. Le matin presque 55% des touristes ont ressenti aussi le „chaud” (Tabl. 2). Dans 25% des questionnaires, nous avons trouvé comme réponse l'impression de confort thermique. Pour ce groupe de touristes la limite entre „chaud” et „confortable” est probablement un peu plus élevée que pour la majorité de la population. Tout de suite après 2-3 heures d'ascension, les touristes ont été questionnés encore au sommet, sur leurs impressions thermiques. La valeur de *STI* de 20°C indique des conditions thermiques „frais”. Le même groupe de touristes a relaté des conditions „confortable” (31%) et „frais” (29%). La même fréquence de cette réponse est causée par le fait que 20°C de *STI* est la valeur limite de différentes perceptions. Un relativement grand groupe de touristes (25%) a relaté des conditions „chaud”. Probablement dans ce groupe de personnes, la réponse de l'appareil de thermorégulation retarde et ils ont relaté des ressenties caractéristiques de l'ascension. Ce phénomène a été

observé en août 2001 pendant une expérience thermophysiological dans la même partie de Tatras (Błażejczyk, 2002). 5 à 10 minutes après chaque période de l'ascension, la température de la peau a été plus élevée qu'au moment de l'arrêt de la marche (Fig. 1).

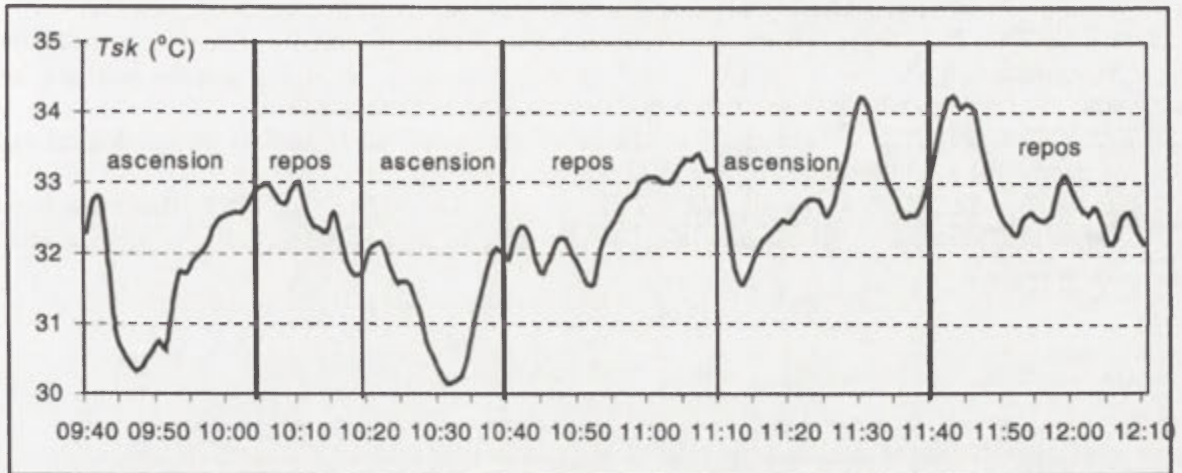


Fig. 1. Température de la peau (T_{sk}) pendant l'activité touristique en montagne (Tatras, 15 août 2001)

Le 13 juillet 2002 le ciel nuageux a dominé et la température de l'air a été relativement élevée. En raison des prévisions météorologiques annonçant un temps variable avec des précipitations, les touristes ont revêtu de vêtement plus chaud que nécessaire. C'est pour cette raison, que dans la station de vallée les touristes ont ressenti „chaud” (50% de réponses) en comparaison de valeur 30,1°C de STI qui représente les conditions ressenties „confortable”. Au sommet de Kasprowy Wierch STI a été dans la même gamme de conditions thermiques que dans la vallée mais, 40% de touristes ont répondu „chaud”.

Tableau 2. Fréquence (%) de la température ressentie par les touristes et les valeurs de STI

Température ressentie	8 juillet 2002				13 Juillet 2002			
	Vallée (matin)		Sommet (midi)		Vallée (matin)		Sommet (midi)	
	fréquence	STI	fréquence	STI	fréquence	STI	fréquence	STI
Extrêmement chaud	2,0	37,3°C (chaud)	2,0	20,0°C (frais)	2,6	30,1°C (confortable)	2,6	28,6°C (confortable)
Très chaud	3,9		5,9		18,4		5,3	
Chaud	54,9		25,4		50,0		39,5	
Confortable	25,5		31,4		21,1		36,8	
Frais	11,7		29,4		7,9		13,2	
Froid	2,0		2,0		.		2,6	
Très froid	.		3,9		.		.	

Conclusions

Le nouveau indice de la température ressentie (STI) a été utilisé pour évaluer les conditions biothermiques pendant l'activité touristique en montagne (Tatras, Pologne). Les conditions biothermiques ont été appréciées aussi par un groupe de 90 touristes.

Les résultats de l'évaluation objective (STI) sont semblables à ceux de l'évaluation subjective. L'appréciation des conditions biothermiques par les touristes a été influencée par les vêtements qu'ils ont revêtu et par le fonctionnement individuel de l'appareil de thermorégulation.

Bibliographie

BioKlima© 2.2, logiciel, www.igipz.pan.pn/klimat/blaz/bioklima.html

- BŁAŻEJCZYK, K., 2002: Changes in skin temperature and circulatory responses during prolonged mountain tourism activity. [Dans:] *Environmental Ergonomics X*, Papers from the 10th Intern. Confer. On Environmental Ergonomics, Fukuoka, Japan, 23-27 September 2002, 149-152.
- BŁAŻEJCZYK, K., 2003a: Warunki bioklimatyczne Polski w świetle nowych wskaźników biotermicznych (L'évaluation des conditions bioclimatiques de la Pologne en utilisant les nouveaux indices biothermiques). *Przegląd Geograficzny*, 4 (sous presse).
- BŁAŻEJCZYK, K., 2003b: Assessment of radiation balance in man in various meteorological and geographical conditions. *Geographia Polonica* (sous presse).
- KOZŁOWSKA-SZCZĘSNA, T., BŁAŻEJCZYK, K. et KRAWCZYK B., 1997: Bioklimatologia człowieka. Metody i ich zastosowanie (Bioclimatologie humaine Méthodes et applications), *Monografie 1*.

**REFLEXIONS A PROPOS DE LA FIABILITE DES DONNEES
ET DU CHANGEMENT CLIMATIQUE
SUPPORT: 100 ANS DE PRECIPITATIONS EN BASSE-NORMANDIE**

*Olivier CANTAT *, Jean-Olivier GIRES ***

** GEOPHEN, Université de Caen Basse-Normandie*

Esplanade de la Paix, 14032 Caen cedex, France

cantat@geo.unicaen.fr

*** METEO-FRANCE Caen*

Route de Caumont, BP 2001, 16652 Carpiquet cedex, France

jean-olivier.gires@meteo.fr

Mots clés: changement climatique, fiabilité des données, précipitations, Normandie

Abstract: Climatic records show fluctuations of precipitations over one hundred years in Normandy. However, development of sites and reconstitution of data bases don't allow to underline objectivly trend over one century.

Introduction

Les précipitations sont la variable climatique la plus anciennement enregistrée. Pour cette raison, elles constituent un précieux indicateur pour étudier l'évolution du climat. Mais ces chroniques, sur parfois plus d'un siècle, présentent-elles toujours une fiabilité suffisante pour metre en évidence des *changements climatiques*? Derrière l'attrait de ces longues séries, il existe des limites dans l'interprétation de ces valeurs liées à des problèmes essentiellement métrologiques et géographiques. Par ailleurs, comment apprécier le passage entre les notions de *variabilité* et de *variation*? C'est ce que nous nous attacherons à illustrer en prenant l'exemple des précipitations en Basse-Normandie.

Méthode

La crédibilité de l'analyse repose sur l'emploi de chroniques certifiées, c'est-à-dire enregistrées sur des sites stables du point de vue des protocoles de mesures et des conditions d'observation d'une part, et sans lacunes durables d'autre part. En remontant dans le temps, le taux de remplissage des bases de données présente souvent des périodes de « faiblesses » qu'il faut combler artificiellement (Mestre, 2000). Peut-on alors raisonnablement tirer des conclusions sur des tendances calculées à partir de données en partie reconstituées et soumises à des changements de sites ? Enfin, il faut estimer la représentativité géographique de la station choisie comme référence pour pouvoir élargir à l'échelle régionale les conclusions établies en un point (Cantat, Brunet, 2001).

Résultats

La fiabilité relative des longues chroniques pluviométriques...

En Basse-Normandie, l'historique des postes pluviométriques démontre l'existence de longues séries de mesures, les premières remontant aux environs de 1870. Cependant, l'utilisation de ces données très anciennes pose problème en raison du grand nombre de données manquantes (taux de remplissage), des différences de matériels et des changements de sites pour une même station. Pour illustrer ces restrictions, voici l'exemple des trois centres départementaux météorologiques (CDM) bas-normands (Fig.1).

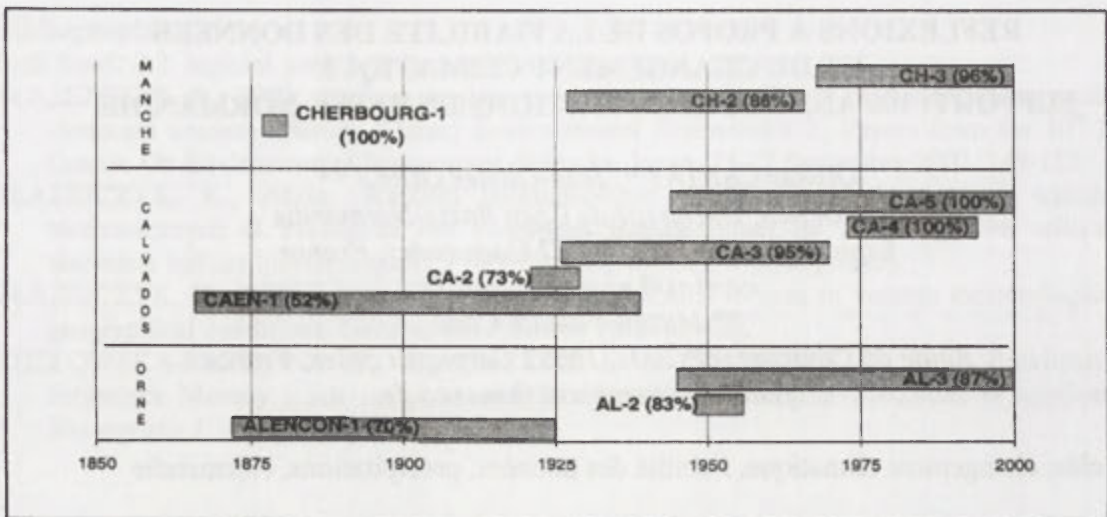


Fig. 1. Historique des 3 centres météo départementaux de Basse-Normandie (sites successifs, durée et taux de remplissage des bases de données)

Ne serait-ce déjà que par la fragmentation spatiale et temporelle des séries, toute tentative de mise en évidence de l'évolution pluviométrique à long terme, et *a fortiori* sa modélisation, paraît donc être une entreprise délicate et périlleuse... Les données de Caen permettent cependant une lecture «raisonnable» du long terme grâce au recouvrement partiel des mesures entre les différents sites, ce qui garantit une «bonne» reconstitution après 1927.

L'autre atout de Caen réside dans sa représentativité géographique pour la Basse-Normandie (Fig. 2). Les cartes de corrélation spatiale tracées pour chaque CDM révèlent l'homogénéité des entités climatiques. Il s'agit ici de caractériser la ressemblance d'évolution inter-journalière des précipitations et non leur quantité (qui dépend fondamentalement de l'exposition et de l'altitude). Ces cartes mettent clairement en évidence la plus large aire d'influence de Caen, comparativement à Cherbourg et Alençon. Ces deux dernières stations complètent alors les secteurs laissés en marge par Caen, avec au nord-ouest le Cotentin et au sud-est le Perche.

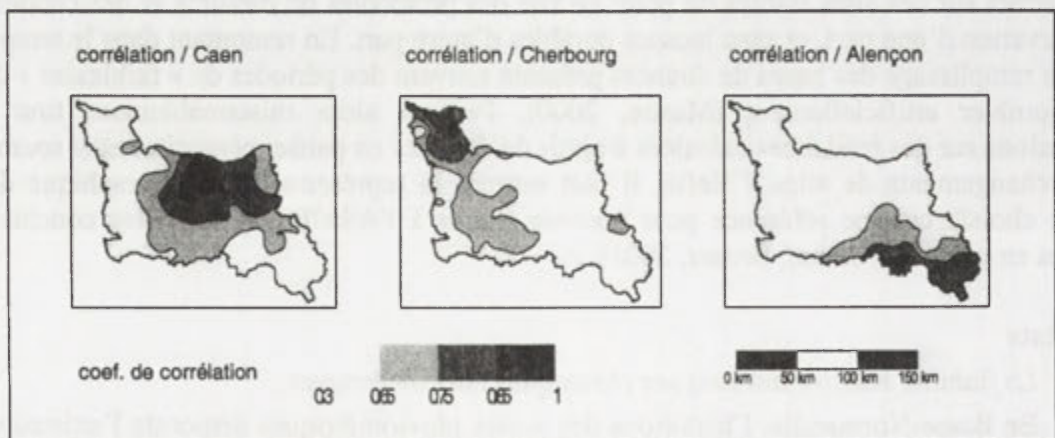


Fig. 2. Aires d'influences des 3 centres météo départementaux de Basse-Normandie
Entre variabilité et variation pluviométrique...

La *variabilité* (Fig. 3) – La comparaison des cumuls pluviométriques depuis 100 ans à Caen met en évidence une très grande variabilité inter-annuelle (fluctuation possible du simple – 500 mm – au double – 1000 mm -). Autre élément notable, la succession totalement aléatoire d'années très contrastées ou, au contraire, la présence de « blocs » de 2 à 5 années pluvieux ou secs (voir au sujet des notions de variabilité-variation, sur divers espaces géographiques, les nombreux articles parus dans les *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*).

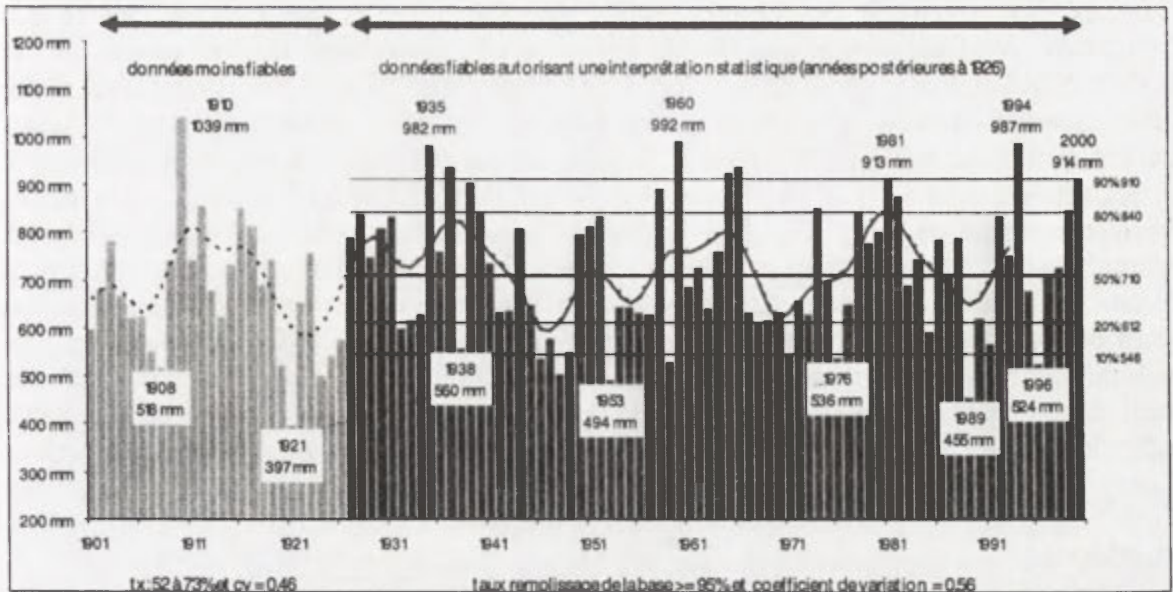


Fig. 3. Évolution des précipitations annuelles à Caen entre 1901 et 2000 (valeurs vraies (bâtons), moyenne mobile pondérée de Spencer (courbe) et repères fréquentiels)

La *variation* (Fig. 4) – Sur l'ensemble du siècle, une nette tendance croissante apparaît (+0,478 mm/an pour 1901-2000) mais ce phénomène est créé artificiellement par la sous-évaluation vraisemblable des valeurs maximales lors de la reconstitution sur la période 1901-1926 (taux de remplissage de 52 à 73% seulement). L'analyse des coefficients de variation indique clairement cette rupture qualitative de la base de données. En nous limitant aux données pluviométriques «fiables», c'est-à-dire lorsque la base de données possède un taux de remplissage supérieur ou égal à 95% (après 1927), nous n'observons plus de variation significative (-0,012 mm/an pour 1927-2000).

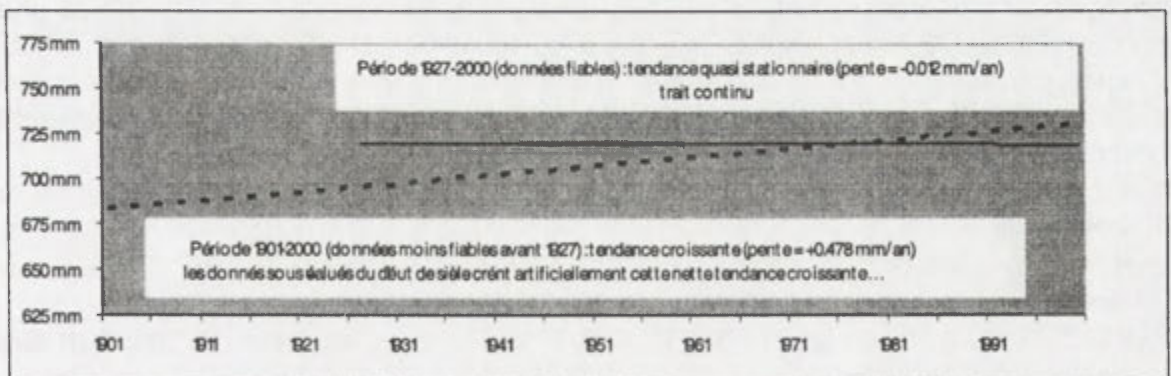


Fig. 4. Comparaison des tendances entre la période aux données fiables (1927-2000) et le XX^e siècle (1901-2000)

Les *causes* – Le caractère aléatoire et très varié des combinaisons atmosphériques d'échelle synoptique propres aux latitudes moyennes océaniques expliquerait la très grande variabilité des précipitations en étendue, en intensité et en durée dans notre région. D'un point de vue général, rappelons aussi que deux ou trois années consécutives peu arrosées ne signifient pas plus une «méditerranéisation» du climat (discours parfois tenu dans le milieu des années 1990...), que ces dernières années très pluvieuses un premier signe des conséquences du *Réchauffement Global* de la planète... (Leroux, 2002).

Par ailleurs, même en se limitant à la période «sûre» 1927-2000, nos observations sur l'évolution du climat n'ont pas nécessairement de caractère «absolu» en raison des modifications géographiques d'échelle locale qui peuvent altérer progressivement

l'homogénéité temporelle des mesures. Ainsi, pour Caen, il n'est pas exclu de penser que l'extension de l'agglomération affecte légèrement la pluviométrie, en raison de la modification – même faible – de la trajectoire et du degré de stabilité des masses d'air due à l'effet urbain. Comment soustraire ce facteur local de l'évolution climatique générale? Notons que ces remarques sont valables pour la plupart des stations météorologiques de références, basées généralement sur des aérodrômes à proximité de villes en forte extension. De même, plus généralement en Normandie, la mutation des paysages traditionnels de bocage en labours pourrait également affecter le rythme et l'intensité des précipitations... Plus localement encore, les modifications de la végétation aux abords d'une station peuvent occasionner des effets plus ou moins sensibles sur la quantité d'eau tombant dans le pluviomètre. Pour ces multiples raisons, Météo-France est en cours de redéfinition des normes de «qualité» des stations de son réseau car il n'est pas utile de posséder une instrumentation de très haute technologie si les mesures sont perturbées par des effets de site à caractère très ponctuels... (Leroy, 1999).

Conclusions

Grâce aux archives climatologiques nous pouvons proposer une vue d'ensemble des précipitations sur quelques sites depuis la fin du XIX^e siècle. Mais avec le temps beaucoup de facteurs directs et indirects de «dérive» pluviométrique ont pu fausser l'homogénéité de ces séries. Si cette restriction qualitative ne constitue pas une gêne majeure pour étudier la variabilité climatique, en revanche elle pose problème pour discerner un éventuel changement du climat.

Pour ces dernières années, ce que les médias attribuent souvent à un «*changement climatique*», ne serait peut-être alors que le prolongement de phases atmosphériques, moins fréquentes certes, mais pleinement intégrée dans la *variabilité* «normale» du climat.

Ainsi, l'observation de longues séries relativise les discours catastrophistes inspirées par l'ampleur des dégâts occasionnés par ces épisodes pluviométriques «extrêmes». Sans faire appel à un *changement du climat*, les événements climatiques actuels ont assurément des conséquences plus dramatiques qu'autrefois car ils se produisent dans un contexte de plus grande vulnérabilité de nos sociétés face aux aléas atmosphériques (Lamarre, Pagney, 1999). L'impact psychologique de ces catastrophes faussement qualifiées de «naturelles» est d'autant plus marqué qu'il remet en cause la certitude de notre civilisation moderne dans sa capacité à «gérer» l'environnement (Cantat, Cador, Agasse, 2002).

Bibliographie

- CANTAT, O. et BRUNET, L., 2001: Discontinuité géographique et particularités climatiques en Basse-Normandie, *Annales de Géographie*, 622: 579-596.
- CANTAT, O., CADOR, JM. et AGASSE, E., 2002: L'originalité des inondations de 2000-2001 dans la Plaine de Caen. *Annales de Géographie*, 625: 246-264.
- LAMARRE, D. et PAGNEY, P., 1999: *Climats et sociétés*, Paris, Colin.
- LEROUX, M., 2002: «Global Warming»: mythe ou réalité. L'évolution réelle de la dynamique du temps. *Annales de Géographie*, 624: 115-137.
- LEROY, M., 1999: Classification d'un site. *Note technique*, n° 35, Météo France, 14 p.
- MESTRE, O., 2000: *Méthodes statistiques pour l'homogénéisation de longues séries climatiques*. Thèse de Mathématiques appliquées et Statistiques, Université Paul Sabatier, Toulouse.

**CLIMAT ET POLLUTION ATMOSPHERIQUE EN POUSSIERES (PM10):
ROLES RELATIFS DES EMISSIONS ET DE LA DISPERSION
DANS UNE VALLEE DE L'ARRIERE-PAYS NIÇOIS
(CONTES, SUD-EST DE LA FRANCE) EN 2000**

*Pierre CARREGA
Equipe GVE – UMR Espace
98 bd Herriot 06204 Nice cedex 3
Université de Nice- Sophia Antipolis, France.
carrega@unice.fr*

Mots clés: pollution atmosphérique, Pm10, climat, dispersion, cimenterie, trafic routier

Abstract: Atmospheric concentration in Pm10 particles in the Paillon valley (Contes) can be partially related with atmospheric conditions (wind and rain). Nevertheless, in this case, road traffic influence is obvious, as well as cement works.

Introduction

Bien que proche de la mer (moins de 15 km), mais assez encaissée d'un point de vue topographique avec un élargissement au droit de la petite ville de Contes, la vallée du Paillon, dans l'arrière-pays niçois, est le siège d'inversions thermiques nocturnes prononcées avec constitution de lacs d'air froid (Carrega, 2000). La ventilation réduite de la vallée est liée à un régime de brises thermiques omniprésentes, avec renverse du vent en matinée et en début de soirée. Le seul drainage un peu efficace est réalisé à la mi-journée par la brise d'aval, plus forte au printemps et en été. Avec une assez forte densité de population du fait de la proximité de la Côte d'Azur, ce qui provoque des mouvements pendulaires quotidiens et donc un trafic automobile conséquent, elle est également le siège d'industries, en particulier d'une cimenterie. Ces activités anthropiques émettent des particules dans l'atmosphère dont seules les plus fines ($\leq 10 \mu\text{m}$), les Pm10, sont mesurées. En 2000, les concentrations ont dépassé durant 6 mois sur douze l'objectif-qualité annuel fixé à $30 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$, (moyenne mensuelle maximum: $> 40 \mu\text{g}$ en janvier 2000) ce qui a motivé la demande par la Mairie de Contes d'une étude qui ne concernait au départ que les relations entre les concentrations de particules dans l'atmosphère (Pm10) et les conditions climatiques pendant l'année 2000.

Méthode

L'étude a été faite en deux temps, avec d'abord, une mise en relation des concentrations avec la dispersion (conditions météorologiques), puis, compte-tenu des interrogations suscitées, la prise en compte de l'information disponible sur les émissions.

1- L'information climatique (dispersion).

Elle provient d'une station automatique (Davis) installée en conditions standard au fond de la vallée, avec intervalle d'archivage égal à 30 minutes. Les variables concernées sont la température et l'humidité (abri à 2 m sur sol); le vent (vitesse et direction à 10 m sur sol), et les précipitations. Les campagnes antérieures de mesures du vent à plus haute altitude (plusieurs dizaines ou centaines de mètres sur sol) à l'aide de ballons équilibrés (Carrega 2000) sont également utiles pour la compréhension des processus. Par contre aucune information quantifiée sur la structure thermique verticale de l'atmosphère n'est disponible.

2- L'information sur la concentration et les émissions de Pm10.

La concentration est mesurée par le capteur de l'organisme de surveillance de la pollution, Qualitair, situé à une trentaine de mètres de la station météorologique, et non proche de la route principale. Pour les émissions, on dispose des dates de fonctionnement ou

d'arrêt du four de la cimenterie, sachant qu'il est censé travailler en régime continu et qu'un redémarrage coûte cher. A l'exception des deux longs arrêts de début d'année (janvier - 3 février) et de la fin d'été (19 août - 26 septembre), le four n'a cessé que 2 fois 4 jours son activité. Les émissions de poussières dues autres activités de la cimenterie (carrière située au-dessus de l'usine, convoyage des matières, stockage du clinker, roulage des véhicules, ensachage, etc) obéissent par contre à un rythme de travail quotidien classique, avec une forte baisse pendant le week-end. Nous avons également disposé des comptages horaires de circulation routière effectués sur l'axe majeur du fond de la vallée.

3- La recherche de relations.

Elle s'est effectuée soit sur des périodes courtes (quelques heures ou jours) en cherchant à isoler l'action d'une ou plusieurs variables sur la concentration, soit à partir de matrices de données soumises à des traitements d'analyse multivariée des données. Au total, l'information disponible n'est pas complète et parfois qualitative: les émissions ne sont pas vraiment quantifiées (trafic automobile) ou carrément inconnues (cimenterie). On sait seulement qu'il y a fonctionnement ou non, de telle activité.

Résultats

1- Le rythme quotidien de la concentration en Pm10 est très marqué en toutes saisons. A la vitesse plus élevée du vent en milieu de journée, correspond une baisse de la concentration des Pm10. Deux autres processus interviennent également pour rendre compte de l'augmentation de la concentration des Pm10 en début de matinée et en fin d'après-midi (à vitesse du vent égale): la renverse de direction du vent (alternance des brises), et «l'enfumage» provoqué par la destruction matinale de l'inversion thermique (par la base). Mais les processus de dispersion ne semblent pas pouvoir tout expliquer (Fig. 1).

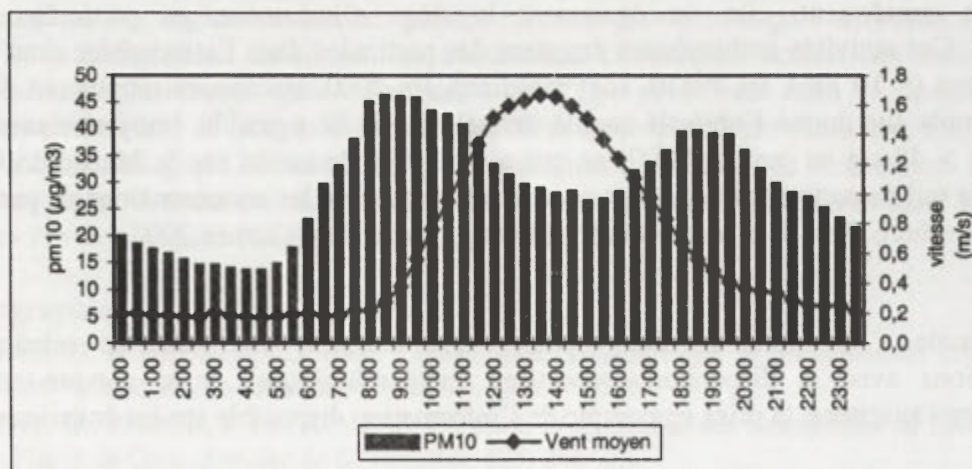


Fig. 1. Moyenne semi-horaire du vent moyen et des pm 10 à Contes en 2000 (0-24h)

Le trafic routier présente également un rythme proche de celui des Pm10. Comparé à celui du vent, on remarque que de même qu'à la forte concentration en Pm10 du matin correspond «l'enfumage», la relativement faible concentration entre 15 et 19h peut s'expliquer par l'instabilité diurne de l'air qui dilue verticalement les polluants (Fig. 2). Le rôle des émissions sur la concentration est également attesté par la mise en évidence d'un rythme hebdomadaire, caractérisé par la diminution de la pollution les samedi et dimanche, d'environ 30%. Il s'explique par la baisse similaire du trafic routier mais aussi par la diminution de l'activité de la cimenterie, hors four. Tous autres paramètres étant (à peu près) égaux, l'influence de ce dernier se vérifie par une diminution de la concentration en Pm10 lorsqu'il est arrêté.

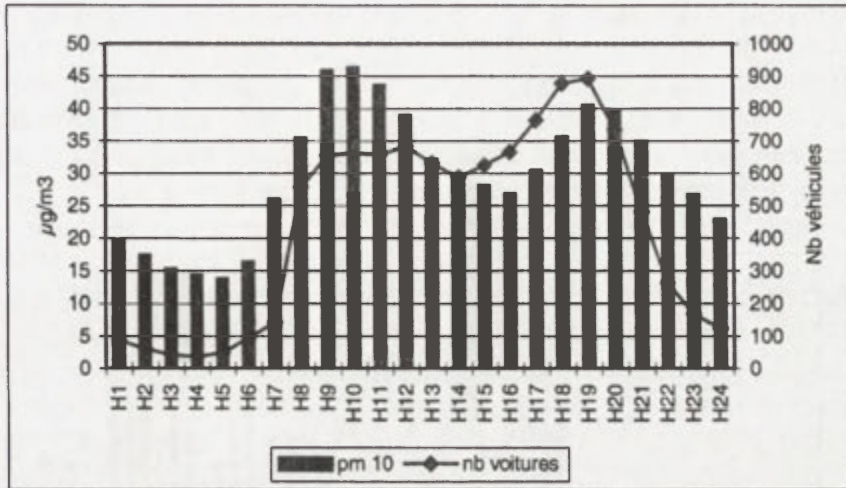


Fig. 2. Relation entre les moyennes horaires annuelles des pm 10 et du trafic routier (0-24h)

Plus précisément, le poids du trafic routier est bien mis en évidence par la bonne relation entre le décalage temporel de concentration des Pm10 et celui du trafic routier lors des changements de l'heure légale de printemps et d'hiver (Fig. 3 et 4).

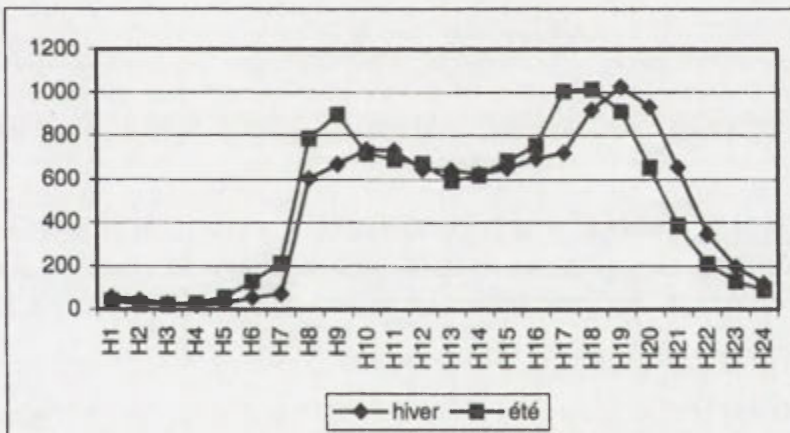


Fig. 3. Décalage temporel (heures en abscisse) du trafic routier (nombre en ordonnée) avant et après le changement d'heure légale (heure constante du graphique = TU+1) au printemps, de 0 à 24 h (moyenne sur les jours ouvrés de la semaine précédente et de la semaine suivante)

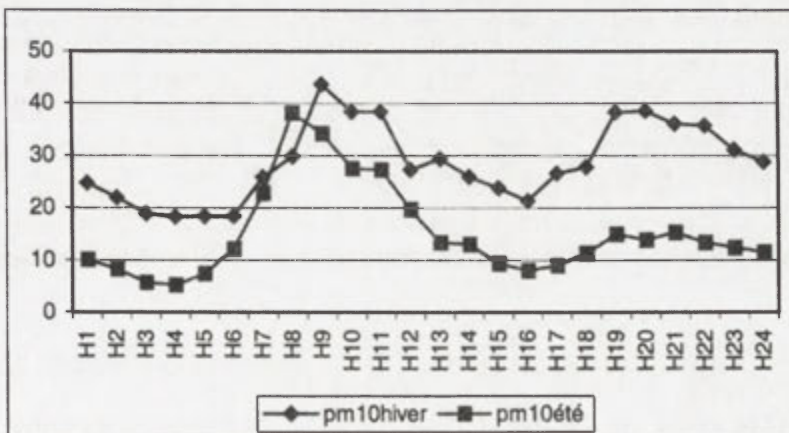


Fig. 4. Décalage temporel des pm 10 (moyenne horaire) avant et après le changement d'heure légale (heure constante du graphique = TU+1) au printemps, de 0 à 24 h (voir titre Fig. 3)

2- Plus ponctuellement, l'efficacité du vent fort et de la pluie pour diffuser les polluants est indéniable. La pluie lessive les particules et les entraîne au sol, tout en annulant la remise en suspension par le roulage des véhicules. Ainsi la pluie a un effet «purificateur» de l'air, plus visible généralement avec une heure de décalage. Un vent synoptique soutenu, seul capable de vitesses élevées, a le même effet, mais c'est un événement rare. Le 19 février 2000 (jour le plus venté de l'année), dès que s'établit durablement un vent à environ 3 m/s en moyenne (jusqu'à 4,5 m/s), le taux de pm 10 baisse en dessous de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Fig. 5).

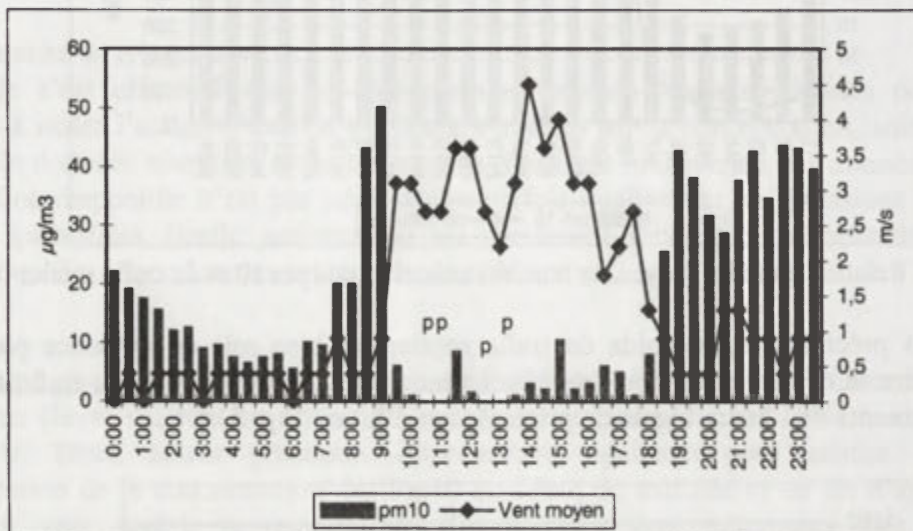


Fig. 5. Relation entre les Pm10 et la vitesse du vent le 19 février 2000 de 0 à 24 heures (p = pas de mesure)

3- A l'échelle mensuelle, le tableau 1 indique la valeur des coefficients de corrélation des valeurs horaires pour deux exemples. Avec les 4 variables «explicatives», le coefficient de corrélation multiple est de 0,82 en avril, et 0,88 en juillet soit un pouvoir d'explication de plus des 2/3 de la variance.

Tableau 1. Coefficients de corrélation entre moyennes des Pm10 horaires et diverses variables (avril et juillet 2000).

Mois	Trafic routier	vent moyen	vent max	pluie
Avril	0,67	0,20	0,21	0,58
Juillet	0,75	0,47	0,43	-0,06

Conclusion

Il est clair que les facteurs météorologiques ne peuvent rendre compte à eux seuls des concentrations de poussières, d'où la relative modestie des coefficients de corrélations entre les concentrations et les variables météorologiques. De toute évidence, la variabilité temporelle des émissions influence également la variabilité des concentrations, mais même si la complexité des phénomènes et la multi-causalité de la pollution atmosphérique sont une fois de plus avérées, l'influence de la circulation automobile est ici particulièrement décelable.

Bibliographie

- CARREGA, P., 2000: Contes (Alpes-Maritimes françaises): une vallée continentale et mal ventilée bien que proche de la mer. *Publications de l'A.I.C.*, Vol. 12, 34-42.
- CARREGA, P., 2002: Relations climat-pollution atmosphérique en particules à Contes (06). Rapport final dactylo.
- QUALITAIR, 2000: Mesures quart-horaires des Pm10 à la station de Contes le Pilon.

TRAITEMENT DES DONNEES CLIMATOLOGIQUES EN VUE DES JEUX OLYMPIQUES DE TORINO 2006

V. COCCOLO, M. NICOLELLA, R. PELOSINI

ARPA Piemonte - Settore Meteoidrografico e Reti di Monitoraggio

Corso Unione Sovietica 216, 10134 Torino - Italie

mariaelena.nicolella@csi.it

Mots clés: température de l'air, vitesse du vent, indice de refroidissement éolien

Abstract: The weather and snow condition supports play an important role in the realization of the Olympic Games of Turin 2006. The wind chill index expresses the cooling sensation caused by the combined effect of temperature and wind. We have analyzed the values of this index between 10 and 26 February in the historical data from the weather station of the Olympic System.

Introduction

Le jour 19 Juin 1999, l'Assemblée du Comité Olympique a assigné à la ville de Turin l'organisation des XX Jeux Olympiques d'Hiver. La Région Piémont hébergera les Jeux entre le 10 et le 26 Février 2006: 3500 athlètes y participeront dans 15 spécialités différentes.

Le Comité d'organisation des XX Jeux Olympiques d'hiver de Turin, TOROC, a signé une convention avec l'Agence Régionale pour la Protection de l'Environnement du Piémonte, dans le but de fournir des informations et les prévisions sur l'évolution météorologique et sur l'état de la neige pendant la manifestation et toutes les activités préparatoires.

Le résultat de l'élaboration des données climatologiques sera employé pour établir le programme final des Jeux avec un plan de surveillance météorologique.

Méthode

Les stations de monitoring installées dans les localités concernées par les diverses disciplines sportives ont fourni les données de température, humidité relative, radiation solaire, vitesse du vent, pluie.

Les données permettent en particulier le calcul de l'indice de refroidissement éolien qui exprime la sensation de refroidissement causée par l'effet combiné de la température et du vent. Cette sensation ne peut se mesurer avec un instrument; les scientifiques ont donc mis au point une formule qui met en relation la température de l'air et la vitesse du vent avec la sensation de froid ressentie sur la peau.

L'indice équivaut à la sensation ressentie sur la peau par une journée calme. Par exemple, si la température extérieure est de -10°C et que le refroidissement éolien est de -20°C , cela signifie que vous ressentirez sur votre visage le même froid que si vous étiez dehors à -20°C par temps calme.

L'indice de refroidissement éolien est calculé pour chaque station dotée de l'anémomètre et du thermomètre. L'équation pour déterminer l'indice est la suivante:

$$R = 13.12 + 0.6215 \times T - 11.37 \times V_{10m}^{0.16} + 0.3965 \times T \times V_{10m}^{0.16}$$

où

R = indice de refroidissement éolien, fondé sur l'échelle de température Celsius ($^{\circ}\text{C}$)

T = température de l'air en degrés Celsius ($^{\circ}\text{C}$)

V_{10m} = vitesse du vent à 10 mètres (la hauteur standard de l'anémomètre), en kilomètres à l'heure (km/h).

L'exposition au froid peut être dangereuse et même mortelle, même un refroidissement éolien modéré peut être dangereux en cas d'exposition prolongée.

Le Tableau 1 indique les mesures à prendre pour vous protéger des dangers du refroidissement éolien.

Tableau 1. Dangers du refroidissement éolien

Refroidissement éolien	Description	Danger pour la santé	Ce qu'il faut faire
0 à -10	Faible	Le refroidissement éolien augmente un peu l'inconfort.	S'habiller chaudement, en fonction de la température extérieure.
-10 à -25	Modéré	Inconfortable. La peau exposée ressent le froid. Risque d'hypothermie si à l'extérieur pendant de longues périodes sans protection adéquate.	Porter plusieurs couches de vêtements chauds, sous un coupe-vent. Porter un chapeau, des mitaines et un foulard. Rester actif.
-25 à -45	Élevé	Risque de gel de la peau (gelure grave). Surveiller tout engourdissement ou blanchissement de la figure, des doigts, des oreilles ou du nez. Surveiller tout engourdissement ou blanchissement de la figure, des doigts, des oreilles ou du nez. Risque d'hypothermie si à l'extérieur pendant de longues périodes sans protection adéquate.	Porter plusieurs couches de vêtements chauds, sous un coupe-vent. Couvrir toute la peau exposée, en particulier le visage et les mains. Porter un chapeau, des mitaines et un foulard, passe-montagne ou masque. Rester actif.
Niveau d'avertissement -45 à -59	Extrême	Quelques minutes suffisent pour geler la peau exposée. Surveiller fréquemment les extrémités pour tout engourdissement ou blanchissement (gelure grave). Sérieux risque d'hypothermie si à l'extérieur pendant de longues périodes.	Il faut être prudent et s'habiller très chaudement avec plusieurs couches de vêtements chauds, sous un coupe-vent. Couvrir toute la peau exposée, en particulier le visage et les mains. Porter un chapeau, des mitaines et un foulard, passe-montagne ou masque. Restreindre les activités extérieures à de courtes périodes. Se préparer à annuler ou à raccourcir les activités extérieures. Rester actif.
-60 et valeurs plus importantes	Extrême	DANGER! Les conditions extérieures sont dangereuses. La peau exposée peut geler en moins de deux minutes.	Rester à l'intérieur.

Résultats

L'analyse comparative des valeurs de l'indice de refroidissement éolien obtenues en période entre le 10 et le 26 Février démontre que les risques associés à de basses températures et des vents très forts dans les stations considérées sont limités.

On peut observer (Tabl. 2) que la valeur minimale de l'indice de refroidissement éolien a eu lieu le 13 Février 1991 dans la localité de Sestriere Le Haut. Cette valeur rentre dans la troisième classe (Tabl. 1), associée à une sensation de froid élevé.

Tableau 2. Valeurs extrêmes de l'indice de refroidissement éolien

Station	Years	Date	Indice de refroidissement éolien	Vitesse du vent [km/h]	Température [°C]
Torino Ville	13	15-feb-94	-5	5.5	-2.6
Bardonecchia Village	12	24-feb-93	-17	7.4	-12.7
Bardonecchia Le Haut	12	12-feb-99	-25	37.2	-13.4
Pragelato Le Haut	6	12-feb-99	-22	15	-14.4
S. Sicario	13	13-feb-94	-26	22.3	-15.7
Sestriere Le Haut	13	13-feb-91	-37	69.3	-20
Pragelato Tremplin Haut	2	25-feb-01	-12	10.7	-7.4
Pragelato Tremplin Bas	2	26-feb-01	-18	6.8	-13.1

Pour avoir une idée de la distribution des valeurs de l'indice de refroidissement éolien, on peut analyser le graphique suivante (Fig. 1) où sont représentées toutes les données relatives aux stations considérées: les valeurs sont concentrées dans les deux premières classes (Tabl. 1).

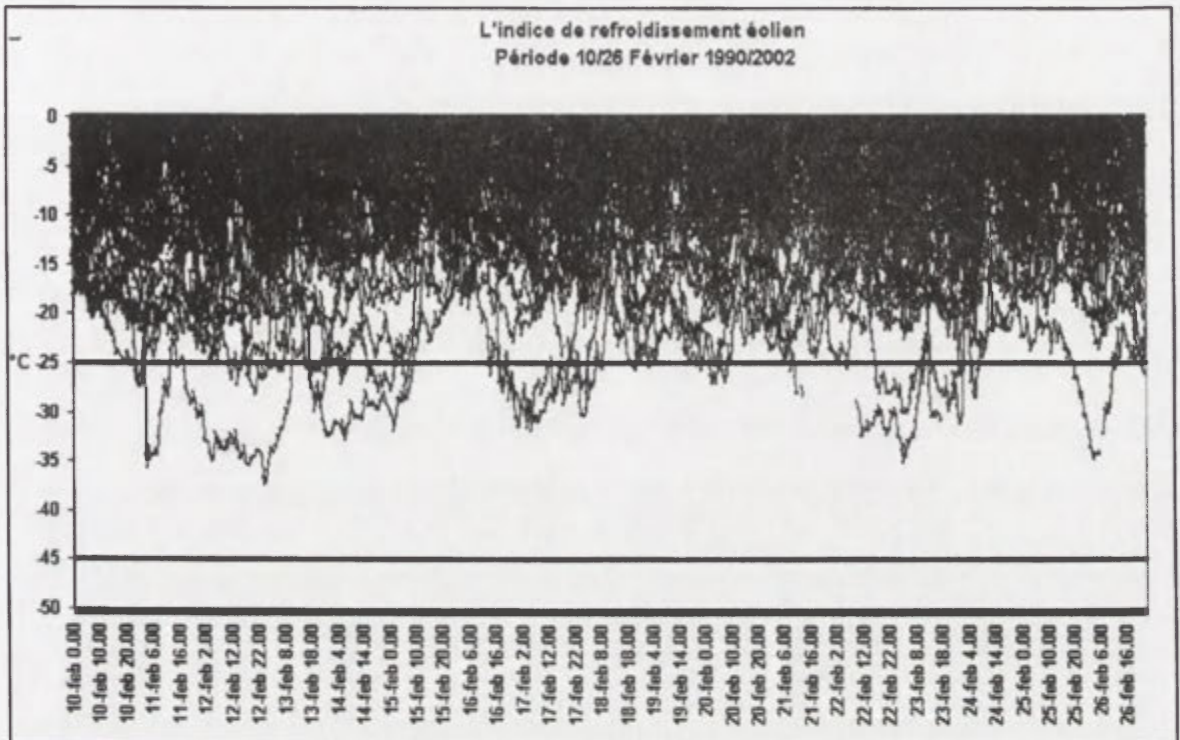


Fig. 1. Variation de l'indice de refroidissement

Si on analyse les pourcentages calculés avec toutes les données de la station de monitoring considérées (Tabl. 2), on peut observer que seulement 16% des valeurs correspondent à une valeur de l'indice de refroidissement éolien modéré.

Tableau 3. Pourcentages de l'indice de refroidissement éolien

Période Olympique	
refroidissement éolien > 0	46%
-10 < refroidissement éolien < 0	37%
-10 < refroidissement éolien < -25	16%
refroidissement éolien < -25	1%

Conclusions

Les distributions horaires des valeurs de refroidissement éolien démontrent que les valeurs sont concentrées dans les deux premières classes, qui correspondent à un indice de refroidissement éolien modéré. En particulier, on peut observer qu'à Torino, qui hébergera les principales manifestations ouvertes au public, la plus basse valeur de refroidissement éolien a été -5°C .

Bibliographie

- KAPPENBERGER, G. et KERKMANN, J., 2001: *Il tempo in montagna*, Zanichelli, Bologna.
 BESANCENOT, J.P., 1990: *Climat et tourisme*, Masson, Paris.
 SIPLE, P.A. et PASSEL, C.F., 1945: Measurements of dry atmospheric cooling in subfreezing temperatures. *Proceedings of the American Philosophical Society*, t. LXXXix, n°1.
 WILSON, F. et DUNLOP, S., 1999: *Guida alla previsione del tempo*, Zanichelli, Bologna.
 ESOURROU, G., *Climatologie pratique*, Masson, Paris.
 TURRONI, E., 41/2000: *Neve e Valanghe, Meteorologia alpina, Glaciologia, Prevenzione e Sicurezza in montagna*.

TEMPERATURE ET PRECIPITATIONS EXTREMES SUR LA FRANCE DANS UN SCENARIO DE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Michel DEQUE

Météo-France, Centre National de Recherches Météorologiques

42 avenue Coriolis, 31057 Toulouse, France

deque@meteo.fr

Mots clés: modèle numérique, extrêmes, température, précipitations, scénario

Abstract: Impact of an anthropogenic climate change scenario on the frequency distribution of temperature and precipitation over France is studied with a numerical simulation calibrated with observed daily data from the synoptic network.

Introduction

Les modèles numériques de simulation du climat ont pour but de synthétiser notre connaissance des lois physiques de l'atmosphère et de son interaction avec la surface. Ils offrent ainsi la possibilité d'obtenir un pronostic scientifiquement raisonnable de ce que pourrait être le climat de la fin du 21ème siècle si on suppose que, toutes choses égales par ailleurs, l'augmentation de la concentration en gaz à effet de serre, observée depuis le début de l'ère industrielle, se poursuit.

Le groupe d'experts international sur l'évolution du climat (GIEC) a proposé un certain nombre de scénario d'émissions annuelles de gaz à effet de serre et d'aérosols pour le 21ème siècle, en se fondant sur des hypothèses économiques, démographiques, et technologiques. Nous ne retiendrons ici que le scénario A2. Les modèles de chimie utilisant une version simplifiée des lois de l'atmosphère en ont déduit des hypothèses de concentration globale pour les gaz à effet de serre, et géographique pour les aérosols; ceux-ci, ayant une durée de vie plus courte et des sources localisées, ne se répartissent pas uniformément sur le globe. A partir des concentrations, les modèles dynamiques couplés océan-atmosphère ont calculé l'évolution des températures de surface de la mer et d'étendue de banquise. Nous nous limiterons ici à l'utilisation des données calculées par le Hadley Centre, car elles constituent une sorte de standard en Europe (projet européen PRUDENCE). Il faut cependant savoir que d'autres centres en Europe, dont le CNRM, disposent de leur propre simulation couplée.

Ces modèles globaux couplés sont très coûteux et les intégrations doivent être longues pour assurer l'équilibre de la composante océanique. C'est pourquoi on utilise une résolution horizontale de l'ordre de 300 km pour qu'une simulation d'un siècle ne dépasse pas quelques mois sur les calculateurs les plus puissants disponibles à l'heure actuelle. Une telle résolution est insuffisante à l'échelle de la France. En particulier les Alpes sont rejetées vers la Suisse, les Pyrénées au centre de l'Espagne, et le Massif Central n'est pas représenté. Ce n'est qu'à partir de 50 km que les caractéristiques orographiques du modèle sur la France commencent à être en accord avec les manuels de géographie (même si les Alpes ne culminent pas à 4807m). C'est ici qu'intervient la modélisation régionale du climat. La plupart des centres de recherche utilisent un modèle d'aire limitée couvrant leur pays ou leur continent (compromis entre moyen de calcul et résolution horizontale) et contraint aux bords de son domaine par les variables météorologiques calculées toutes les 6 h par le modèle couplé à basse résolution. Nous utiliserons ici une autre approche qui utilise un modèle global à résolution variable.

Méthode

Le modèle ARPEGE-Climat utilisé à Météo-France est dérivé du modèle de prévision opérationnelle à courte échéance. Ces deux modèles utilisent une option originale qui consiste à faire varier la résolution horizontale entre une zone d'intérêt et ses antipodes (Déqué Piedelievre, 1995). Dans la version climat, la résolution varie de 50 km au centre de la

Méditerranée à 450 km dans le Pacifique Sud. Cela assure une résolution d'au moins 60 km sur la France. Une expérience de 40 ans utilisant les températures de surface de la mer observées de 1960 à 1999 permet de vérifier que le modèle reproduit le climat présent avec une précision suffisante (Gibelin, Déqué, 2003). Cette expérience est tripliquée en utilisant deux autres jeux de situations initiales. Pour la période 2070-2099, on procède de la même manière, sauf que les concentrations en gaz à effet de serre et aérosols proviennent des hypothèses A2 du GIEC et les températures de surface de la mer sont incrémentées par les anomalies (différences entre la simulation perturbée et la simulation de référence) calculées par le Hadley Centre. Cette deuxième période est également tripliquée. Nous disposons donc de 120 années virtuelles représentatives de la fin du 20ème siècle et de 90 années représentatives de la fin du 21ème siècle.

Si on veut étudier l'impact du changement climatique sur la fréquence des extrêmes de température et de précipitations, la relativement bonne adéquation du climat moyen simulé avec le climat observé n'est pas un gage suffisant. En effet, le modèle est une simplification humaine d'un système énormément plus complexe. Le nombre de degrés de liberté du modèle, de l'ordre de trois millions, est très inférieur au nombre de molécules en jeu dans le système atmosphérique de la planète. Aussi, on peut s'attendre à ce que la variabilité jour par jour des états simulés par le modèle soit différente de celle observée. En particulier on s'attend à ce que le modèle sous-estime les phénomènes extrêmes. On n'en demande pas tant au modèle. On souhaite simplement que le modèle varie dans le même sens et du même ordre de grandeur que la réalité quand on lui applique une perturbation systématique.

Dans l'exploitation classique des simulations climatiques, on travaille en mode anomalie. On fait l'hypothèse que si le modèle a un biais raisonnable (par exemple s'il est 1°C trop chaud), ce biais sera sensiblement le même dans le climat de la fin du 21ème siècle. Si cette hypothèse était fautive, il faudrait renoncer à toute étude numérique, car même la simulation à la perfection du climat présent ne nous garantirait pas contre des biais grossiers dans le climat simulé en réponse à une modification de l'effet de serre. Sous cette hypothèse, on exprime que si la différence entre une simulation pour le climat perturbé et une simulation de contrôle est de 2°C, on peut estimer que le réchauffement réel serait aussi de l'ordre de 2°C. En fait la simulation perturbée est plus chaude de 3°C par rapport au climat présent, mais on enlève 1°C dû au biais du modèle. Une telle méthode de correction ne rendra pas les fréquences des phénomènes extrêmes du modèle plus réalistes. Si la température la plus froide simulée par le modèle est de -5°C, on obtiendra -6°C après correction, mais jamais les -20°C observés.

Il faut donc travailler sur la fonction de répartition et non sur la moyenne. Cela nécessite beaucoup plus de données, car un histogramme empirique de fréquence est bien plus sensible à l'échantillonnage. Nous avons utilisé 54 années de données quotidiennes pour 32 villes du réseau d'observation de Météo-France. Les quatre saisons ont été traitées indépendamment. Les 32 points de grille de modèle les plus proches de ces villes ont été extraits. Les paramètres étudiés sont les températures minimales et maximales diurnes et les précipitations quotidiennes. Les 99 centiles ainsi que les deux extrêmes absolus ont été évalués pour chaque ville, chaque saison et chaque paramètre. Dans le cas du modèle, les 3 simulations de 40 ans (ou de 30 ans) ont été traitées séparément et les centiles ont été moyennés pour assurer une meilleure stabilité statistique. Les extrêmes toutes villes confondues, ainsi que toutes villes et toutes saisons confondues (toutes simulations dans le cas du modèle) ont également été calculés pour pouvoir extrapoler les cas où une donnée du 21ème siècle est supérieure au maximum absolu des simulations du 20ème siècle. On dispose ainsi, pour chaque ville, paramètre et saison, d'une table de correction qui transforme une donnée modèle en donnée observée. Dans le cas où la même donnée modèle correspond à plusieurs données observées (cela peut arriver avec les précipitations nulles) un tirage au sort est effectué à chaque correction d'une donnée modèle: cela garantit que l'histogramme des fréquences du modèle pour le 20ème siècle est le même que l'histogramme observé.

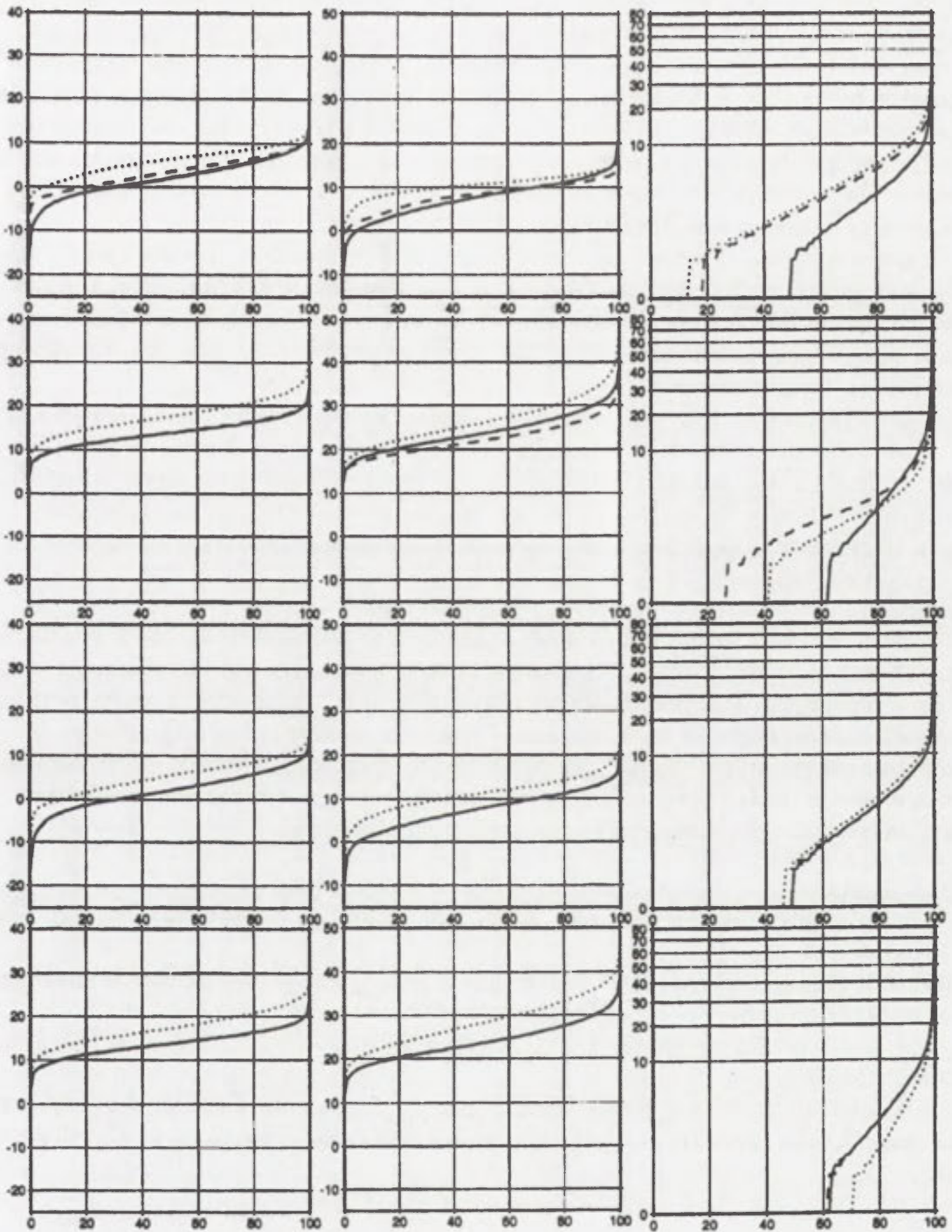


Fig. 1. Fréquence observée (trait plein) simulée (tireté) et scénario (pointillé) à Paris pour, de gauche à droite: T_{min} (°C), T_{max} (°C) et précipitations (mm/jour); de haut en bas: hiver, été, hiver corrigé, été corrigé

Résultats

La place allouée à ce texte ne permet pas d'exhiber les histogrammes pour les 32 villes. La figure 1 montre les valeurs obtenues pour Paris (en fait il s'agit d'Orly). Les résultats sont en général similaires pour les autres villes. En ce qui concerne la température minimale diurne (les données du modèle sont, comme pour la température maximale, ramenées à l'altitude de la station météorologique par un gradient de 6,5°/km), le modèle se comporte bien pour les températures élevées en hiver, est 1° à 2° trop chaud pour les valeurs médianes, et 5° trop chaud pour les valeurs froides. En été, le modèle colle à la réalité. Après correction (les deux rangées du bas), la courbe tiretée se confond avec la courbe pleine, signe que la

méthode de correction est efficace. La courbe pointillée (scénario), montre que le réchauffement hivernal est sensiblement le même à toutes les plages de fréquence, sauf pour les centiles les plus élevés (températures chaudes). Cependant, une lecture transversale du diagramme montre que la probabilité de descendre en dessous de 0°C passe de 30% à 10%, tandis que la probabilité de dépasser 10°C passe de 2% à 10%. En été, on constate que les centiles correspondant aux températures les plus chaudes sont plus affectés que les autres. Il en résulte que la valeur 20°C qui n'est observée que dans 2% des cas en minimale diurne, se retrouve dans le scénario avec une probabilité de 25%.

Dans le cas de la température maximale diurne hivernale, le modèle sous-estime les maxima et sur-estime les minima. En été la sous-estimation concerne tous les centiles. On notera cependant que l'impact du changement de climat est deux à trois fois plus important que le biais. Après correction, on trouve une augmentation de tous les centiles, plus importante en été qu'en hiver.

Le défaut majeur des précipitations est de sur-estimer la fréquence des faibles valeurs. La probabilité d'occurrence de pluie est environ deux fois plus forte dans le modèle. En outre, en été, le modèle sous-estime les fréquences des fortes précipitations. Après correction, le modèle augmente tous les centiles d'hiver et diminue les centiles d'été. La probabilité d'avoir plus de 10 mm/jour en hiver passe de 2,5% à 4% tandis qu'en été elle passe de 4% à 2,5%.

Conclusion

Nous avons présenté ici des résultats concernant les impacts sur les températures et précipitations sur Paris à titre d'illustration, mais la méthode a été appliquée sur toute la France et les détails géographiques sont disponibles. Dans l'ensemble, tous les centiles de température augmentent, et les fortes précipitations deviennent plus fréquentes en hiver et moins fréquentes en été. Lorsqu'on présente les résultats en terme de probabilité de dépassement de seuil, l'impact du changement climatique est plus impressionnant que lorsqu'on considère l'accroissement ou la diminution des centiles.

Bibliographie

- DEQUE, M. et PIEDELIEVRE, J.P., 1995: High resolution climate simulation over Europe. *Climate Dynamics*, 11: 321-339.
- GIBELIN, A.L. et DEQUE, M., 2003: Anthropogenic climate change over the Mediterranean region simulated by a global variable resolution model. *Climate Dynamics*, 20: 327-339.

Remerciements

Ce travail a été en partie soutenu par le programme *Gestion des Impacts du Changement Climatique* (projet IMFREX) du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable.

BILAN DES ECHANGES HYDRIQUES TERRE-ATMOSPHERE AU PASSAGE DES LIGNES DE GRAINS A DAKAR.

*Bouya DIOP **, *Bamol SOW ***, *Daouda BADIANE ***

**Unité de formation et de Recherche de Sciences Appliquées et de technologie
LPASF Antenne de Saint Louis B.P. 234 Université Gaston Berger de Saint Louis*

*** LPASF ESP Université Cheikh Anta Diop de Dakar.*

dbouya@ugb.sn

Mots clés: analyse composite, ligne de grains, humidité, nébulosité, pluie

Abstract: A statistical study of the nebulosity and the rain, associated to the composite analysis of the humidity has shown that rainfall generated by the squall line issue with the squall lines issue from the convective part essentially. Too less ten hours before the passage of squall lines, we note an increase of the relative humidity in the atmosphere low layer. During the squall lines passage, the humidity is maximal in the layer 700-600 hPa. After the passage, the humidity decreases in the low and average layers.

Introduction

Les lignes de grains (L.G.s) improprement dénommées tornades se manifeste en été boréal dans la région sahélienne d'est en ouest. Ce qui fait dire que la pluie vient de l'Est. Elles s'affaiblissent progressivement de façon générale en atteignant les côtes.

Nous avons expliqué les transferts des masses d'eau au sein de la L.G. et entre celle-ci et son environnement immédiat. De nombreux travaux lui sont consacrés. Aspliden, Roux M. Par une méthode d'analyse composite, on détermine les profils verticaux moyens de l'humidité et de la structure temporelle de la pluie associée aux L.G.s. L'étude de 240 L.G.s a permis de mettre en évidence des caractéristiques hydriques de celles-ci.

Méthode

A l'aide de radiosondages effectués entre 1968 et 1993, à Dakar, nous avons établi une climatologie descriptive des champs de paramètres météorologiques au passage d'une L.G.

La technique utilisée ici est celle décrite par Diop B. et Al en 1996. La figure 1 montre le repère lié à la ligne de grains.

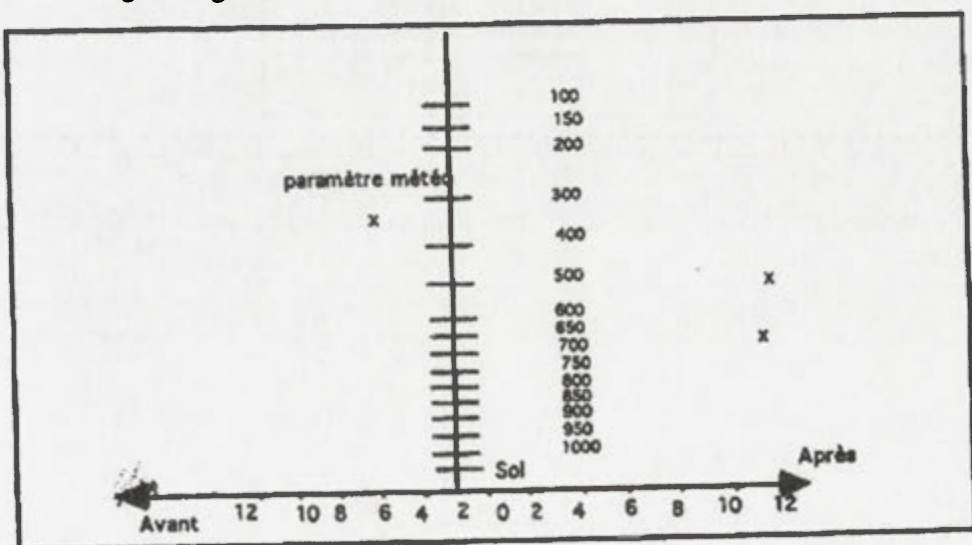


Fig. 1. Repère associé à la ligne de grains

Les structures obtenues par cette méthode et présentées dans la figure 2 sont en bonne concordance avec les résultats de la simulation numérique et celles données par le radar (Redelpergers, 1992).

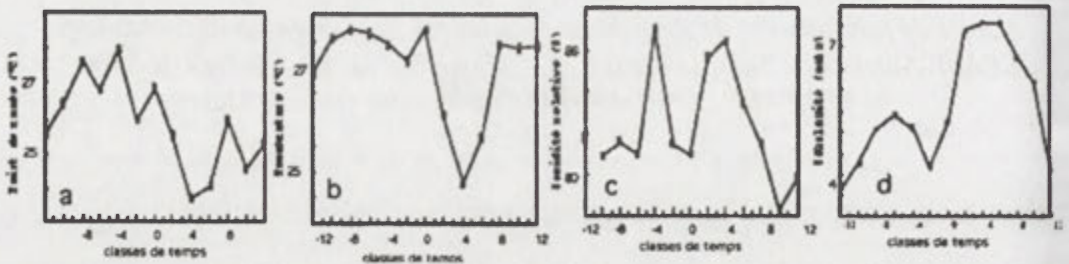


Fig. 2. Structures temporelles a) du point de rosée, b) de la température, c) de l'humidité relative, d) de la nébulosité

Résultats

Nous avons recensé 240 passages de lignes de grains. Dans la période d'étude, on utilise l'humidité relative la nébulosité et la pluie associée aux L.G.

La figure 3 montre l'humidité relative au sol et la figure 3 indique l'humidité relative en altitude.

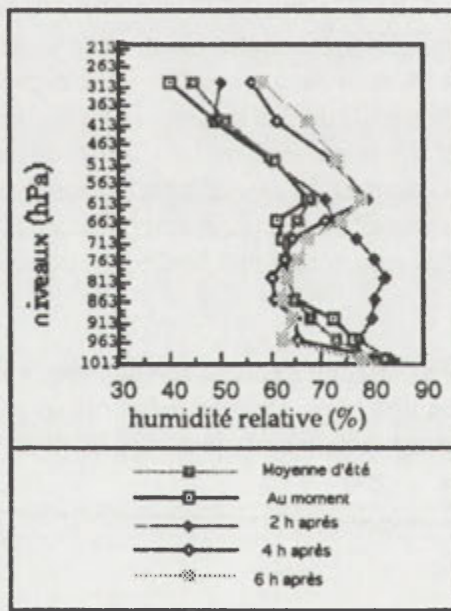


Fig. 3. Profil de l'humidité relative après et au moment de passage de L.G.

La figure 4 indique respectivement l'écart entre l'humidité de la classe et celle de la moyenne d'été.

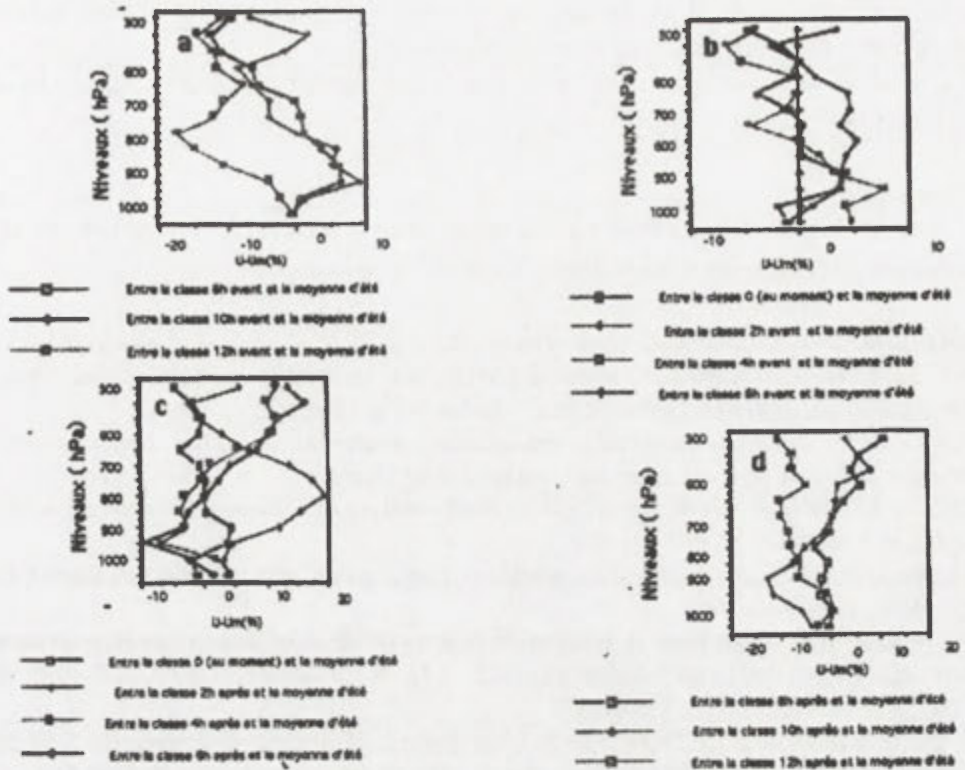


Fig. 4. Profils des écarts d'humidité relative avant pendant et après le passage de L.G.

La figure 5 montre les précipitations et la nébulosité associées aux lignes de grains.

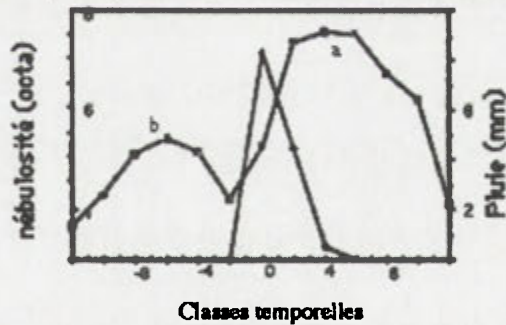


Fig. 5. a) Nébulosité b) Pluie

Tableau 1.

Variabes	G1	G2	G3	G4	G5	G6
Moyennes	8,30	3,18	1,28	0,37	0,17	0,05
Ecart-types de la serie	8,86	11,06	3,50	1,40	1,21	0,42

Nombre d'observations: 240 nombres de variables Gi: i = 1..6

Gi quantité de pluie recueillie durant la première ième heure de présence de la L.G.

Conclusions

En effectuant une analyse composite du profil d'humidité sur la base de donnée de radiosondage et de pluviomètres de Dakar-Yoff (Sénégal) situé à 14°44 nord et 17°30 ouest, on a étudié les échanges hydriques au sein de la ligne de grains et entre celle-ci et son environnement immédiat.

Une étude statistique de la nébulosité et de la pluie, associée à l'analyse composite du profil d'humidité relative a montré que les précipitations générées par la L.G.. proviennent essentiellement de la partie convective.

Moins de dix heures avant le passage de la ligne de grains, on note une augmentation de l'humidité relative dans les basses couches de l'atmosphère. Au passage de celle-ci,

l'humidité est maximale dans la couche. Après son passage, l'humidité relative décroît progressivement dans les basses et moyennes couches.

L'analyse des précipitations liées aux L.G.s confirme les travaux de Houze (1977), Zipser (1969) et Gamache (1983).

Remerciements

Nous remercions la direction de la météorologie nation du Sénégal et ses agent d'avoir permis l'acquisition des données utilisées dans ce travail.

Bibliographie

- CITEAU, J., 1992: *Les satellites météorologiques, une approche nouvelle de la connaissance du climat au sahel*. Thèse de Doctorat de l'Université Paut Sabatier.
- DHONNEUR, G.: *Nouvelle approche des réalités météorologiques de l'Afrique occidentale et centrale*. Thèse de docteur ingénieur, université de Dakar.
- GAMACHE, J.F. et HOUZE, R.A., Jr., 1983: Water budget of a mesoscale convective system in the tropics. *J.Atmos. Svi.*, 40, 1835-1850.
- HOUSE, R. A. Jr., 1977: Structure and dynamics of squall line system observed during GATE, *Mon. Wea. Rev.*, 105, 1540-1567
- REDELSPERGER, J. L. R., 1992: Les lignes de grains tropicales [Dans]: *Les climats subtropicaux et leurs évolution. De l'observation spatiale à la modélisation*. CEPADUS-Editions Spatiales (CNES) Toulouse, France. 233-259.
- ROUX, M. et ZIPSER, E.J., 1969: The role of organized unsaturated convective downdrafts in the structure and rapid decay of an equatorial disturbance. *J.Appl. Meteor.*, 8, 799-814.

LE RECHAUFFEMENT RECENT DU CLIMAT EN FRANCE ET SES CONSEQUENCES POUR L'AGRICULTURE

Marjorie DOMERGUE, Inaki GARCIA DE CORTAZAR*, Bernard SEGUIN**

*Unité Agroclim**

*Nadine BRISSON**, Dominique RIPOCHE***

***Unité Climat, Sol et Environnement INRA,*

site Agroparc, domaine Saint-Paul, 84914 Avignon Cedex 9, France

Mots clés: agriculture, agrométéorologie, phénologie, changement climatique

Abstract: Past studies about the impacts of climate change in agriculture have mainly considered the possible effects of future climate scenarios for the end of the century. However, the last fifteen years have shown a significant increase of temperature, which is analysed here in terms of observed or modeled consequences for some major productions in France (wheat, fruit trees and vine).

Introduction

L'impact du changement climatique sur la production agricole a fait l'objet ces dernières années de plusieurs ouvrages (voir en particulier Rosenzweig et Hillel 1998, Reddy et Hodges 2000, GIEC 2001, Soussana 2001) qui permettent d'avoir une vision exhaustive des processus mis en jeu et de leurs caractéristiques par grands groupes de production et grandes zones géographiques à l'échelle mondiale. Au niveau de la production agricole française, le travail de Delécolle et al (1999) a permis de présenter un premier diagnostic.

Il est apparu récemment que le réchauffement observé depuis le début du siècle s'est accentué au cours des quinze dernières années, et ceci aussi bien en France (Moisselin et al 2002) qu'à l'échelle globale, avec un ordre de grandeur de 0.5 à 1.0°C. Cette observation nous a conduit à rechercher des signes observables des effets d'une telle modification sur les cultures et les conséquences sur les productions agricoles.

Méthode

La première étape de notre démarche nous a conduit à analyser le calendrier phénologique, qui est a priori la composante la plus sensible à l'action de la température, en particulier celui des cultures pérennes (arbres fruitiers et vigne). Un premier travail exploratoire (Domergue 2001) a mis effectivement en évidence une avancée significative (entre une et trois semaines sur trente ans) des dates de floraison des arbres fruitiers dans la vallée du Rhône. Il a été complété par les résultats de Ganichot (2002), faisant état d'une avance des dates de vendange de l'ordre de presque un mois en cinquante ans dans cette même région (Chateauneuf-du-Pape). Ces éléments nous ont conduit à susciter la collecte des observations phénologiques pour la mise en œuvre d'une base de données phénologiques, dénommée Phenoclim. Gérée par l'unité Agroclim de l'INRA d'Avignon, elle permet de disposer d'observations sur un grand nombre d'espèces (10 actuellement) et de variétés (de 3 à 8), collectées par des organismes de recherche ou professionnels au cours des vingt à trente dernières années. Les données sont analysées pour en tirer les caractéristiques d'évolution en fonction des espèces/ variétés et des localisations géographiques. Elles sont également utilisées pour estimer les paramètres des modèles de simulation des stades phénologiques et en déduire les conséquences pour la production.

Au niveau des cultures annuelles, les modalités d'extension de la base sont à l'étude. Le problème est plus complexe, car, en plus de la variabilité génétique, la phénologie est alors dépendante des techniques culturales (dates de semis et conditions d'implantation des cultures, qui dépendent des travaux du sol). S'il apparaît possible de collecter les observations effectuées dans les stations expérimentales pour la sélection variétale, celles-ci n'ont pas le

même domaine de signification que pour les cultures pérennes, et il apparaît nécessaire de les compléter par un recueil de l'évolution des pratiques culturales, ce qui passe par des enquêtes encore assez peu réalisées. Comme l'analyse de l'évolution temporelle des rendements disponibles au niveau des statistiques agricoles ne permet pas aisément la séparation des effets purement climatiques de ceux résultant des tendances technologiques (variétés, fertilisation, emploi d'herbicides et de fongicides), la meilleure solution paraît d'utiliser les modèles de simulation de culture, tels que STICS (Brisson et al 2003).

Résultats

Nous présentons ci-dessous quelques résultats illustrant les conséquences du réchauffement récent sur les arbres fruitiers (Fig. 1), la vigne (Fig. 2) et le blé (Fig. 3).

Evolution de la période de floraison (F2) de la poire Williams depuis 1962

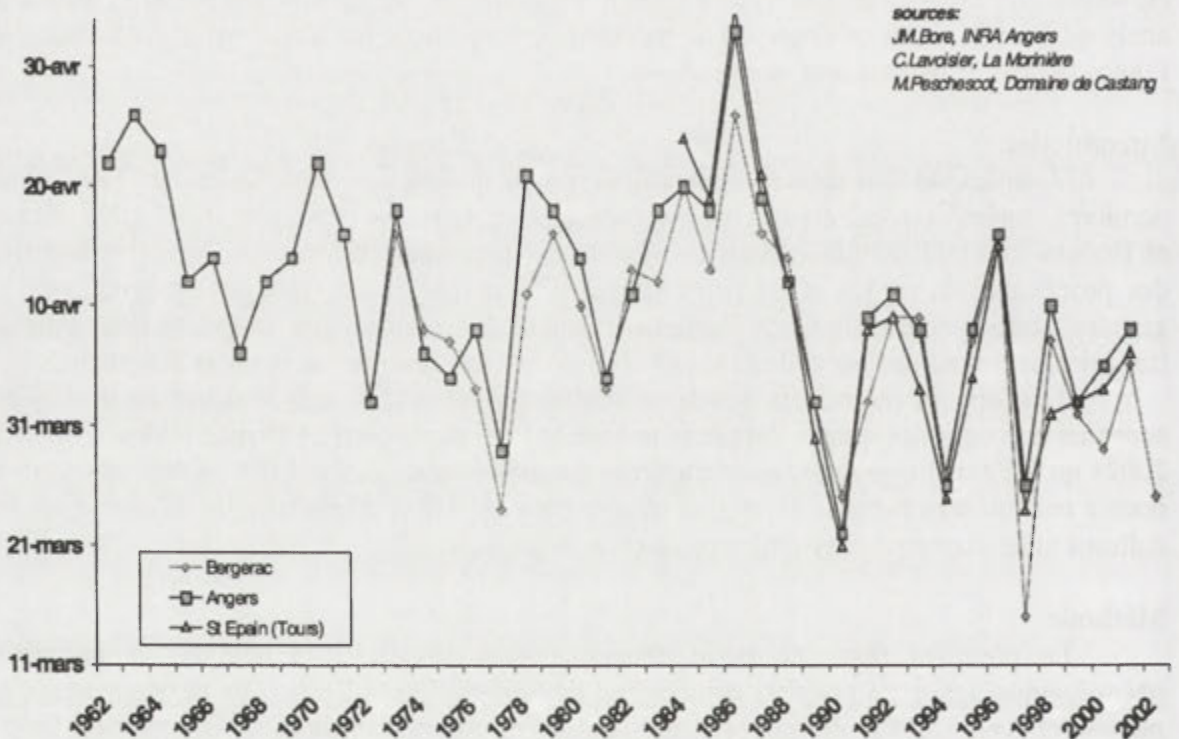


Fig. 1. D'après la base de données Phenoclim

La tendance à l'avancement significatif des dates de floraison sur la période des vingt dernières années apparaît clairement sur cet exemple, assez représentatif de l'évolution générale. Il en résulte des conséquences pratiques sur l'augmentation des risques de gel (le risque biologique accru par l'avance de végétation l'emporte sur la diminution du risque purement climatique) et des possibilités de baisse de rendement liées à des conditions moins favorables pour la fécondation ou la mise à fruit. Par ailleurs, certaines variétés d'espèces telles que l'abricotier ont fait apparaître, dans le sud de la France, des symptômes de dérèglement physiologique liés au manque de froid (Liennard 2003).

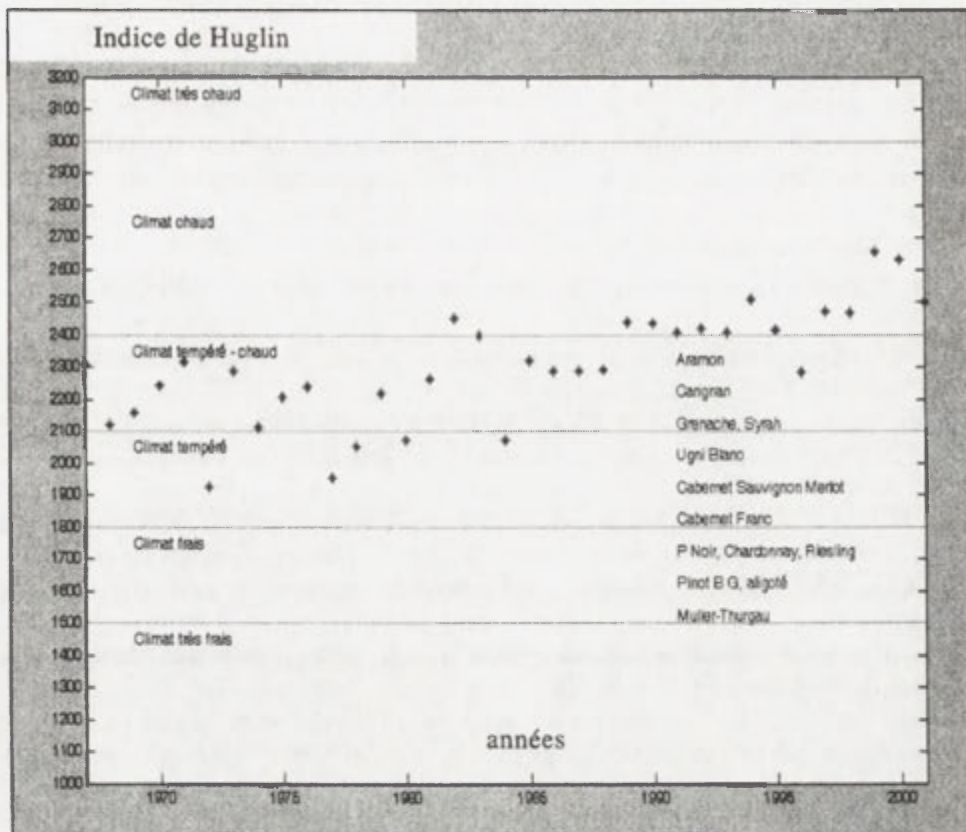


Fig. 2. Evolution de l'indice de Huglin pour la vigne à Avignon de 1965 à 2000, avec l'adaptation climatique des cépages

Dans le cas de la vigne, l'indice héliothermique de Huglin (1978), classiquement utilisé pour caractériser l'adaptation des cépages à un climat local donné, fait apparaître là aussi une nette évolution depuis environ 1985. Elle correspond à un passage de 'tempéré chaud' à 'chaud', avec une variabilité interannuelle plus faible, et des cépages bien adaptés localement tels que Grenache ou Syrah sont maintenant en limite de leur zone potentielle d'après les critères d'Huglin.

Pour le blé (Fig.3), si l'évolution est moins nette que pour les exemples précédents, il est possible de discerner une légère tendance à une augmentation de l'indice foliaire LAI à la floraison et du rendement, par ailleurs plus stable autour de 60 qx/ha, alors que la biomasse diminuerait plutôt... Ce premier résultat doit être complété par des études en cours.

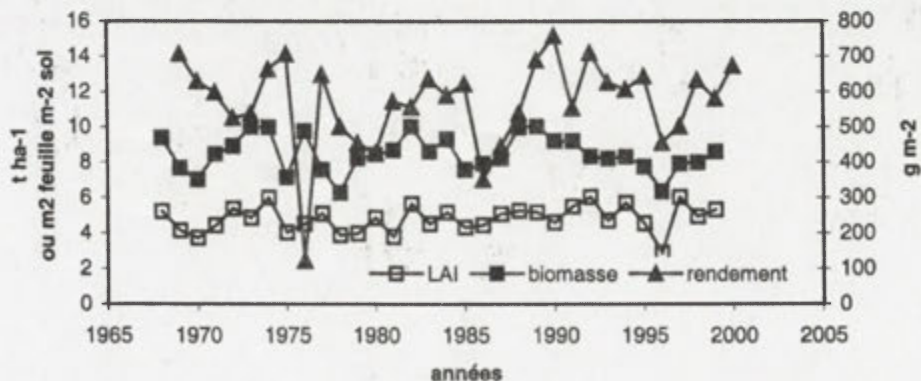


Fig. 3. Evolution des composantes du rendement simulées par le modèle STICS à Versailles pour le blé (1965-2000) en gardant le même système de culture (variété Soissons, sans irrigation, fertilisation 150 unités d'azote)

Conclusion

L'analyse du passé récent fait apparaître des évolutions notables de certaines productions agricoles. Leur analyse est nécessaire pour en quantifier les conséquences, mais aussi pour élaborer et caler les modèles qui permettent d'évaluer les effets des scénarios de réchauffement et les modalités d'adaptation à envisager pour l'agriculture en France.

Références bibliographiques

- BRISSON, N. et al (17 co-auteurs), 2003: An overview of the crop model STICS. *Eur. J Agron* ,18: 309-332.
- DELECOLLE, R., SOUSSANA, J.F. et LEGROS, J.P., 1999: Impacts attendus des changements climatiques sur l'agriculture française. *C.R. Acad. Agric.Fr.*,85: 45-51.
- DOMERGUE, M., 2001: *Impact du réchauffement climatique sur le parcours phénologique d'espèces/variétés fruitières dans la vallée du Rhône* .Mémoire de stage ESITPA Le Vaudreuil-INRA Avignon.
- GANICHOT, B., 2002: Evolution de la date des vendanges dans les Côtes du Rhône méridionales. *Actes des 6èmes rencontres rhodaniennes, Institut Rhodanien, Orange*: 38-41.
- GIEC/ IPCC, 2001: *Climate change 2001: impacts, adaptation and vulnerability*. Cambridge University Press.
- HUGLIN, P., 1978: Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermiques de la vigne.*C.R.Acad.Agric.Fr.*,1117-1126.
- LIENNARD, M.E., 2002: *Contribution à l'étude de la prévision de la précocité de floraison et du déterminisme climatique des nécroses florales de l'abricotier*. Mémoire de stage INH Angers - INRA Avignon.
- MOISSELIN, J.M, SCHNEIDER, M.,CANELLAS, M .et MESTRE, C.O., 2002: Les changements climatiques en France au XX° siècle: étude des longues séries homogénéisées de température et de précipitations, *La Météorologie*, 38: 45-56.
- REDDY, K.R. et HODGES, H.F., 2000: *Climate change and global crop productivity*. CABI Publishing, Wallingford.
- ROSENSWEIG, C. et HILLEL, D., 1998: *Climate change and the global harvest*, Oxford University Press, Oxford.
- SOUSSANA, J.F., 2001: Changement climatique. Impacts possibles sur l'agriculture et adaptations possibles, (dans:) *Demeter*, Armand Colin, Paris: 195-222.

L'ÉVÉNEMENT QUOTIDIEN EXTRÊME DU 19 SEPTEMBRE 2000 À MARSEILLE (FRANCE)

Annick DOUGUEDROIT

Institut de Géographie, UMR 6012 ESPACE, Université de Provence

29, Avenue Robert Schuman, 13621 Aix-en-Provence, France

annick.douguedroit@up.univ-aix.fr

Mots clés: climat méditerranéen, précipitations extrêmes, précipitations convectives, MCS, Marseille (France)

Abstract: The rainfall event happened on September 2000 the 19th over Marseille (France) belongs to the extreme ones. A meso-scale map of the spatial distribution of the precipitation totals with a core where more than 200 mm has fallen has been drawn by kriging. Indications of a Meso-convective System can be found in the atmospheric circulation.

Introduction

Les rives septentrionales de la Méditerranée sont réputées pour la concentration de leurs précipitations exceptionnelles, avec des épisodes particulièrement intenses, de l'ordre de 2 à 300 mm en quelques heures. 144 épisodes de pluies diluviennes (plus de 200 mm en 24h) se sont produits en région méditerranéenne française entre 1958 et 1994. Ils affectent beaucoup plus les régions à l'ouest du Rhône que celles de l'est où on n'en note que 27 (Jacq, 1996). Ce sont surtout des phénomènes d'automne. Le maximum cité de 780 mm en Corse (Giorgetti et al., 1994) est sans doute battu par le célèbre épisode du 17/10/1940 dans les Pyrénées Orientales (Jacq, 1996). Les inondations et dégâts provoqués par de tels abats d'eau ont amené la communauté scientifique à en rechercher les causes à des fins de prédiction (Riosalido, 1990, Barret et al., 1994, Rivrain, 1997).

L'épisode du 19/09/2000 à Marseille (Fig. 1) dépasse tout juste 200 mm. L'intérêt de son étude est ailleurs: la densité du réseau de capteurs dépendant de la ville permet d'approcher sa répartition spatiale et son évolution dans le temps à un pas de temps fin.

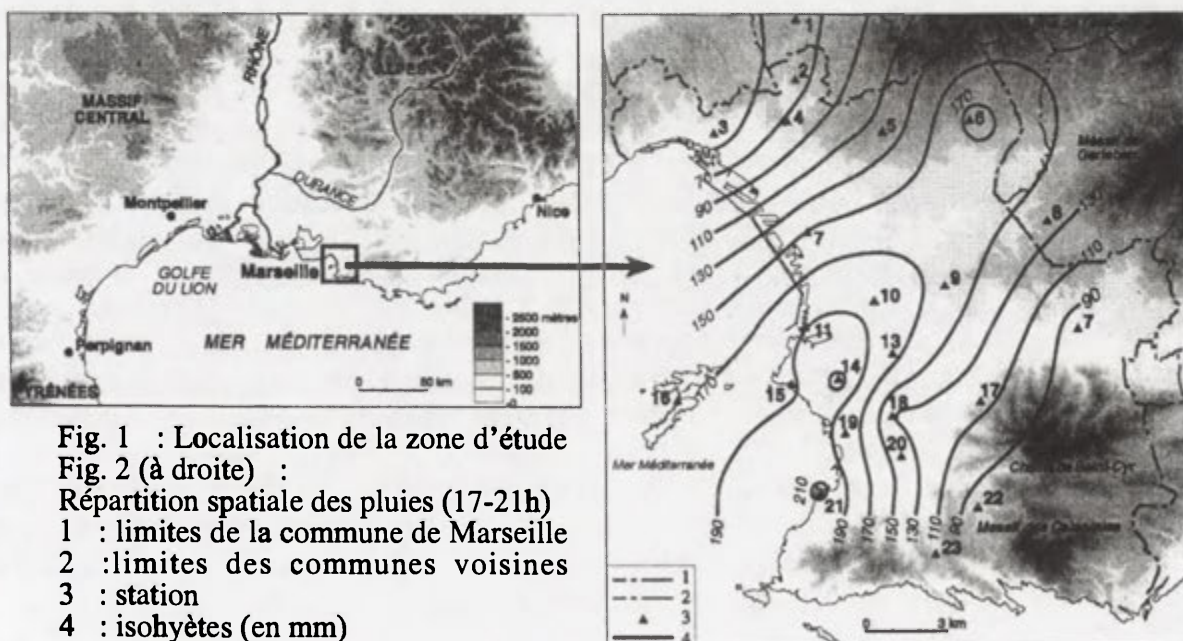


Fig. 1 : Localisation de la zone d'étude

Fig. 2 (à droite) :

Répartition spatiale des pluies (17-21h)

1 : limites de la commune de Marseille

2 : limites des communes voisines

3 : station

4 : isohyètes (en mm)

Données et méthodes

Le réseau de mesures utilisé est celui de la SERAM (Société d'Exploitation du Réseau d'Assainissement de la ville de Marseille). Il comprend 23 postes (Fig. 2 et Tabl. 1) dont 19 ont fonctionné pendant la totalité de l'épisode et 4 pendant une partie (n° 10, 16, 19 et 23). Il s'agit de pluviographes, principalement à augets basculeurs, installés sur des toits en terrasse de hauteur variable au-dessus du sol (2m50 à 6m, sauf Timone) et sans phénomène d'abri remarquable en général. Les données n'ont néanmoins pas été corrigées alors qu'il est connu que, même en situation recommandée par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM), les pluviographes sous-estiment la quantité de pluie tombée de façon variable, selon les conditions de vent en particulier. Les totaux sont calculés toutes les 6 minutes, pas de temps conservé ici. Les isohyètes ont été interpolés par krigeage (logiciel SURFER).

Tableau 1. Localisation (n°: numéro) et altitude en mètres (alt.) des stations

n°	Nom	alt.	n°	Nom	alt.	n°	Nom	alt.
1	Septèmes	235	9	St Barnabé	135	17	Saint Cyr	156
2	Hôpital Nord	176	10	Longchamp	78	18	Pugette	17
3	Saint Henri	41	11	Tourette	8	19	Joseph Vernet	7
4	Chaillan	112	12	La Valentine	72	20	Bonnaude	30
5	Vallon Dol	270	13	Timone	60	21	Nereïdes	6
6	Château-Gombert	245	14	Vauban	96	22	Luminy	180
7	Aygalades	20	15	Marégraphe	13	23	Puits 1	104
8	Allauch	190	16	Frioul	7			

Résultats

- Deux averses successives entre 17h et 21h.

Les deux averses consécutives sont tombées pour l'essentiel sur la commune de Marseille (Fig. 2). Le noyau des précipitations maximales, un peu plus de 200 mm en 4 heures, se serait étendu au-dessus de la rade, du littoral et un peu sur terre vers le nord selon un axe de direction SSW-NNE, peut-être d'une dizaine de kms de long et de 2, voire un peu plus, de large. Sa limite nord-est est à peu près calée grâce à une estimation de la seconde averse à la station 10 qui a cessé de fonctionner à 18h06. L'absence de données sur mer et au sud rend délicate les tentatives de tracé d'isohyètes dans ces directions. La station 23, la plus méridionale, présente jusqu'à 17h48, heure à laquelle elle a cessé de fonctionner, une évolution semblable à celle du poste 22. Elle se serait trouvée hors du noyau le plus arrosé, contrairement à ce qu'indiquent, en l'absence de données dans ce secteur, les tracés automatiques. En retenant cette hypothèse, on pourrait considérer que le noyau où les pluies ont dépassé 200mm en 4 heures couvre une surface de l'ordre d'une vingtaine de km². D'après les relevés des stations 14 et 21 le maximum absolu est au moins égal à 212 ; comme la probabilité qu'il soit exactement tombé sur le capteur d'une des 2 stations est extrêmement faible, il est sans doute supérieur, sans qu'il soit possible de dire de combien. Les totaux de pluie diminuent rapidement vers le nord-ouest et le sud-est ; le maximum se prolonge vers le NNE, dans l'axe du noyau des précipitations maximales, par un secteur de pluies encore fortes, sans doute associé à un forçage orographique sur le rebord de la cuvette marseillaise (station 6). Si l'on retient encore une fois l'hypothèse relative à la station 23 formulée plus haut, une surface de l'ordre de 200 km² aurait reçu plus de 100 mm en 4 heures.

Ce total représente le cumul de 2 averses successives, de 17 à 19h et de 19 à 21h. Leur noyau de fortes précipitations est stable dans le double sens du total tombé (100 mm ou un peu plus) et de sa répartition dans l'espace (stations 14 et 21). La première averse affecte plus les stations orientales et la seconde celles du nord (Fig. 3).

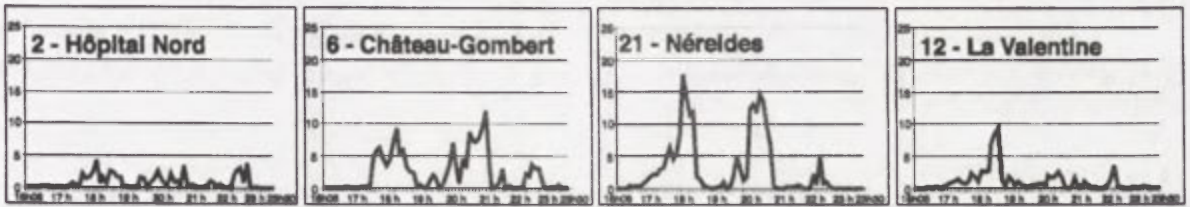


Fig. 3. Evolution des précipitations à 4 stations (pas de 6 minutes)

- Le type de circulation synoptique

Les cartes de surface et du niveau 500hPa du jour (Météo-Hebdo 2000) montrent une circulation synoptique dont les traits sont courants lors des situations à fortes précipitations dans le sud-est de la France. Une onde profonde de Rossby avec une grande goutte froide méridienne située sur l'ouest de la France et l'Espagne le 19 à 12h progresse vers l'est dans la journée (Fig. 4). Au sol une perturbation passe au-dessus de la Provence dans l'après-midi du même jour.

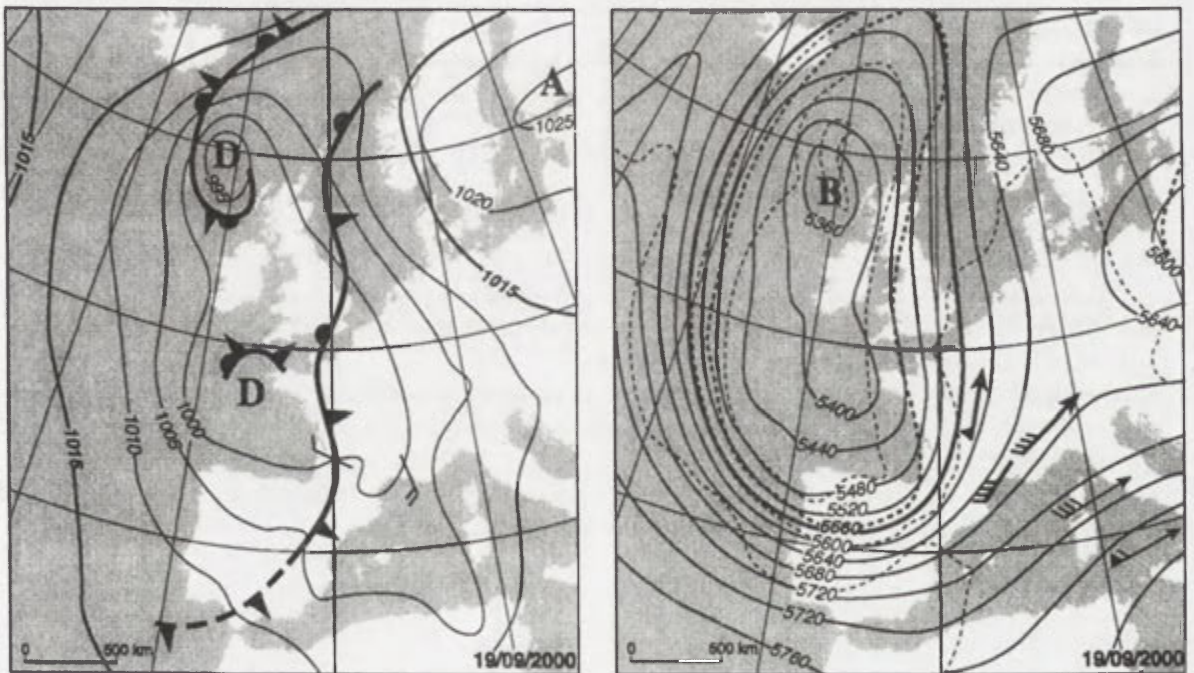


Fig. 4. Situation atmosphérique le 19 septembre 2000 à 12h UTC
A gauche: au sol, à droite: à 500 hPa (d'après Météo-Hebdo)

Certaines particularités de cette situation peuvent être présentées comme des indices d'une intense activité convective. Sur le flanc est de l'onde, une nette diffluence affecte les flux venant du sud, favorisant cyclogénèse et convection associée. De plus la différence de température entre l'air froid et chaud est puissante (12° de différence entre l'air au-dessus des Golfs de Gascogne et du Lion en altitude et au sol); l'air chaud chargé d'humidité après son passage au-dessus de la Méditerranée est potentiellement très instable. Côté vent, un cisaillement tournant en altitude est repérable entre les vents de sud-est au sol et de sud-ouest à 500 hPa au niveau du radio-sondage de Nîmes. Ces trois caractéristiques se retrouvent dans les situations au sein desquelles apparaissent des systèmes convectifs à méso-échelle (MCS). Il s'agit de structures orageuses spécifiques particulièrement violentes (Maddox, 1980, Riosalido, 1990, Rivrain, 1997). En l'absence de renseignements complémentaires sur la circulation aux niveaux intermédiaires, seules les images radar et satellites permettent d'affirmer que c'est bien le cas.

On a bien eu affaire à une persistance spatiale du noyau de forte activité convective (à l'origine d'un total de pluie dépassant 200 mm en 4 heures), ce qui est bien l'une des caractéristiques des MCS.

Conclusions

La commune de Marseille a connu le 19 septembre 2000 dans l'après-midi des précipitations exceptionnelles tombées en 4 heures qui ont dépassé 200 mm. Même si les installations des stations du réseau de la SERAM ne sont pas conformes aux normes OMM, elles n'en permettent pas moins d'approcher la répartition spatiale et l'évolution temporelle de cet événement à meso-échelle χ . Le maximum, inconnu, a dépassé 210 mm; une aire de l'ordre d'une vingtaine de km^2 a reçu en 4 heures plus de 200 mm répartis en 2 averses successives. Et peut-être 200 km^2 ont été concernés par plus de 100 mm. Cette étude permet de bien souligner, grâce à la densité du réseau, combien est limitée dans l'espace l'extension de ces noyaux d'intenses précipitations convectives à meso-échelle et ainsi avec quelle facilité ils peuvent passer entre les mailles du réseau météorologique français.

Bibliographie

- BARRET, I., JACQ, V., et RIVRAIN, J.-C., 1994: Une situation à l'origine de pluies diluviennes en région méditerranéenne: l'épisode orageux des 22 et 23 septembre 1993 sur le sud-est de la France, *La Météorologie*, 8^{ème} série, 7: 38-60.
- GIOGETTI, J.-P., JACQ, V., JOURDAN, R., PALANQUI, J.-P., RIVRAIN, J.-C., BOERI, F., et GAUTHIER, A., 1994: Les pluies diluviennes et les inondations des 31 octobre et 1^{er} novembre 1993 en Corse. Etude descriptive, *La Météorologie*, 8^{ème} série, 6: 9-30.
- JACQ, V., 1996: Inventaire des situations à précipitations diluviennes en Languedoc-Roussillon/PACA/Corse. Période 1958-1994 *Phénomènes remarquables*, 3. Météo-France.
- MADDOX, R.A., 1980: Mesoscale convective complexes, *Bull. Ass. Meteor. Soc.*, 61: 1374-1387.
- METEO-FRANCE, 2000: *Météo-Hebdo*, 2000, 37.
- RIOSALIDO, R., 1990: *Estudios sobre algunos parametros atmosféricos asociados a la formacion y evolucion de sistemas convectivos de mesoscala*, Segundo Simposio Nacional de predicion de INM, Madrid: 369-382.
- RIVRAIN, 1997: Les épisodes orageux à précipitations extrêmes sur les régions méditerranéennes de la France, *Phénomènes remarquables*, 4, Météo-France.

SUIVI DE LA SAISON DES PLUIES 1999-2000 AU MATO GROSSO (BRÉSIL) PAR IMAGERIE INFRAROUGE GOES

Vincent DUBREUIL*, Anne JALLET*, Virginie JUMEAU*, Josyane RONCHAIL**

* COSTEL / LETG - UMR 6554 CNRS, Université Rennes 2; vincent.dubreuil@uhb.fr

** IRD / Agência Nacional da Água, Brasília; josyane@ana.gov.br

Mots clés: précipitations, télédétection, Amazonie

Abstract: We used images from geostationary satellites GOES for estimating monthly rainfall in the state of Mato Grosso in western central Brazil. Infrared data were compared to ground measurements for about 200 stations. In this greatest pioneer front of Amazonia, the results obtained with occurrence of high-level-clouds were better than those calculated with maximum temperature compositing.

1. Introduction

Dans le cadre de l'agriculture pluviale tropicale, la durée et l'intensité de la saison des pluies sont des données cruciales pour permettre aux agriculteurs de tirer les meilleurs rendements de leurs terres. Dans les régions des fronts pionniers du centre du Mato Grosso, les productions implantées par les colons depuis une vingtaine d'années sont dominées par le soja, la canne à sucre, le coton et le maïs (Dubreuil, 2002). Cette dernière culture est surtout pratiquée en fin de saison pluvieuse, après la récolte principale. Plantée en février et généralement récoltée en mai, cette seconde récolte de l'année (*safrinha*) est particulièrement compromise en cas de faibles précipitations: les rendements moyens n'atteignent alors même pas 18 quintaux à l'hectare contre le double en année pluvieuse. L'estimation à échelle fine des précipitations devient alors essentielle pour le suivi et la qualité de ces cultures. La faible densité du réseau d'observation au sol impose le recours aux données satellitaires pour une spatialisation à échelle fine de la pluviométrie.

2. Données et méthodes

La connaissance climatologique de la partie méridionale de l'Amazonie brésilienne est très lacunaire (Nimer, 1989). Les postes de mesures sont peu nombreux, souvent peu entretenus et n'ont été installés que depuis les années 1970, lors des débuts de la colonisation agricole (Sette, 2000). Sur un espace de plus d'un million de kilomètres carrés, seules les données d'une dizaine de postes de l'INMET avaient pu être utilisées lors d'une première étude (Dubreuil et al., 2000). Depuis quelques années, des données de postes complémentaires ont pu être collectées dans le cadre du programme HiBAM de l'IRD en collaboration avec l'ANEEL (Agence Nationale de l'Eau et l'Electricité) et l'ANA (Agence Nationale de l'Eau). Sur la région d'étude représentant un cadre de 15° de longitude sur 15° de latitude c'est maintenant près de 200 postes dont les mesures de précipitations sont disponibles. Cela ne représente cependant qu'un point de mesure pour environ 15000 km², ce qui reste insuffisant pour une étude à l'échelle régionale.

Pour résoudre ce problème, en zone tropicale, des estimations de précipitations à partir des images infrarouges fournies par les satellites géostationnaires sont réalisées depuis longtemps (Arkin, Janowiak, 1993; Guillot et al., 1994). Les tests et validations ont cependant surtout privilégié l'échelle continentale (l'Afrique, l'Amérique). A plus grande l'échelle, les travaux se sont souvent heurtés à la très forte variabilité spatio-temporelle des pluies tropicales. Nous avons choisi d'utiliser les données infrarouges GOES-8 à pleine résolution (4 km) pour essayer de répondre à cette question. Les données ont été acquises au pas de temps tri-horaire et traitées à l'antenne IRD du CMS de Lannion à partir de septembre 1999. Un premier jeu de données a été constitué en retenant pour chaque journée la valeur maximale de la température observée pour chaque pixel: en synthétisant au pas de temps décadaire ou

mensuel on élimine les effets atmosphériques et les nuages afin de ne conserver que l'émission en provenance du sol dont l'intensité est surtout fonction de la nature du couvert végétal et de son alimentation en eau (donc des pluies qu'il a reçu). Un second jeu de données a été constitué en seillant les mêmes images à partir de -40°C : ainsi, l'occurrence des nuages à sommet froid (de type convectifs et donc supposés apporter des précipitations) peut être également suivie au pas de temps mensuel (Fig. 1). Nous présentons ici les résultats obtenus pour la période de septembre 1999 à août 2000.

3. Résultats

Les coefficients de corrélation mensuels (Tabl. 1) calculés pour chacun des mois montrent qu'un lien existe entre données satellitaires et précipitations au sol: dans tous les cas, l'augmentation de la fréquence des occurrences de nuages à sommet froid et des observations de températures de surface plus basses est synonyme d'une plus forte pluviométrie. Mais au-delà de cette cohérence des signes des corrélations, le lien entre précipitations et données satellitaires n'est pas toujours significatif: les corrélations sont meilleures en début et en fin de saison pluvieuse, moins bonnes au cœur de la saison des pluies (à l'exception notable du mois de janvier 2000). De manière générale, les précipitations sont mieux corrélées aux occurrences de nuages à sommet froid qu'avec les températures maximales de surface. Si on utilise les deux paramètres satellitaires pour calculer une régression multiple et estimer les précipitations, les coefficients de corrélation sont bons ($r > 0.7$) pour 4 mois sur 12 mais restent médiocres pour 4 mois également.

Tableau 1. Coefficients de corrélations (r) entre les pluies mesurées au sol et les données infrarouges GOES (en gras les coefficients supérieurs à 0.6)

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
<i>Obs.</i>	197	197	188	171	190	170	175	179	184	206	207	206
<i>Occ</i>	0.60	0.42	0.41	0.58	0.67	0.26	0.23	0.64	0.81	0.85	0.67	0.61
<i>TbMax</i>	-0.48	-0.13	-0.42	-0.59	-0.60	-0.24	-0.15	-0.64	-0.60	-0.50	-0.65	-0.35
<i>Oc+Tb</i>	0.61	0.43	0.44	0.64	0.71	0.45	0.27	0.68	0.81	0.85	0.72	0.63

Obs. = nombre de stations utilisées

Occ = occurrences mensuelles des nuages à sommet froid

TbMax = Température maximale de brillance mensuelle

Oc+Tb = régression multiple avec occurrences et TbMax

Pour l'ensemble de l'année 1999-2000, en tenant compte de l'ensemble des observations pluviométriques et de toutes les données satellitaires mensuelles, on obtient une corrélation de 0.857 avec les occurrences de nuages à sommet froid et de -0.647 avec les températures de brillance. L'estimation des précipitations par satellite doit donc privilégier la première méthode, la seconde ne contribuant guère à augmenter significativement la corrélation multiple ($r=0.865$). La corrélation plus faible obtenue avec les températures de surface doit être mise en relation avec l'hétérogénéité des types d'occupation du sol (marécages au sud, savanes au centre, forêts et front pionnier avec défrichements intenses au nord): les synthèses mensuelles reflètent donc davantage la nature des paysages et de la végétation que la manière dont réagit le couvert à la pluviométrie. En revanche, quelle que soit l'occupation du sol, le paramètre «occurrences de nuages à sommet froid» reste un bon indicateur du volume précipité: cette donnée permet également de retrouver les contours de certains massifs orographiques (Chapada dos Parecis, Serra do Cachimbo) présents dans la région dont la pluviométrie moyenne est effectivement plus élevée que les bas plateaux environnants (Durieux, 2002).

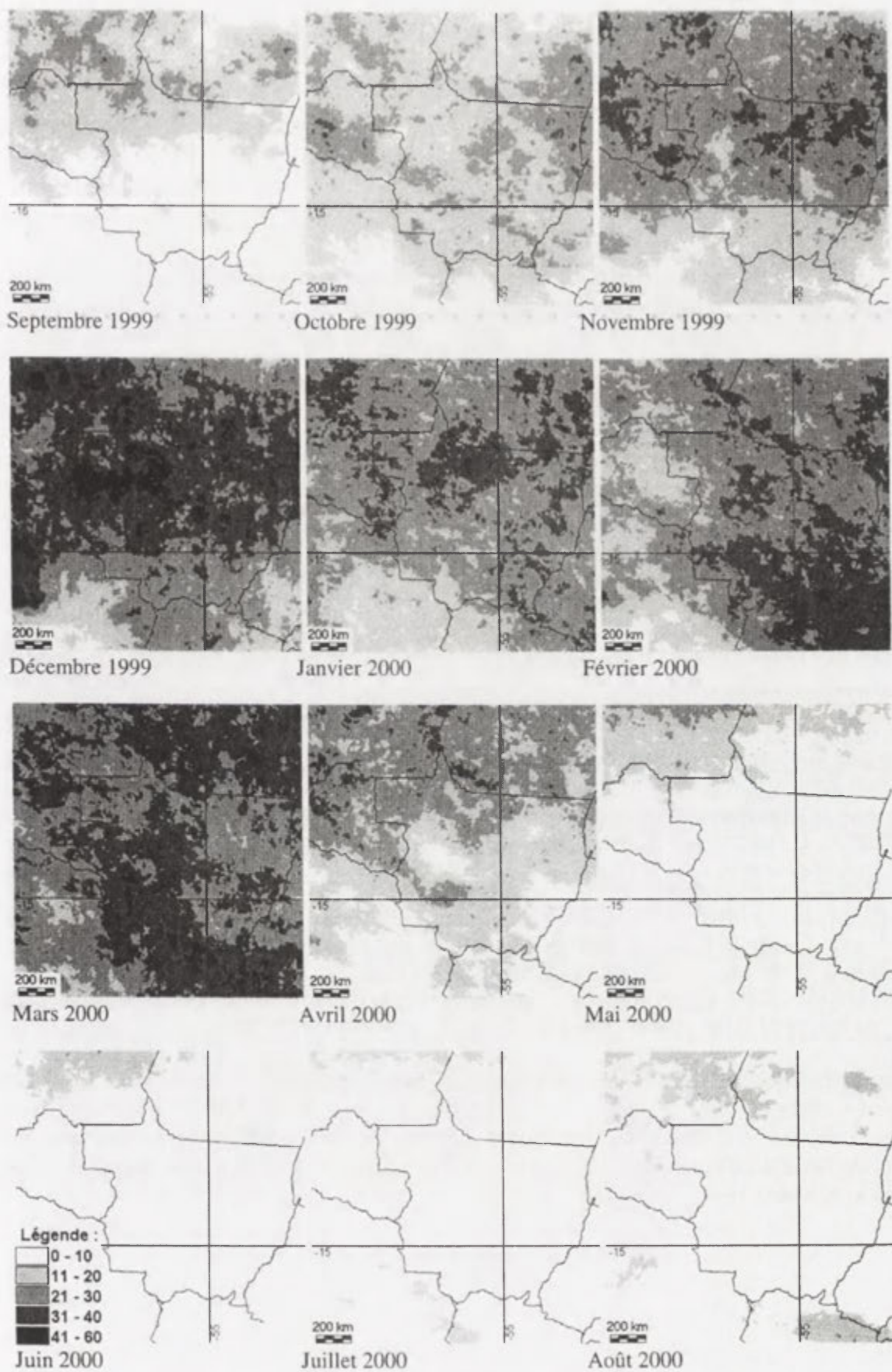


Fig. 1. Occurrences mensuelles des nuages à sommet froid

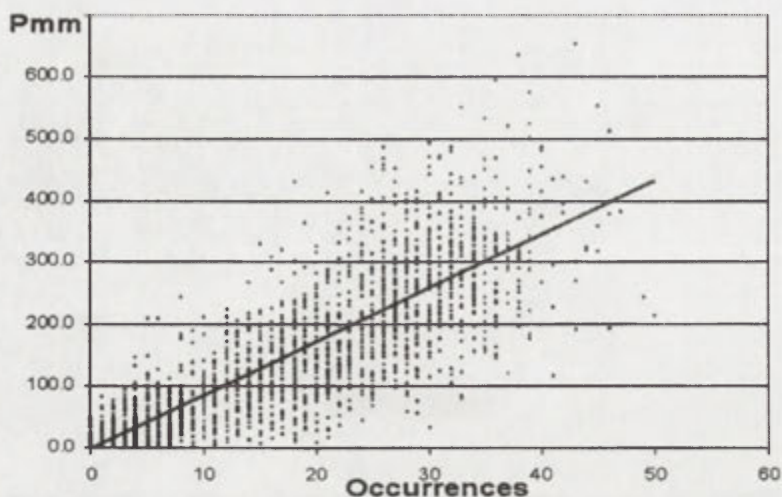


Fig. 2. Précipitations et occurrences de nuages à sommet froid (sept.1999-août 2000)

Conclusion:

Au Mato Grosso, sur la période de septembre 1999 à août 2000, la confrontation entre les précipitations au sol et les données satellitaires infrarouge GOES montrent que les pluies sont mieux corrélées aux occurrences des nuages à sommet froid qu'avec les températures maximales que ce soit au pas de temps mensuel comme pour l'ensemble de l'année.

Bibliographie

- ARKIN, P.A. et JANOWIAK, J.E., 1993: Tropical and Subtropical precipitation, in «*Atlas of satellite observations related to global change*» Ed.by R.J.Gurney, J.L.Foster, C.L.Parkinson; Cambridge University Press, 165-180.
- DUBREUIL, V. (dir.), 2002: *Environnement et télédétection au Brésil*; Presses Universitaires de Rennes.
- DUBREUIL, V., LECAMUS, A., DAGORNE, D. et MAITELLI, G.T., 2000: Apport des satellites géostationnaires GOES pour l'étude du climat du Mato Grosso, Brésil; *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, Volume 13, 401-409.
- DURIEUX, L., 2002: *Etude des relations entre les caractéristiques géographiques de la surface et les nuages convectifs dans la région de l'arc de déforestation en Amazonie*; Thèse de Doctorat de l'Université d'Aix-Marseille I.
- GUILLOT, B., LAHUEC, J.P. et DAGORNE, D., 1994: *Satellite et surveillance du climat. Atlas de veille climatique: 1986-1994*; ORSTOM-Météo-France, Paris.
- NIMER, E., 1989: *Climatologia do Brasil*, IBGE, Rio de Janeiro.
- SETTE, D.M., 2000: *O holorrítmo e as interações tropico-extretropico na gênese do clima e as paisagens do Mato Grosso*, thèse de Doctorat de l'Université de Sao Paulo.

Remerciements: les auteurs tiennent à remercier Dominique Dagorne de l'IRD (Lannion) et Pascal Gouery (COSTEL, Rennes 2) pour l'acquisition et le pré-traitement des images ainsi que Andrelina de Santos et Waldemar Guimaraes (ANA-SIH, Superintendencia de Informações Hidrológicas) et Gilda Maitelli (UFMT, Cuiaba) pour la fourniture des données climatologiques.

IMPACT DES BRISES DE MER ET DE TERRE SUR LA POLLUTION PHOTOCHIMIQUE URBAINE

Aurélie DUDOUIT

Laboratoire GEOPHEN – LETG – UMR 6554 CNRS – Université de Caen Basse-Normandie,
Esplanade de la paix BP 5186, 14032 Caen cedex, France
dudouit@geo.unicaen.fr

Mots clés: climatologie urbaine, pollution photochimique, brises de mer et de terre, Calvados, France

Abstract: The aim of this paper is to describe the time and space variations of the ozone in a coastal urban area. The sea breezes and the land breezes are important to explain the pollutant's transport and in their distribution.

Introduction

Durant ces dernières décennies, l'activité humaine n'a cessé de croître modifiant de façon significative et durable l'environnement naturel. La multiplication des pollutions d'origines diverses, dont les conséquences sont parfois spectaculaires et dramatiques, a fait prendre conscience à nos sociétés modernes de l'importance du respect de l'environnement. Toutefois, parallèlement à la mise en place de la Loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie du 30 décembre 1996, des recherches fondamentales et appliquées sont nécessaires pour concevoir des outils d'analyse permettant de caractériser plus précisément les phénomènes de pollution atmosphérique.

Dans le but de développer les acquis sur la qualité de l'air en matière de surveillance et des effets de la pollution photochimique sur la santé et l'environnement dans le Calvados, une étude a été initiée en collaboration avec Météo-France et Air C.O.M. (organisme s'occupant de la surveillance de la qualité de l'air en Basse-Normandie).

L'objectif général est de comprendre la distribution spatio-temporelle de l'ozone dans une zone urbaine proche de la côte, où les circulations de brise vont jouer un rôle majeur dans le transport et la redistribution des polluants. En effet, comme toute région littorale, l'agglomération caennaise est soumise à ces circulations alternatives d'échelle fine qui déterminent fortement l'occurrence et l'intensité des épisodes de pollution atmosphérique en général, et les problèmes de pollution photochimique (ozone) en particulier.

Le projet d'étude a pour objectif de mieux connaître le phénomène des brises afin d'affiner les prévisions météorologiques et ainsi mieux prévoir les risques de pollution photochimique pour en réduire les conséquences sur l'environnement et la santé des habitants.

Méthode

Ce travail tente de déterminer la distribution spatiale de l'ozone par temps de brise sur le littoral de la Côte de nacre. Ce littoral fournit un espace pertinent d'application car les brises et les épisodes de pollution y apparaissent de manière récurrente mais également les réseaux de surveillance de la qualité de l'air et des mesures météorologiques y sont de qualité. Ce travail passe par:

- Une analyse statistique des séries de données météorologiques et de polluants. La première étape fût de déterminer les journées pour lesquelles les différentes normes et valeurs guides fixées pour l'ozone, pour la protection de la santé et de l'environnement, ont été dépassées. Nous avons donc étudié les concentrations d'ozone horaires atteintes aux différentes stations de l'agglomération caennaise (Fig. 1) sur une période de 8 ans. Les dépassements ayant lieu majoritairement en période de brise de mer et de terre nous avons répertorié toutes les journées de brise sur une période de 10 ans afin de comprendre le fonctionnement de ces circulations et leur rôle dans l'apparition des pics d'ozone.

- L'acquisition de données météorologiques et de polluants par des mesures intensives de terrain. Afin de compléter les données et observations de l'étude statistique des journées de brise et des concentrations d'ozone, d'explorer des zones non documentées aujourd'hui, une campagne de terrain a été mise en place (du 1^{er} avril au 30 septembre 2003). Le réseau de données expérimentales est composé de onze points de mesures météorologiques et de sept points de mesures de polluants disposés le long de quatre transects (Fig. 1). Le but étant de déterminer les paramètres météorologiques prédominants dans le déclenchement d'une journée de brise et des pics d'ozone.

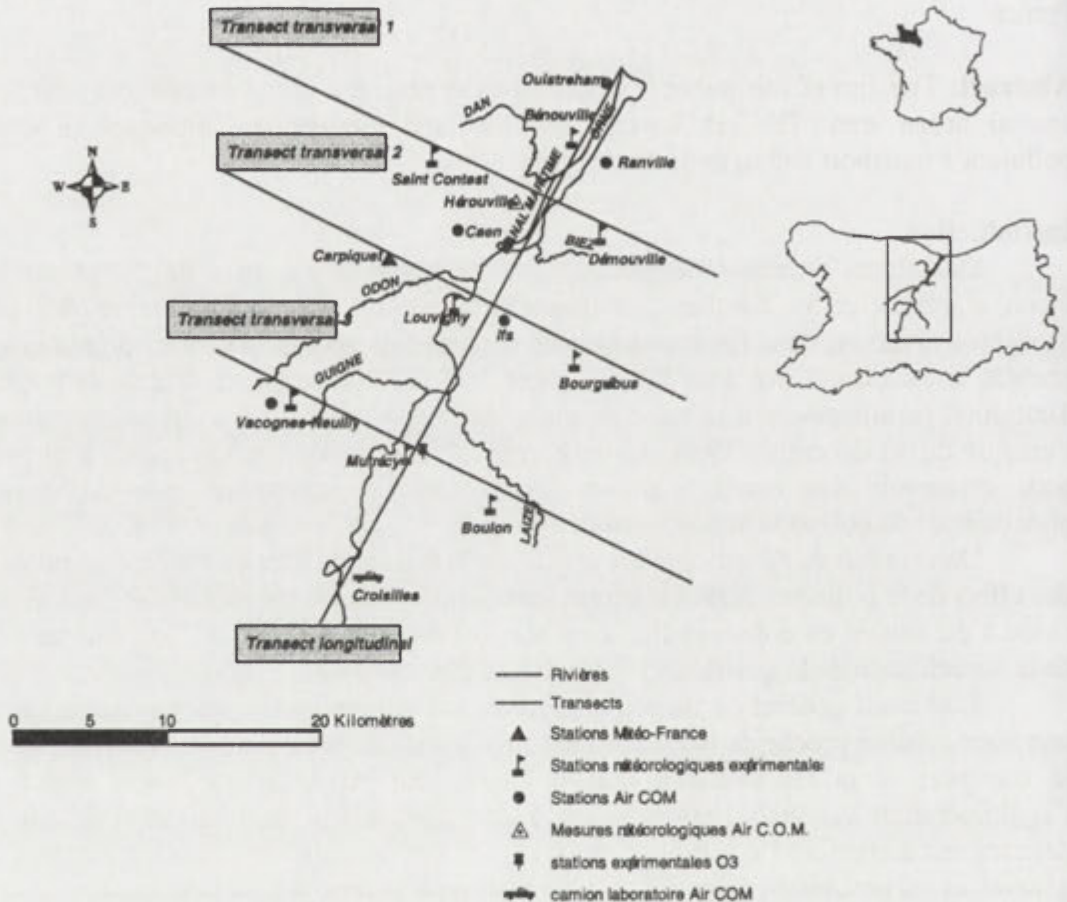


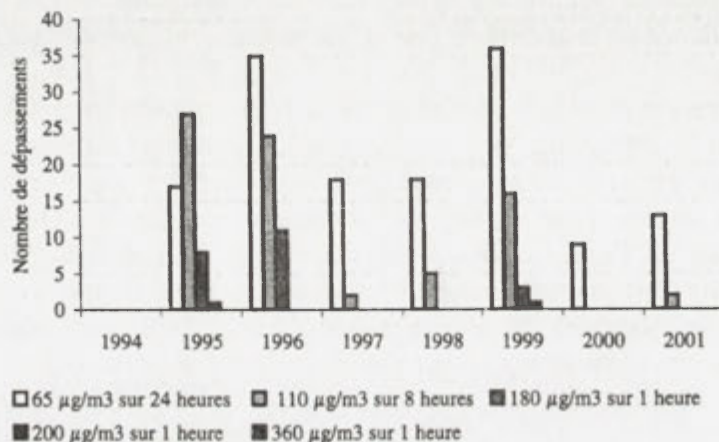
Fig. 1. Présentation de la zone d'étude et des stations de mesures météorologiques et d'ozone

Résultats:

1. La pollution photochimique dans l'agglomération caennaise

Les dépassements des normes et valeurs guides fixées pour l'ozone ont lieu, dans 95% des cas, par circulation de brises (Fig. 2).

Fig. 2. Nombre de dépassements des normes fixées pour l'ozone à la station urbaine de la Tour Leroy entre 1994 et 2001



Ils se produisent principalement entre le mois de mai et le mois d'août, période durant laquelle le rayonnement solaire est maximum en Normandie. Les concentrations d'ozone suivent également une organisation spatio-temporelle particulière au sein de l'agglomération. Nous pouvons en effet retenir que les concentrations d'ozone atteintes durant une journée de dépassement, et la durée de ce dépassement, sont plus élevées aux stations périurbaines (Ranville et Caen sud) et à la station littorale (Ouistreham) qu'à la station urbaine (Tour Leroy). Cette situation peut s'expliquer par la destruction locale de l'ozone par le NO émis par le trafic autoroutier ou routier plus important en centre ville qu'à la périphérie de Caen. De plus, la station située au sud de Caen est sous le panache des pollutions urbaines par brise de nord-est, et reçoit par conséquent les émissions du centre ville. D'autre part, le maximum de concentration d'ozone horaire atteint lors des journées de dépassements apparaît successivement à la station littorale, puis aux stations périurbaines situées au nord de Caen, à la station urbaine de Caen, et enfin à la station périurbaine située au sud de Caen, selon la progression du front de brise depuis le littoral vers l'intérieur des terres.

Par ailleurs, il convient de s'interroger sur le rôle exact des brises dans l'apparition des épisodes de pollution photochimique et la possibilité de développer une prévision opérationnelle de ces circulations.

2. Circulations de brise de mer et de terre sur la Côte de Nacre

2.1. Analyse rétrospective des journées de brise

Dans le but d'effectuer une étude exploratoire de chaque brise recensée, le Centre Départemental Météorologique (Météo France) de Caen-Carpiquet fût choisi comme station de référence parce qu'il dispose de la base de données horaire la plus importante du Calvados. De même, Caen est le seul site du département qui dispose d'une importante base de données de concentrations de polluants horaires pouvant être croisée avec celle des données météorologiques.

Dans un premier temps, nous avons réalisé une analyse des données numériques horaires de la direction et de la vitesse du vent des mois d'avril à septembre sur la période 1993-2002. Nous avons ensuite confronté les résultats obtenus avec les enregistrements horaires de la température de l'air (°C), de l'humidité relative (%) et de la pression atmosphérique mesurée au niveau de la mer (hPa) afin de valider les journées retenues avec les seules données de la direction et de la vitesse du vent et ainsi affiner notre sélection des journées de brise. Nous avons ainsi isolé 161 journées pour lesquelles nous avons dressé un inventaire des différentes situations synoptiques rencontrées. Ce travail est basé sur l'analyse des bulletins météorologiques européens en surface et en altitude à 850 hPa. Pour chacun de ces deux niveaux d'analyses nous avons distingué trois grandes classes de situations: les situations anticycloniques et de dorsale anticyclonique, les situations de marais barométrique et les situations dépressionnaires à faible gradient. Les situations anticycloniques sont celles qui ont été le plus souvent observées. C'est pourquoi, nous avons affiné notre travail en divisant cette classe en trois groupes selon la position longitudinale et latitudinale de l'anticyclone (Damato, 2000).

Nous avons ensuite analysé l'évolution de la direction du vent au cours de chaque journée de brise dans le but de comprendre la répartition spatiale et temporelle des polluants. En effet, le vent, et particulièrement sa direction et son évolution, est un élément indispensable à prendre en compte dans l'explication du transport et de la redistribution de la pollution émise depuis la zone urbaine de Caen. Ce travail a abouti à une typologie des brises selon leurs influences mesurées sur la qualité de l'air: brises "nuisibles" et brises "neutres" (Dudouit, 2003). Outre l'évolution de la direction du vent durant les périodes de renverse, nous avons analysé les cycles de brise, c'est-à-dire les séquences de jours consécutifs pendant lesquels la brise a soufflé. En effet, pour l'exercice de la prévision, il s'agit de savoir si le vent nocturne, entre deux jours pollués marqués par la brise de mer, souffle effectivement de la terre vers la mer. Dans ce cas, nous pouvons imaginer que les polluants terrestres durant la

nuit et en début de matinée peuvent être refoulés au-dessus de la mer par la brise de terre ou le flux synoptique, puis le lendemain être ramenés vers la côte sous l'action de la brise de mer. Le jour J cumule ainsi ses molécules d'O₃ avec une partie de celles de J-1. Les concentrations d'ozone envoyées au-dessus de l'eau reviennent sans avoir beaucoup baissé puisque les puits d'ozone dans l'air marin et sur les surfaces aquatiques sont réduits. Ce phénomène fait appel à la notion de "paquet" liée à l'accumulation de polluants d'un jour sur l'autre (Rapport de la campagne d'étude de l'ozone sur le nord de la France, 2000).

2.2. Organisation spatio-temporelle de l'ozone par temps de brise

La campagne de mesures mise en place sur la Côte de Nacre a pour objectif de déterminer le fonctionnement et l'extension horizontale des brises et de connaître la distribution spatiale de l'ozone dans le bassin de l'Orne, milieu a priori le plus soumis aux problèmes de pollution photochimique. En effet, la circulation automobile et les industries, principaux acteurs de la pollution photochimique, sont essentiellement concentrées dans cette zone. La zone d'étude (Fig. 1) se justifie également par le nombre d'habitants y vivant (55% de la population calvadosienne habite dans la zone d'étude). En effet, la loi du 30 décembre 1996 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie fixe des orientations visant à prévenir, réduire ou atténuer les effets de la pollution atmosphérique. En étudiant de manière fine la distribution spatiale de l'ozone dans une zone concentrant plus de la moitié de la population du Calvados, cette étude répond à l'un des objectifs fixés dans le plan régional pour la qualité de l'air (PRQA) de Basse-Normandie à savoir développer des connaissances sur la qualité de l'air en matière de surveillance et des effets de la pollution sur la santé, l'environnement et le patrimoine. Cette campagne est donc menée dans le but de prévoir les pics de pollution photochimique et ainsi prévenir les risques sanitaires et végétaux. L'objectif final de cette campagne de mesures est de produire une cartographie de la distribution spatiale de l'ozone par temps de brise afin de fournir aux décideurs des éléments de réponse quant à la pollution photochimique dans le Calvados.

Conclusion:

Cette approche à la fois pluridisciplinaire et multiscalaire permet de mieux appréhender l'influence des circulations de brise sur les pics d'ozone. Outre, l'aspect de recherche fondamentale, il existe un intérêt appliqué à cette recherche puisque ce travail peut servir d'outil d'aide à la décision afin de prévenir les risques sanitaires et environnementaux. En effet, une meilleure connaissance de la formation de l'ozone par temps de brise peut servir dans la définition des stratégies de gestion locale de la qualité de l'air relative au problème de l'ozone. L'étude combine donc une synthèse des données météorologiques, chimiques et environnementales ainsi qu'une analyse du fonctionnement des brises et de la formation de l'ozone par l'étude de données existantes et par l'approche de terrain.

Bibliographie:

- DAMATO, F., 2000: La pénétration des fronts de brise de mer en Europe occidentale. *Mémoire de maîtrise*. Rennes.
- DUDOUIT, A., 2003: Essai de prévision locale des conditions aérologiques de surface; exemple de la baie de Sallenelles à Ouistreham en Basse-Normandie. *Publication de l'AIC, 15 à paraître*.
- Rapport AIR PARIF, 2000: Campagne régionale d'étude de l'ozone et du dioxyde d'azote sur le nord de la France.

CALENDRIER - NOUVELLE METHODE D'ELABORATION DE DONNEES CLIMATOLOGIQUE

Grzegorz DURŁO

*Chaire de Météorologie et de Climatologie forestière,
Académie Agricole H.Koźtataj de Cracovie
Al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków, Pologne*

Mots clés: climatologie, elaborations de données climatologiques, bio-climat, calendrier

Abstract: The use classification of weather is connected from planning of agrotechnical measures, phytomelioration measures, breeding measures and plant protection. They also serve the opinion of condition permanent or periodical the sojourn outdoors in dependence from kind of executed running, mould of recreation and rest. Bioclimatic calendars possess every indispensable value for ecologists, farmers, foresters, gardeners as well as for the institution liable for the organization of tourism and rest; doctors and tourism operator.

Introduction

Les classifications des conditions météorologiques aux besoins de divers domaines de la vie de l'homme constituent le fondement à l'exploitation correcte et effective des ressources naturelles de l'environnement. Leur application commune concerne la planification des démarches agrotechniques, de phyto-assainissement, d'élevage, ou de culture et protection des plantes (Woś, 1999).

De surcroît, les classifications de temps servent à l'appréciation des conditions de séjour temporaire ou à demeure de l'homme en plein air relativement au caractère de son travail, à la forme de récréation ou de repos.

Bien que la plupart des classifications reposent sur des résultats directes des observations météorologiques, elles ont un caractère général ou révisionnel ce qui ressort de la nécessité de définir clairement le niveau de différenciation entre les types de temps en question.

Ayant à notre disposition des données météorologiques des années successives, nous pouvons créer un outil universel offrant la possibilité de planifier scrupuleusement dans le temps les travaux sur le terrain (travaux agricoles) et les soins d'élevages ayant pour but d'améliorer la qualité du produit et d'augmenter les récoltes. Le présent calendrier peut être considéré comme un tel outil.

Méthode

Afin d'élaborer le calendrier, nous avons besoin des données provenant de stations chargées de mesurer d'une façon standardisée les éléments météorologiques et d'effectuer les observations du temps dans au moins trois périodes d'observation fixes et des données sous forme des cartes synoptiques rédigées toutes les 24 heures.

Nous pouvons considérer comme points de départ à l'élaboration de nos calendriers les classifications de types de temps, classifications de types de circulation, classifications biosynoptiques ou d'autres typologies spécialisées des conditions météorologiques employées en pratique, ainsi que les résultats des mesurages et des observations météorologiques directes (Błażejczyk, 1981 ; Niedźwiedz, 2002 ; Woś, 1999).

Une partie considérable des recherches est consacrée à l'analyse mathématique élaborée en fonction des données successives mesurées et observées et au calcul de l'indice statistique représenté par la moyenne arithmétique (calendrier bio-climatique, calendrier climatique) et relatif fréquence (calendrier synoptique). Les résultats des calculs sont présentés ensemble dans un tableau sous forme des codes constitués de chiffres, de lettres ou de chiffres et lettres à la fois, relativement à la classification adoptée. L'élaboration du calendrier s'effectue d'après la méthodologie suivante:

1. Nous analysons les valeurs des éléments météorologiques d'un jour donné et ensuite, à chaque jour de l'année. Ainsi, nous pouvons confronter les éléments (en fonction de la qualification adoptée) permettant d'estimer les conditions du temps. Suite à cela, nous établissons un type concret de temps pour un jour donné qui sera marqué par un code choisi.
2. Nous recevons ainsi une succession des données sous forme des conditions météorologiques relatives à tous les jours de la période de l'analyse. La succession est systématisée selon la chronologie temporelle, à savoir du 1er janvier au 31 décembre. Nous analysons de la sorte toutes les années successives et nous obtenons une matrice des chiffres présentant les moyenne arithmétique (calendrier bio-climatique, calendrier climatique) et relatif fréquence (calendrier synoptique) de chaque jour tout au long de la période analysée étalée sur plusieurs années.
3. La durée, la qualité et le choix de la période en question devraient être conformes aux normes appliquées à ce type d'élaboration (Pruchnicki, 1987 ; Garnier, 1996).
4. Grâce à l'analyse, nous obtenons les valeurs numériques à chaque élément météorologique (typologique) séparé. Nous codifions chacune d'entre les valeurs moyennes conformément à la classification adoptée et nous l'insérons directement au calendrier. Le calendrier revêt la forme d'un tableau dont le nombre des colonnes représente le nombre des jours de chaque mois et dont les lignes correspondent aux mois successifs de l'année (Durło, 2002).

Résultats

Nous présentons ci-dessous des exemples des calendriers élaborés en tenant compte des données de la période des années 1998-2001, dans la station météorologique située à Jaworzyna Krynicka ($\varphi = 49^{\circ} 25' N$, $\lambda = 20^{\circ} 53' E$, $h = 1114,0$ m) ainsi qu'à base des classifications de types de circulation de Niedźwiedz (2002), (Tabl. 1, 2, 3).

Tableau 1. L'exemple du calendrier bioclimatique pour Jaworzyna Krynicka i Dolina Czarnego Potoku (1998-2001), (Durło 2002)

Jour	Mois											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	5	5	5	3	2	4	1	4	4	3	4	4
2	5	5	5	5	3	3	3	1	3	4	5	5
3	5	6	4	4	2	4	3	2	2	4	4	5
4	5	6	5	3	3	3	3	2	2	3	4	5
5	6	5	5	5	4	3	3	4	3	5	4	4
6	5	5	5	4	2	1	3	2	4	5	4	5
7	5	5	5	4	3	2	3	2	4	4	4	5
8	5	5	5	5	3	2	3	1	2	4	4	5
9	5	5	6	4	2	4	5	1	2	4	4	6
10	6	5	5	4	3	3	3	1	2	4	5	5
11	5	5	5	3	3	3	4	2	2	4	6	6
12	5	5	5	4	4	2	4	2	3	3	5	5
13	5	5	5	4	4	4	2	2	3	3	4	6
14	4	6	5	3	3	2	4	2	3	3	5	6
15	6	6	6	3	4	5	3	1	4	4	5	5
16	5	4	6	4	4	3	3	1	4	6	5	5
17	5	6	6	4	3	5	3	2	4	5	5	5
18	4	6	5	4	3	5	2	2	4	5	4	5
19	5	5	6	5	5	3	3	1	2	5	4	6
20	5	5	4	4	4	4	2	1	3	4	5	6
21	6	5	4	5	3	2	2	1	3	4	5	6
22	5	5	5	4	3	3	3	2	5	4	4	5
23	5	5	5	4	5	4	3	3	3	5	3	5
24	5	6	5	3	2	5	3	3	2	5	4	4
25	5	5	5	4	2	3	1	4	3	4	3	5
26	5	5	5	4	2	3	3	4	2	4	5	6
27	5	5	5	4	1	4	3	2	3	6	5	5
28	5	4	5	2	2	2	2	2	4	4	5	5
29	6		4	2	4	3	4	3	4	4	4	5
30	5		2	2	4	2	4	3	4	4	6	4
31	6		3		2		2	4		4		5

où:

1 - le temps est utile à héliothérapie, aérothérapie, repos actif, tourisme ou travail en plein air,

2 - le temps est utile à aéro-thérapie, repos actif, tourisme ou travail en plein air,

3 - le temps est utile à repos actif, tourisme ou travail en plein air

4 - le temps est utile à repos, tourisme ou travail en plein air des personnes de bonne santé dont le système de thermo-régulation fonctionne correctement

5 - le temps est utile à travail en plein air, inutile à aucune forme de climatothérapie, inutile au tourisme ou repos

6 - le temps est utile à inutile à aucune forme de repos, de tourisme, de climatothérapie ou travail en plein air

Tableau 2. L'exemple du calendrier climatique pour Jaworzyna Krynicka i Dolina Czarnego Potoku avec la clé permettant de marquer les différents types de temps d'après Woś (1999)

Jour	Mois											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	800	811	500	400	200	211	310	211	210	200	311	810
2	710	810	711	111	211	210	311	201	210	310	301	800
3	510	811	311	310	300	200	310	311	200	211	310	710
4	611	701	311	211	200	300	311	200	200	210	211	610
5	710	611	511	211	300	310	301	211	200	210	511	711
6	711	711	611	311	300	300	211	310	311	211	300	800
7	710	711	511	311	300	301	211	210	210	200	310	711
8	711	711	311	411	210	300	211	300	200	210	311	710
9	711	711	411	311	200	210	211	310	200	210	411	711
10	821	711	711	410	200	311	210	200	200	210	521	611
11	710	711	811	300	200	300	301	211	200	210	520	511
12	710	711	901	200	200	311	211	310	210	210	500	510
13	810	511	810	411	311	211	311	211	200	200	410	721
14	710	721	710	300	200	210	211	200	211	200	510	610
15	810	711	811	300	211	211	211	200	211	210	611	611
16	721	611	911	211	311	211	210	200	211	211	611	711
17	611	711	911	211	211	211	210	300	210	300	621	811
18	701	811	710	311	200	211	201	310	211	310	611	811
19	810	810	711	311	311	210	310	310	210	310	611	821
20	811	611	801	411	211	211	300	200	210	310	611	911
21	921	711	811	310	210	210	300	200	210	500	611	911
22	811	610	710	211	211	210	310	211	211	400	600	900
23	910	611	601	200	311	211	211	200	310	300	500	900
24	910	810	711	200	300	211	210	210	300	200	500	900
25	910	811	611	211	200	211	310	201	200	210	610	911
26	921	711	400	210	200	210	311	210	210	310	620	911
27	810	410	310	210	200	211	311	210	200	411	720	810
28	911	500	311	200	200	311	211	210	200	311	720	710
29	911		400	200	211	210	211	211	211	311	810	711
30	811		300	200	210	200	201	211	200	300	820	711
31	811		400		210		210	211		300		801

où:

Température de l'air [°C]				
type de temps	marque	Dies t	t _{min}	t _{max}
temps torride	33	> 25,0	> 0,0	> 0,0
très chaud	3	15,1 – 25,0	> 0,0	> 0,0
modérément chaud	2	5,1 – 15,0	> 0,0	> 0,0
frais	1	0,1 - 5,0	> 0,0	> 0,0
modérément frais	4	> 5,0	<= 0,0	> 0,0
très frais	5	0,1 - 5,0	<= 0,0	> 0,0
modérément froid	6	-5,0 – 0,0	<= 0,0	> 0,0
froid	7	< -5,0	<= 0,0	> 0,0
modérément glacial	8	-5,0 – 0,0	<= 0,0	<= 0,0
assez glacial	9	-15,0 - -5,0	<= 0,0	<= 0,0
glacial	0	< -15,0	<= 0,0	<= 0,0
Nébulosité générale				
type de temps	marque	nébulosité moyenne dans les 24 heures [%]		
temps dégagé	0	<= 20		
nuageux	1	21 – 79		
très nuageux	2	>= 80		

Précipitations atmosphériques		
type de temps	marque	somme des précipitations atmosphériques dans les 24 heures [mm·m ⁻¹]
temps avec précipitations	0	< 0,1
temps sans précipitations	1	> lub = 0,1

Tableau 3. L'exemple du calendrier synoptique pour la Pologne du Sud dans la période 1998-2001 en tenant compte de la classification de circulation de Niedźwiedz (2002)

Jour	Mois											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	A6	A7	A7	C9	C9	A9	C9	A0	C1	C9	C6	A6
2	A6	A7	C7	C3	A9	A0	C9	A3	C9	C5	C7	A7
3	C6	A8	C7	C9	A5	C9	A9	A9	A3	C4	C8	A6
4	A7	A7	C7	C9	A9	C9	A7	A0	A4	C9	C9	C7
5	A7	C8	C9	C9	A9	C0	C8	A9	A4	C4	A7	C7
6	A7	A7	A7	C9	A9	C5	C8	C5	A0	C4	C6	A7
7	A7	A7	C7	C9	A9	C7	C8	C9	C9	A9	C9	A7
8	A7	C7	C7	C8	A6	C9	C1	A5	A9	C9	C9	A7
9	A9	C7	C9	C9	C9	C0	C1	C7	A7	C9	C9	C7
10	A9	A7	A7	C9	A5	A9	C9	C9	A9	C7	A5	A7
11	A9	A7	C9	C9	C9	C9	C9	C9	A9	C7	A9	A7
12	A9	A9	A1	C9	A9	C9	C7	C9	A9	C7	A0	A7
13	A7	A9	A9	C9	A9	A0	C7	C9	C9	A8	A7	C7
14	A6	A1	A9	C7	A8	C9	C7	C7	C9	A7	C7	C7
15	A7	A7	A9	C6	A9	C8	C9	C0	A3	A9	C9	C7
16	A6	C7	A9	C9	C1	A7	A9	C7	C4	A9	C9	C7
17	C7	C9	C9	C9	A9	A9	A0	C9	C9	A9	C9	A7
18	A7	C7	A9	C9	A3	A9	A7	C9	C3	A9	C9	A7
19	C9	A7	A9	C1	C9	A0	A7	A7	C3	A4	C9	C7
20	A7	C9	A9	C1	A9	A7	A7	A7	A3	A5	C2	A7
21	C9	A7	A9	C9	C8	A0	A7	C7	A3	A5	A9	A1
22	A9	A9	A9	C9	C9	C1	C9	C7	A3	A9	A4	A0
23	A0	C9	A9	C0	A1	C1	C9	C7	A3	A5	A4	A7
24	A0	C8	A1	C4	A0	A7	C9	C0	A9	C5	C5	A6
25	A9	C9	A9	C9	A7	C1	A9	C8	A5	C9	A5	C6
26	A9	A7	C6	C9	C9	A0	A3	A3	C6	C7	A9	C5
27	A9	A7	C5	C4	C9	A9	A3	A9	C7	A7	A9	C7
28	A7	A7	C9	C5	A5	C9	C9	A9	C6	A7	A9	C9
29	C8		C9	C9	C9	A7	C8	C9	C9	A7	A6	C9
30	C1		A9	C0	C5	A9	A8	A9	C7	C6	A7	A9
31	C8		A9		C9		A1	C9		C7		A7

où:

- A - circulation atmosphérique (hausse) - anticyclone
- C - circulation atmosphérique (baisse) - dépression
- 0 - manœuvre d'advection, stagnation
- 1 - advection des masses d'air orientées de nord,
- 2 - advection des masses d'air orientées de nord-est,
- 3 - advection des masses d'air orientées d'est,
- 4 - advection des masses d'air orientées de sud-est,
- 5 - advection des masses d'air orientées de sud,
- 6 - advection des masses d'air orientées de sud-ouest,
- 7 - advection des masses d'air orientées d'ouest,
- 8 - advection des masses d'air orientées de nord-ouest,
- 9 - provenances d'advection diverses

Conclusion

Ce qui juge du caractère universel et vérifiable des calendriers, ce sont: le nombre des années d'observation, la qualité des données météorologiques, la représentativité des stations et l'homogénéité des périodes climatologiques (analysées).

Les calendriers contiennent toutes les qualités nécessaires à leur application pratique. Ils seront utiles aux écologistes, agriculteurs, forestiers, jardiniers, employés des sanatoriums ainsi qu'à leurs clients et des autres personnes dans le stade de planification ou de réalisation de leurs séjour de congés.

Bibliographie

- BŁAŻEJCZYK, K., 1981: Bioklimatyczna klasyfikacja pogody. *Probl. Uzdrowisk.*, 1/4 169-173. Warszawa.
- DURŁO, G., 2002: *Zróźnicowanie mikroklimatyczne i bioklimatyczne Jaworzyny Krynickiej*. Thèses de Doctorat. Arch. Bibl. Główn. AR Kraków.
- GARNIER, B. J., 1996: *Compendium of lecture notes in climatology for class III and class IV personnel*. WMO - No. 726. Secretariat of the WMO, Geneva, Switzerland.
- NIEDŹWIEDŹ, T., 2002: *Kalendarz typów cyrkulacji dla Polski południowej*. Materiały niepublikowane. Komputerowa baza danych TCTNPLS.dbf.
- PRUCHNICKI, J., 1987: *Metody opracowań klimatologicznych*. PWN. Warszawa.
- WOŚ, A., 1999: *Klimat Polski*. PWN, Warszawa.

LE CALENDRIER BIOCLIMATIQUE EN TANT QUE METHODE D'ELABORATION CLIMATOLOGIQUE

Grzegorz DURŁO

*Chaire de Météorologie et de Climatologie forestière,
Académie Agricole H.Koźłataj de Cracovie,
Al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków, Pologne.*

Mots clés: climatologie, elaborations de données climatologiques, bio-climat, calendrier

Abstract: The bioclimatic calendar is a new kind of climatological elaboration. He presents time and spatial schedule of usefulness groups of weather in whole calendar year. Construction of calendar was based on value of meteorological elements and weather conditions also on bioclimatic typology of weather (Błażejczyk 1981). Calendar state example useful and transparent study about wide possibilities of use for man. Bioclimatic calendar can be particularly useful to planning of climatotherapeutical treatments and favourable period's for rest, tourism and recreation.

Utilisation of calendar on basis of multiannual series makes up example of complex climatological study about wide use. They can use ecologists, farmers, foresters, gardeners, employee of individuals and responsible institution for organization of tourism's and rest, doctors, employee of sanatoriums how also spending everybody and planning holiday stay.

Introduction

Les classifications des conditions météorologiques pour les besoins de la bioclimatologie humaine constituent un outil permettant d'estimer les conditions du séjour de l'homme en plein air.

Les typologies utilisées jusqu'à maintenant permettaient de déterminer ou d'indiquer les saisons, les mois ou, plus rarement, les dates approximatives de début et de fin des périodes favorables à ces activités. De surcroît, les méthodes statistiques appliquées de plus en plus souvent, ont rendu possible de tirer des conclusions de la dynamique des phénomènes météorologiques, leur affinité et l'interdépendance spatiale et temporelle. Néanmoins, nous sommes toujours loin d'un outil précis grâce auquel la planification pour les besoins de la climatologie humaine sera simultanément précise et universelle.

En profitant des moyens d'elaborations climatologiques actuelles et d'une d'entre les classifications des conditions météorologiques, nous avons élaboré un mode de construction d'un calendrier représentant les groupes d'aptitudes du temps à chaque jour au cours de l'année sur une période de plusieurs années.

Le travail a eu pour l'objectif de présenter une méthode d'elaboration des données climatologiques sous forme d'un calendrier.

Méthode

Afin d'elaborer le calendrier, nous avons besoin des données provenant de stations chargées de mesurer d'une façon standardisée les éléments météorologiques et d'effectuer les observations du temps dans au moins trois périodes d'observation fixes et des données sous forme des cartes synoptiques rédigées toutes les 24 heures.

Nous avons pris pour point de départ à l'elaboration du calendrier bioclimatique une typologie de temps bioclimatique (Błażejczyk, 1979 ; 1981). La classification prend en compte les types de phénomènes et leur durée au cours d'une journée donnée et les valeurs des éléments météorologiques de cette journée. Nous nous y servons des éléments suivants: la valeur refroidissante de l'air (établie en tenant compte des mesurations directes et des méthodes de calcul), de la pression de la vapeur d'eau, la valeur de la nébulosité, la durée des précipitations, l'apparition du brouillard. En résultat de l'interaction de tous les éléments

précités, nous obtenons un groupe d'aptitude d'un temps donné. L'auteur de ladite typologie a proposé les symboles de marquage suivants (Błażejczyk 1981):

- A1 - le temps est utile à héliothérapie, aérothérapie, repos actif, tourisme ou travail en plein air,
- A2 - le temps est utile à aéro-thérapie, repos actif, tourisme ou travail en plein air,
- A3 - le temps est utile à repos actif, tourisme ou travail en plein air,
- A4 - le temps est utile à repos, tourisme ou travail en plein air des personnes de bonne santé dont le système de thermo-régulation fonctionne correctement,
- B - le temps est utile à travail en plein air, inutile à aucune forme de climatothérapie, inutile au tourisme ou repos,
- C - le temps est utile à inutile à aucune forme de repos, de tourisme, de climatothérapie ou travail en plain air.

Afin d'élaborer le calendrier bioclimatique, nous nous servons de symboles - chiffres correspondant à chacun d'entre les groupes d'aptitude du temps. Ainsi, nous attribuons le symbole 1 au groupe A1, nous attribuons le symbole 2 au groupe A2, nous attribuons le symbole 3 au groupe A3, nous attribuons le symbole 4 au groupe A4, nous attribuons le symbole 5 au groupe B, nous attribuons le symbole 6 au groupe C.

En nous basant sur les données météorologiques de la 2^e période de mesuration, nous calculons la valeur du refroidissement, de la nébulosité et de la pression de la vapeur d'eau de chaque jour tout au long de la période analysé étalée sur plusieurs années. En prenant en considération toutes les périodes de mesuration, nous définissons la durée des précipitations et celle du brouillard de chaque jour tout au long de la période analysé étalée sur plusieurs années. L'analyse mathématique consiste à calculer les valeurs correspondant à chaque jour du calendrier de la période analysée de plusieurs années:

- a. le refroidissement bioclimatique moyen
- b. la durée de persistance de dépôts
- c. la pression de la vapeur d'eau moyen
- d. la valeur de la nébulosité moyen
- e. la durée des précipitations
- f. l'apparition du brouillard

Les valeurs des moyennes obtenues sont codifiées selon typologie de temps bioclimatique Błażejczyk (1979, 1981) et inscrites au calendrier.

Grâce à l'analyse, nous obtenons les valeurs numériques à chaque élément météorologique (typologique) séparé. Nous codifions chacune d'entre les valeurs moyennes conformément à la classification adoptée et nous l'insérons directement au calendrier. Le calendrier revêt la forme d'un tableau dont le nombre des colonnes représente le nombre des jours de chaque mois et dont les lignes correspondent aux mois successifs de l'année (Durlo 2002).

La durée, la qualité et le choix de la période en question devraient être conformes aux normes appliquées à ce type d'élaboration (Pruchnicki 1987, Garnier 1996).

Nous présentons ci-dessous des exemple des calendrier élaboré en tenant compte des données de la période des années 1971-2000, dans la station météorologique située à Krynica Zdrój ($\varphi = 49^{\circ} 27' N$, $\lambda = 20^{\circ} 58' E$, $h = 720,0$ m) ainsi qu'à base des typologie de temps bioclimatique Błażejczyk (1979, 1981), (Tabl. 1).

Addition

L'élaboration climatologique sous forme du calendrier a pour but principal de présenter les résultats des calculs et des analyses des périodes d'observation successives de la manière la plus simple et compréhensible que possible. Ceci est particulièrement important si

l'élaboration concerne les caractéristiques complexes du climat si souvent utilisées en bioclimatologie.

La méthode d'élaboration du calendrier bioclimatique présentée ici est relativement simple, claire et rapide, ayant à l'égard les possibilités d'utiliser les techniques de calcul assistées par ordinateur.

Néanmoins, ce qui décide que le calendrier soit universel et vérifiable, ce sont: la représentativité des données et des stations météorologiques et l'homogénéité des suites climatologiques.

Le calendrier bioclimatique est une nouvelle méthode d'élaboration de données climatologiques. Il présente un regroupement des états de l'atmosphère en un lieu et en un moment donnés selon leur aptitude au cours de l'année.

Le mode de construction du dit calendrier se base sur une typologie bioclimatique. Le calendrier est l'exemple d'une élaboration claire et utile de large application, pouvant être employée dans différents domaines de la vie de l'homme. Le calendrier bioclimatique peut être particulièrement utile dans la planification des démarches climato-thérapeutiques ou de période favorable à la récréation, au tourisme et au repos.

La construction du calendrier s'appuie sur l'analyse des valeurs des éléments météorologiques relatives à un jour donné et sur une estimation des conditions météorologiques. En tenant compte de ces données, nous définissons un groupe d'aptitude (d'utilité) du temps à un jour concret. Ensuite, nous définissons les groupes d'aptitude du temps à tous les jours du mois et de l'année. L'analyse statistique vise à établir la fréquence d'apparition d'un groupe donné au même jour au cours de l'année d'une période étalée sur plusieurs années. Nous définissons des tableaux de fréquences des variables successives (jours) et nous nous servons des valeurs ainsi obtenues afin de calculer la moyenne pondérée. La valeur de la moyenne est inscrite au tableau sous forme du calendrier (Tabl. 1).

L'élaboration d'un calendrier à base d'une période de plusieurs années successives constitue une recherche climatologique complexe et de large application. Il sera utiles aux écologistes, agriculteurs, forestiers, jardiniers, employés des sanatoriums ainsi qu'à leurs clients et aux autres personnes dans le stade de planification ou de réalisation de leurs séjour de congés.

Conclusion

Les calendriers contiennent toutes les qualités nécessaires à leur application pratique. Ils seront utiles aux écologistes, agriculteurs, forestiers, jardiniers, employés des sanatoriums ainsi qu'à leurs clients et aux autres personnes dans le stade de planification ou de réalisation de leurs séjour de congés.

Bibliographie

- BŁAŻEJCZYK, K., 1979: Typologia pogody na potrzeby klimatoterapii. *Dokum. Geogr., IGiPZ PAN*, 2., 12-24 Warszawa..
- BŁAŻEJCZYK, K., 1981: Bioklimatyczna klasyfikacja pogody. *Probl. Uzdrowisk.*, 1/4 169-173.
- DURŁO, G., 2002: Zróżnicowanie mikroklimatyczne i bioklimatyczne Jaworzyny Krynickiej. Thèses de Doktorat Arch. Bibl. Główn. AR Kraków.
- GARNIER, B. J., 1996: *Compendium of lecture notes in climatology for class III and class IV personnel*. WMO – No. 726. Secretariat of the WMO, Geneva, Switzerland.
- PRUCHNICKI, J., 1987: *Metody opracowań klimatologicznych*. PWN. Warszawa.

Tableau 1. L'exemple du calendrier bioclimatique pour Krynica Zdroj (1971-2000)

Jour	Mois											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	5	5	5	3	3	4	1	3	4	4	4	4
2	5	5	5	5	3	3	3	1	3	4	5	5
3	5	6	4	4	3	4	3	2	2	4	4	5
4	5	6	5	4	3	3	3	2	2	3	4	5
5	6	5	5	5	4	3	3	3	3	5	4	4
6	5	5	5	4	3	2	3	2	4	5	4	5
7	5	5	5	4	3	2	3	2	4	4	4	5
8	5	5	5	5	3	2	3	1	2	4	4	5
9	5	5	6	4	3	3	4	1	2	4	4	6
10	6	5	5	4	3	3	3	1	2	4	5	5
11	5	5	5	4	3	3	4	2	2	4	6	6
12	5	5	5	4	4	2	4	2	3	3	5	5
13	5	5	5	4	4	3	2	2	3	3	4	6
14	4	6	5	3	3	2	4	2	3	3	5	6
15	6	6	6	3	4	5	3	1	4	4	5	5
16	5	5	6	4	4	3	3	1	4	6	5	5
17	5	6	6	4	3	4	3	2	4	5	5	5
18	5	6	5	4	3	4	2	2	4	5	4	5
19	5	5	6	5	4	3	3	1	3	5	4	6
20	5	5	4	4	4	4	2	1	3	4	5	6
21	6	5	4	5	3	2	2	1	3	4	5	6
22	5	5	5	4	3	3	3	2	5	4	4	5
23	5	5	5	4	4	4	3	3	3	5	4	5
24	5	6	5	3	2	4	3	3	3	5	4	5
25	5	5	5	4	2	3	1	4	3	4	4	5
26	5	5	5	4	2	3	3	4	2	4	5	6
27	5	5	5	4	2	4	3	2	3	6	5	5
28	5	4	5	3	2	2	2	2	4	4	5	5
29	6		4	2	4	3	4	3	4	4	4	5
30	5		3	2	4	2	4	3	4	4	6	5
31	6		3		2		2	4		4		5

où:

1 - le temps est utile à héliothérapie, aérothérapie, repos actif, tourisme ou travail en plein air

2 - le temps est utile à aéro-thérapie, repos actif, tourisme ou travail en plein air,

3 - le temps est utile à repos actif, tourisme ou travail en plein air

4 - le temps est utile à repos, tourisme ou travail en plein air des personnes de bonne santé dont le système de thermo-régulation fonctionne correctement

5 - le temps est utile à travail en plein air, inutile à aucune forme de climatothérapie, inutile au tourisme ou repos

6 - le temps est utile à inutile à aucune forme de repos, de tourisme, de climatothérapie ou travail en plein air

CHANGEMENTS ET VARIABILITE DE LA DUREE DE LA PERSISTANCE ET DE L'ÉPAISSEUR DU COUCHE DE NEIGE EN POLOGNE AU XX^e SIECLE

Małgorzata FALARZ

Université de Silésie, Chaire de Climatologie, Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec, Pologne

Institut de la Météorologie et de la Gestion des Eaux,

P. Borowego 14, 30-215 Kraków, Pologne, malgosiafa@poczta.onet.pl

Mots clés: couche de neige, changements climatiques, Pologne

Abstract: The aim of the study is to investigate long-term changes and variability of snow cover in Poland in the 20th century. The investigation involved homogenised data on the snow cover duration and seasonal maximum depth of snow cover from 66 meteorological stations in Poland spanning 50 to 108 winter seasons.

Introduction

L'examen des tendances du couche de neige semble être important vu qu'il est soumis à l'impact direct ou indirect de tout un complexe de conditions climatiques (par exemple de la circulation atmosphérique, de la température de l'air, des précipitations atmosphériques). Le couche de neige peut donc être considéré comme un bon indicateur de changements climatiques en période d'hiver. L'objectif de ce travail est d'examiner les variations de la durée de la persistance et de l'épaisseur du couche de neige et de déterminer l'importance et les orientations de cette tendance temporelle sur le territoire de la Pologne au XX^e siècle.

Dans l'hémisphère nord, la surface du couche de neige accuse une tendance négative statistiquement pertinente au printemps: au mois de mars (depuis 1951) et au mois d'avril (au cours du XX^e siècle; Brown, 2000).

Documents de base et méthodes de recherche

L'analyse vise l'ensemble du territoire de la Pologne. Aux fins de cette analyse, on a utilisé les séries des valeurs journalières et saisonnières relatives à la durée de la persistance et à l'épaisseur maximale du couche de neige en saison, provenant de 66 stations météorologiques, pour la période de 50 à 108 saison d'hiver (y compris les données reconstituées pour la fin du XIX^e et le début du XX^e siècle pour Cracovie et Zakopane; Falarz, 2002). La période examinée de référence est la période de cinquante ans 1948/49-1997/98 (graphique 1). L'homogénéité des séries des valeurs saisonnières du couche de neige a été vérifiée à l'aide du test Alexandersson (1986); les séries dont l'homogénéité a été rompue ont été corrigées.

L'objectif du travail a été réalisé à l'aide des mesures et des méthodes de recherche suivantes:

- mesures de la variabilité: écart standard et coefficient de variabilité;
- mesures des changements pluriannuels, calculées en appliquant la méthode de l'analyse de la régression: changement absolu et relatif de la caractéristique nivale en 10 ans (changement relatif a été défini en tant que résultat de la division du changement absolu d'une caractéristique nivale donnée et de sa moyenne arithmétique de plusieurs années);



Graphique 1. Stations météorologiques utilisées dans l'analyse.
1 - stations météorologiques utilisées dans l'analyse,
2 - stations a séries nivales supérieures a 50 saisons hivernales.

- méthode de l'analyse spectrale de Fourier – pour examiner la périodicité des changements pluriannuels du couche de neige.

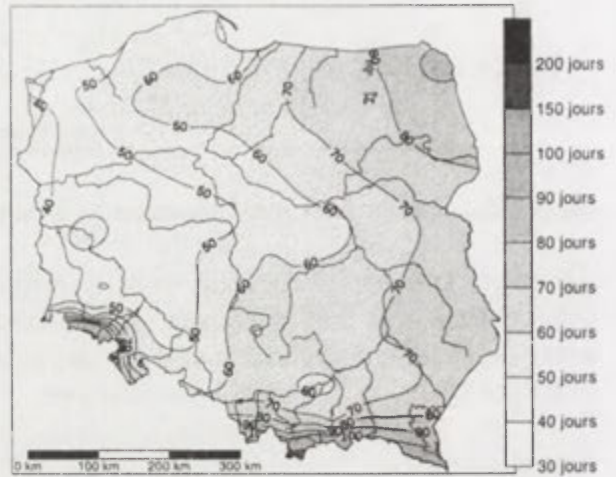
Résultats

La moyenne pluriannuelle (1948/49-1997/98) du nombre de jours de persistance du couche de neige ≥ 1 cm est la plus basse à l'Ouest de la Pologne (moins de 50 en saison hivernale), elle augmente vers l'Est et le Nord-Est, en dépassant 80 à l'Ouest du Pays des Lacs de Mazury (graphique 2). Dans les zones de montagne les plus élevées, la durée de la persistance du couche de neige dépasse 200 jours en saison hivernale. Le plan généralement méridien des isolignes du nombre de jours de persistance du couche de neige prouve l'impact déterminant de l'Atlantique en ce qui concerne la formation de la répartition spatiale de cet élément du climat.

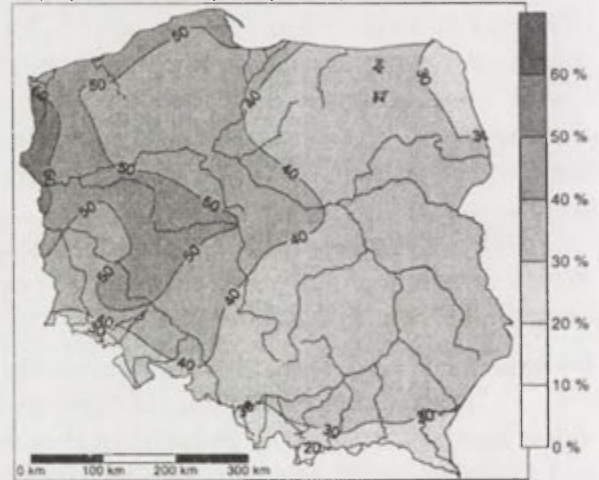
Lors de la saison où le nombre de jours de persistance du couche de neige a été extrêmement élevé, il se maintenait pendant 100 jours dans la Plaine de Silésie (Nizina Śląska), il dépassait 140 jours dans la région de Suwalki et dans les parties supérieures des Carpates et 230 jours au-dessus de la frontière supérieure de la forêt dans les Tatras. La durée la plus courte de la persistance du couche de neige en période de 50 ans analysés n'a pas dépassée, en Pologne, à part les zones de montagnes, 40 jours et à l'Ouest de la Pologne; elle n'était que de quelques jours dans toute la saison hivernale.

Le coefficient de la variabilité du nombre de jours de persistance de couche de neige est inversement proportionnel à la durée de sa persistance: il atteint les valeurs les plus élevées dans les régions où le couche de neige est moins important (50-60%), et plus on avance vers les zones où le couche de neige devient plus important, il baisse pour atteindre 30% au Nord-Est de la Pologne et seulement quelques pour cents dans les Tatras (graphique 3).

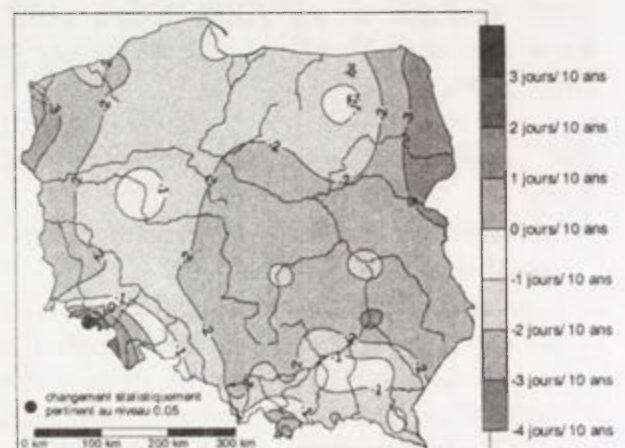
A l'exception des zones de montagnes, le nombre de jours de persistance du couche de neige se caractérise par une légère tendance négative peu diversifiée du point de vue spatiale et statistiquement négligeable. Cette tendance est la plus significative dans les parties nord-est et ouest les plus avancées de la Pologne (inférieure à -3 jours en 10 ans). Or, la durée de la persistance du couche de neige accuse une tendance différente, pluriannuelle positive, dans les Sudètes, les Tatras, et à Orava. La



Graphique 2. Nombre moyen de jours de persistance du couche



Graphique 3. Coefficient de variabilité de la durée de la persistance du couche de neige.



Graphique 4. Changement absolu du nombre saisonnier de jours de persistance du couche de neige (jours/10 ans).

croissance absolue la plus importante du nombre de jours de persistance du couche de neige dans la période de 50 ans examinée, statistiquement pertinent au niveau de 0.05, est observé à Śnieżka (4.8 jours en 10 ans; graphique 4). Les zones situées à la frontière ouest de la Pologne se caractérisent par une baisse relative, particulièrement importante, de la durée de la persistance du couche de neige (-6 à -10% en 10 ans).

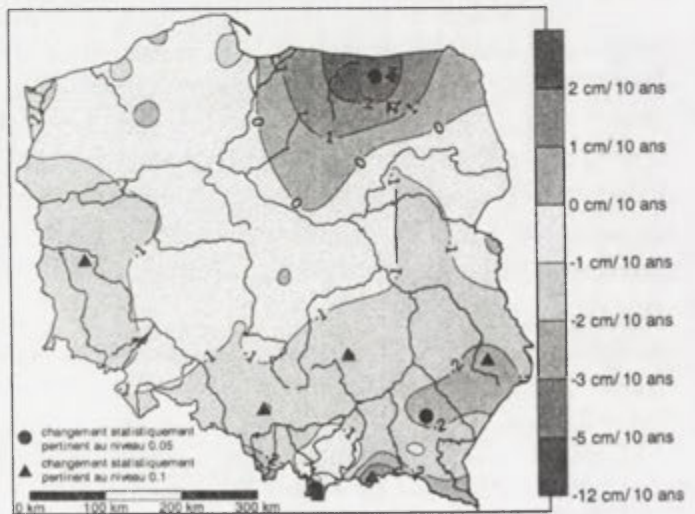
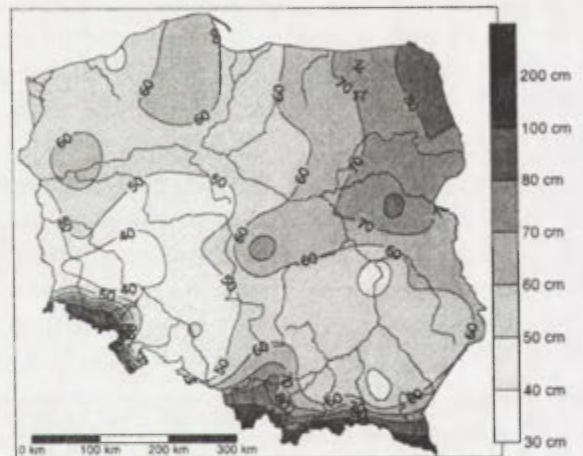
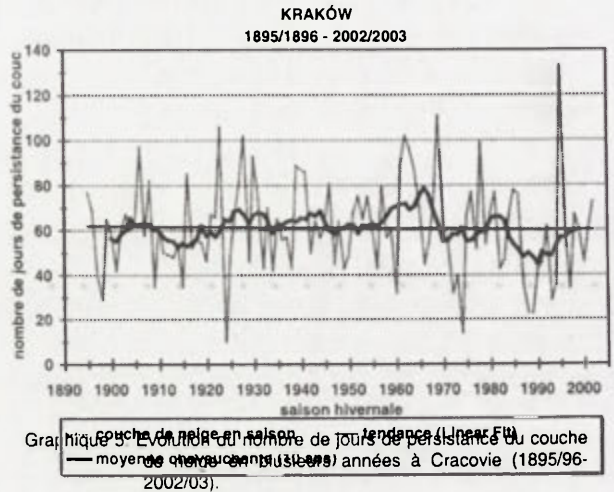
En périodes examinées dépassant 50 saisons hivernales (de 60 saisons à Kasprowy Wierch à 108 saisons à Cracovie) les valeurs modales temporelles des tendances pluriannuelles des changements de la durée de la persistance du couche de neige dans la majorité des cas ne dépassent pas ± 1 jours en 10 ans et souvent elles sont proches de zéro (graphique 5).

La durée de la persistance du couche de neige se caractérise par une périodicité de 8.3 ans (Pologne inférieure) ou sa multiplication: 16.7 ans (Carpatés) et 25 ans (Śnieżka).

L'épaisseur maximale saisonnière du couche de neige observée dans la période de 50 ans 1948/49-1997/98 était de 30-40 cm dans la Plaine de Silésie et de plus de 80 cm dans la partie nord-est de la Pologne et elle dépassait 200 cm dans les parties supérieures des zones de montagne (295 cm à Śnieżka, 355 cm à Kasprowy Wierch; graphique 6). Lors des saisons caractérisées par des conditions nivales les plus pauvres, l'épaisseur maximale du couche de neige ne dépassait pas 10 cm en dehors des zones de montagne en Pologne et 100 cm dans les zones de montagne les plus élevées.

Le coefficient de la variabilité de l'épaisseur maximale du couche de neige dépasse 70% dans la partie ouest de la Pologne et atteint le niveau inférieur à 40% dans les parties supérieures des montagnes (23% à Hala Gąsienicowa). La variabilité maximale de l'épaisseur du couche de neige est donc considérablement plus élevée que la variabilité de la durée de la persistance du couche de neige.

Les valeurs du coefficient de régression qui caractérisent la tendance de l'épaisseur maximale du couche de neige dans la période de référence de 50 ans atteignent les valeurs significativement négatives, statistiquement pertinentes, dans quelques points de mesure au



sud de la Pologne (jusqu'à -12 cm en 10 ans), les valeurs légèrement négatives ou égales à zéro en Pologne centrale et dans les zones côtières, les valeurs positives (pertinentes dans un point de mesure) qui atteignent 3 cm en 10 ans dans le Pays des Lacs de Mazury (graphique 7). Le changement négatif relatif le plus important (jusqu'à - 12%/10 ans) en Pologne a été enregistré dans la zone située entre Rzeszów et Zamość. Les valeurs positives de la mesure relative de la tendance pluriannuelle de l'épaisseur du couche de neige dépassent 10% en 10 ans dans le Pays des Lacs de Mazury.

Dans les périodes d'examen plus longues, les tendances des changements de l'épaisseur du couche de neige sont, comme dans le cas de la durée de la persistance du couche de neige, proches de zéro.

Synthèse et conclusions finales

L'analyse de la variabilité pluriannuelle de deux caractéristiques les plus importantes du couche de neige mène à des constats suivants:

- on observe les différences les plus importantes d'année en année des conditions nivales dans la partie ouest de la Pologne donc dans les zones où le couche de neige est le plus pauvre. Le couche de neige dans les zones de montagne et dans la partie est de la Pologne, c'est-à-dire dans les zones où le couche de neige est le plus abondant et où il se maintient le plus longtemps, se caractérise par une plus grande stabilité;
- le nombre de jours de persistance du couche de neige et l'épaisseur maximale du couche de neige accusent, sur la partie la plus importante du territoire de la Pologne, une légère tendance négative en période de 50 ans, qui n'est statistiquement pertinente que dans quelques points de mesure;
- sur le territoire de la Pologne se trouvent certaines zones à signes opposés de la tendance pluriannuelle de deux caractéristiques nivales étudiées: Tatras, Orava et les parties les plus élevées des Sudètes; avec un trend positif de la durée de la persistance du couche de neige et un trend négatif de son épaisseur maximale et une partie du Pays des Lacs de Mazury avec un trend négatif de la durée de la persistance du couche de neige et un trend positif de l'épaisseur maximale du couche de neige;
- dans les périodes d'examen plus longues (60 à 108 saisons hivernales) la valeur des tendances pluriannuelles du couche de neige est, dans la plupart des cas, proche de zéro;
- dans les zones de Pologne situées en dehors des montagnes, la durée de la persistance du couche de neige se caractérise par une périodicité de 8 ans.

Les causes directes de la tendance négative de la durée de la persistance du couche de neige et de son épaisseur dans la seconde moitié du XXe siècle dans la majeure partie de la Pologne sont liées à des changements pluriannuels et la variabilité de la température de l'air et des précipitations atmosphériques. La première confirmation de cette relation semble être la tendance positive prononcée de la température de l'air en période hivernale en Pologne et en Europe atteignant 2.5K/100 ans (Schönwiese, Rapp, 1997, Wibig, Glowicki, 2002) qui est directement liée aux modifications des conditions de circulation et principalement à la croissance de la fréquence de l'adéquation du secteur ouest (Ustrnul, 1998).

Bibliographie

- ALEXANDERSSON, H., 1986: A homogeneity test applied to precipitation data, *J Clim.*, 6: 661-675.
- BROWN, R.D., 2000: Northern hemisphere snow cover variability and change, 1915-1997, *J.Clim.*, 13: 2339-2355.
- FALARZ, M., 2002: Long-term variability in reconstructed and observed snow cover over the last 100 winter seasons in Cracow and Zakopane (southern Poland), *Clim. Res.*, 19 (3): 247-256.
- SCHÖNWIESE, CH.D., et RAPP, J., 1997: Climate trend atlas of Europe based on observations 1891-1990, *Kluwer Academic Publishers*, Dordrecht/Boston/London.
- USTRNUL, Z., 1998: Variability of air temperature and circulation at selected stations in Europe, [w:] Proceedings of the 2nd European Conference on Applied Climatology, ECAC 98, 19 to 23 October 1998, Vienna, Austria, texte intégral sur «ECAC CD-ROM», session 1: 1-6.
- WIBIG, J. et GLOWICKI, B., 2002: Trends of minimum and maximum temperature in Poland, *Clim. Res.*, 20: 123-133.

EVOLUTION DE LA QUALITE DE L'AIR MESUREE DANS LES VILLES ET LES CAMPAGNES EN SUISSE DURANT LES 15 DERNIERES ANNEES

Jean-Michel FALLOT

Laboratoire des Systèmes Energétiques (LASEN), Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), CH - 1015 Lausanne,
Jean-Michel.Fallot@igul.unil.ch

Mots-clés: pollution de l'air, immissions, valeurs limites, ville, campagne, Suisse

Abstract: This paper presents some results of seasonal and annual atmospheric pollutants concentrations measured at several locations in Switzerland during the last 15 years.

Introduction

Les concentrations des principaux polluants atmosphériques sont mesurées depuis 10 ou 15 ans à une cinquantaine endroits de la Suisse, en ville et en campagne. Une telle période permet de voir comment la qualité de l'air évolue en ces différents endroits à l'échelle saisonnière et annuelle en fonction des émissions des polluants atmosphériques et de certains paramètres météorologiques.

Méthode

Pour cela, nous avons représenté les concentrations moyennes mensuelles et annuelles du dioxyde d'azote (NO₂) et de l'ozone (O₃) pour une station représentative du centre ville près d'une route chargée avec Lausanne, une station en ville dans un parc à l'écart des grandes routes avec Zurich, une station en périphérie d'une grande agglomération avec Dübendorf près de Zurich, une station en campagne sur le Plateau suisse à 500 m/mer avec Payerne, une station caractéristique du Jura et des Préalpes à 1100 m/mer avec Chaumont au-dessus de Neuchâtel et une station typique des hauts reliefs alpins avec le Jungfrauoch à 3500 m/mer. Les données de ces stations nous ont été aimablement transmises par l'Office Fédéral suisse de l'Environnement, des Forêts et des Paysages (OFEFP). Le NO₂ et l'ozone sont actuellement les polluants les plus préoccupants en Suisse avec les poussières fines (PM10).

Résultats

La figure 1 illustre le cycle saisonnier moyen pour le NO₂ et il est assez semblable pour tous les autres polluants primaires mesurés en Suisse (NO_x, NO, SO₂, CO, PM10). On retrouve les concentrations moyennes de ces polluants les plus élevées près des gros émetteurs dans les centres villes chargés (Lausanne) et les plus basses en campagne où elles diminuent fortement avec l'altitude (Fig. 1 et 2). Elles sont en moyenne plus importantes en hiver surtout à basse altitude, notamment à cause de la présence de situations anticycloniques mal ventilées avec des inversions de température persistantes qui piègent les polluants dans les basses couches de l'atmosphère en saison froide. Ces situations anticycloniques assurent une meilleure ventilation et dispersion des polluants atmosphériques en saison chaude.

Les concentrations moyennes de NO₂ et des autres polluants primaires diminuent rapidement avec l'altitude dans les 500 premiers mètres, notamment en hiver. Les inversions de température dépassent rarement l'altitude de 1000 m/mer même en hiver, si bien que les polluants primaires s'accumulent près du sol sur le Plateau suisse par situation anticyclonique hivernale, surtout en ville. Par conséquent, le cycle saisonnier disparaît au-dessus de 1000 m/mer environ et les concentrations de NO₂ et des autres polluants primaires sont pratiquement nulles sur les Alpes à 3500 m/mer. Cela confirme que les polluants primaires ont surtout une origine locale en Suisse et qu'il n'y a pas de transport significatif de ces polluants sur de longue distance à moyenne altitude, notamment par dessus les Alpes.

Avec les mesures d'assainissement prises par la Confédération Suisse et l'Union Européenne pour réduire les émissions, les concentrations moyennes annuelles des principaux atmosphériques primaires diminuent assez régulièrement depuis 1985 ou 1990 en Suisse, comme le montre la figure 2 pour le NO₂. A relever que cette baisse des concentrations se produit surtout dans les villes pour le NO₂ (le NO et les NOx) malgré une croissance du trafic motorisé d'environ 2% par an. Ainsi, la valeur limite d'immission annuelle de 30 µg/m³ en vigueur en Suisse pour le NO₂ était largement dépassée dans l'ensemble des agglomérations durant les années 1980 et au début des années 1990. Elle est dorénavant respectée dans la périphérie des agglomérations, mais encore dépassée au centre des grandes villes, notamment au bord des routes principales. Un tel dépassement est également encore mesuré actuellement au bord des routes à grand trafic en campagne, en particulier les autoroutes.

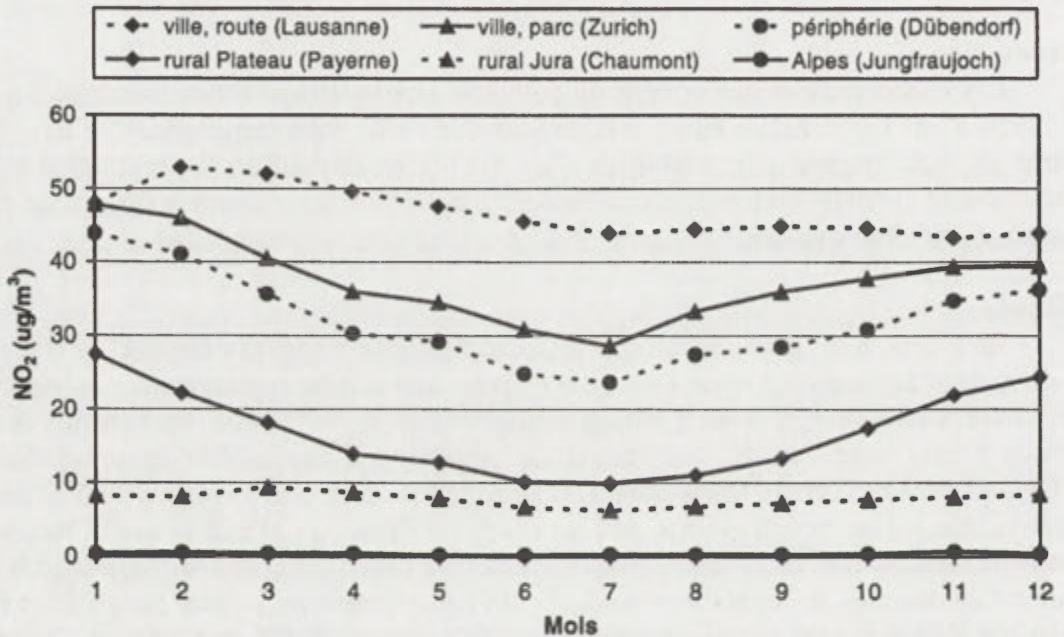


Fig. 1. Concentrations moyennes mensuelles de NO₂ en Suisse (1995-2001)

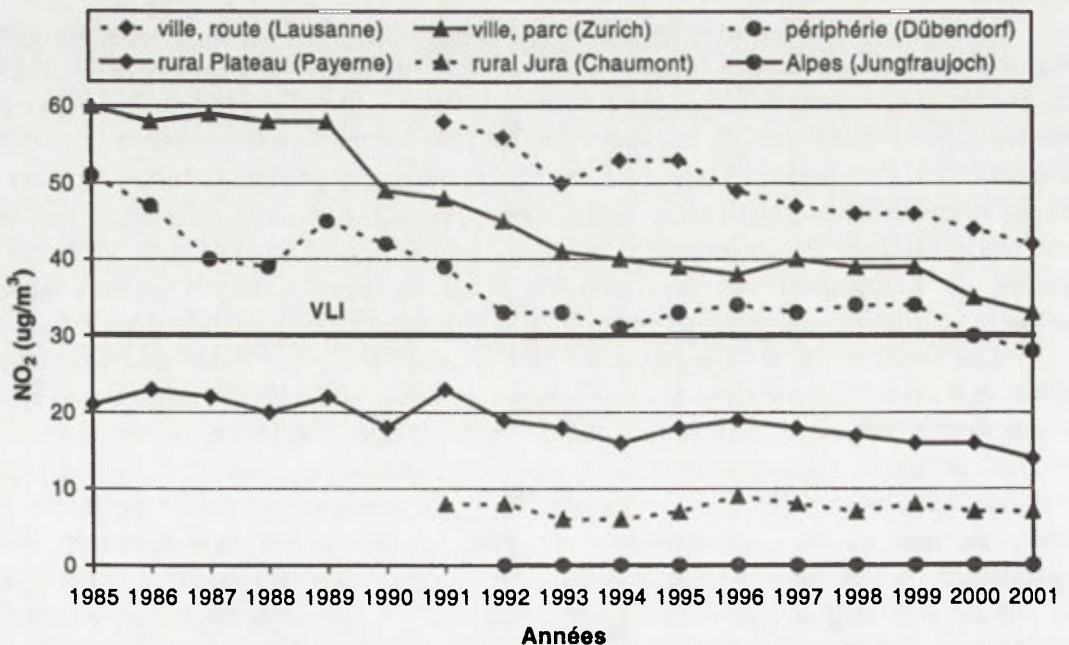


Fig. 2. Concentrations moyennes annuelles de NO₂ en Suisse de 1985 à 2001
VLI = Valeur limite d'immission annuelle pour le NO₂ en Suisse (30 µg/m³)

Les concentrations moyennes annuelles des poussières fines (PM10) tendent aussi à diminuer durant les années 1990, surtout à basse altitude. Elles dépassent actuellement encore légèrement la valeur limite d'immission annuelle de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dans les villes, alors qu'elles sont respectées de justesse en périphérie et en campagne à basse altitude. Les concentrations moyennes annuelles de SO_2 ont chuté depuis 1985, notamment dans les agglomérations, et elles respectent actuellement largement la valeur limite d'immission annuelle de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Suisse pour ce polluant. Il en va de même pour le CO. Cette baisse des concentrations annuelles devrait encore se poursuivre dans le futur pour tous les polluants primaires.

Par contre, les concentrations moyennes mensuelles et annuelles d'ozone évoluent très différemment (Fig. 3 et 4), car il s'agit d'un polluant secondaire se formant par réactions photochimiques au contact de certains polluants primaires comme les oxydes d'azote (NOx) et les composés organiques volatils (COV). L'intensité de ces réactions photochimiques augmente fortement avec le rayonnement solaire et la température, si bien que les concentrations d'ozone atteignent leur valeur maximale en saison chaude et en campagne, par temps bien ensoleillé. Les immissions de ce polluant secondaire sont les plus basses dans les centres villes, car la fabrication de l'ozone demande un certain temps et les NOx favorisent également sa destruction par le biais d'autres réactions. Or, les NOx sont plus nombreux en ville qu'en campagne. Les concentrations moyennes d'ozone augmentent aussi rapidement avec l'altitude et elles sont maximales entre 1000 et 2000 m/mer avant de diminuer quelque peu plus haut. Cela provient du fait que l'ozone est également présent naturellement dans l'atmosphère et que des transports de ce polluant se produisent à l'échelle continentale à moyenne et haute altitude par-dessus les Alpes. D'autre part, une partie de l'ozone produit au sol notamment par situation anticyclonique en saison chaude est transporté à moyenne et haute altitude par les courants ascendants durant le jour. Une fois arrivé à ce niveau, l'ozone va s'accumuler, car il ne sera pas détruit durant la nuit par déposition sèche et par les NOx peu nombreux comme près du sol. En hiver, les concentrations d'ozone restent assez élevées à moyenne et haute altitude, car les couches d'air chargées en NOx près du sol n'atteignent généralement pas ces niveaux et elles ne détruisent pas l'ozone présent naturellement à ce moment de l'année (Fig. 3).

Contrairement aux polluants primaires, les concentrations moyennes annuelles d'ozone ne diminuent pas, mais tendent même à augmenter durant les années 1990 (Fig. 4). De même, la fréquence des dépassements de la valeur limite d'immission horaire de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Suisse ne diminue pas non plus, car l'ozone est un polluant secondaire qui a plusieurs origines dans ce pays comme mentionné plus haut. Les études de pollution de l'air menées en Suisse ont montré qu'une baisse marquée des concentrations d'ozone nécessiterait une réduction des émissions des NOx et des COV d'au moins 70 à 80% dans ce pays et de 50% sur l'ensemble de l'Europe par rapport aux valeurs moyennes des années 1980 (OFEFP, 1996a et 1996b). Or, les émissions totales de NOx et de COV en Suisse n'ont diminué que de respectivement 35% et 47% de l'an 1985 à 2000, d'après les calculs effectués par l'OFEFP. D'autre part, l'Europe accuse un certain retard dans les mesures contre les émissions des polluants par rapport à la Suisse. Sinon, il faut prendre des mesures d'assainissement supplémentaires en premier dans les agglomérations, car elles émettent en gros le 80 à 90% des polluants primaires de ce pays dont les NOx et les COV (OFEFP, 1996b).

Conclusion

Les mesures in situ effectuées en Suisse montrent que la qualité de l'air s'améliore partout progressivement depuis 1985 ou 1990, sauf pour l'ozone. La situation est actuellement la plus préoccupante pour ce polluant secondaire, surtout en périphérie et en campagne où les valeurs limites d'immission en vigueur dans ce pays sont encore fréquemment dépassées en saison chaude. La situation est moins critique pour le NO_2 et les PM10, même si les valeurs limites d'immission annuelles sont encore dépassées dans les centres villes, plus rarement en périphérie et en campagne, au bord des routes à grand trafic. Par contre, les autres polluants

atmosphériques ne posent plus de problème nulle part en Suisse, car les valeurs limites d'immission sont partout respectées.

Bibliographie

OFEFP*, 1996: *POLLUMET. Luftverschmutzung und Meteorologie in der Schweiz*. Umwelt-Materiales Nr. 63 Luft.

OFEFP*, 1996: *L'ozone troposphérique. Résultats des recherches actuelles. Conséquences pour la lutte contre la pollution de l'air*. Cahiers de l'Environnement n°277.

OFEFP* = Office Fédéral suisse de l'Environnement, des Forêts et des Paysages

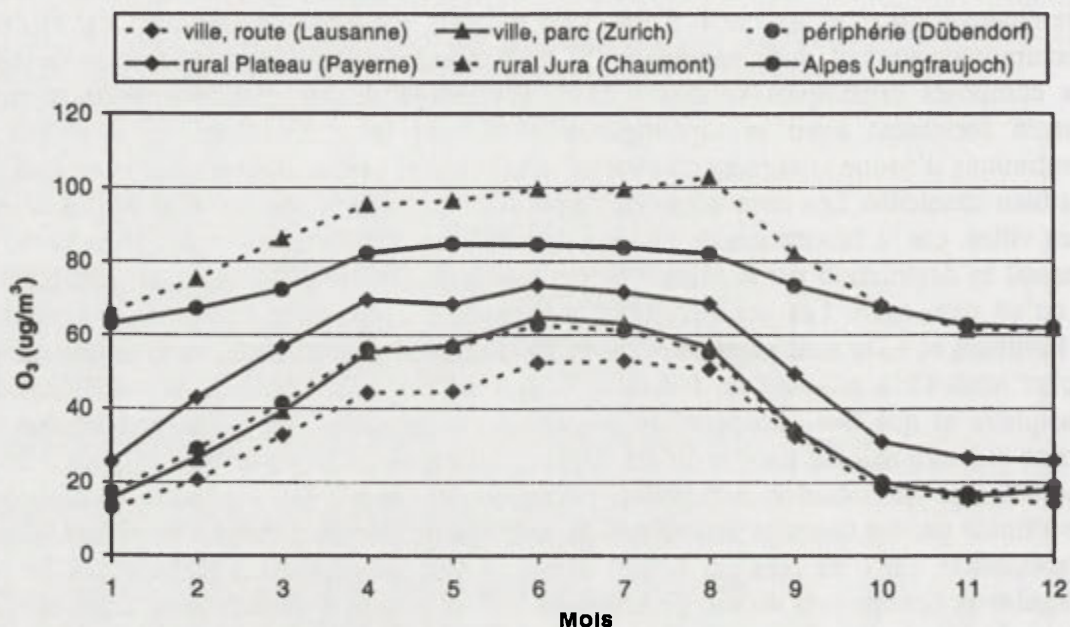


Fig. 3. Concentrations moyennes mensuelles d'ozone (O₃) en Suisse (1995-2001)

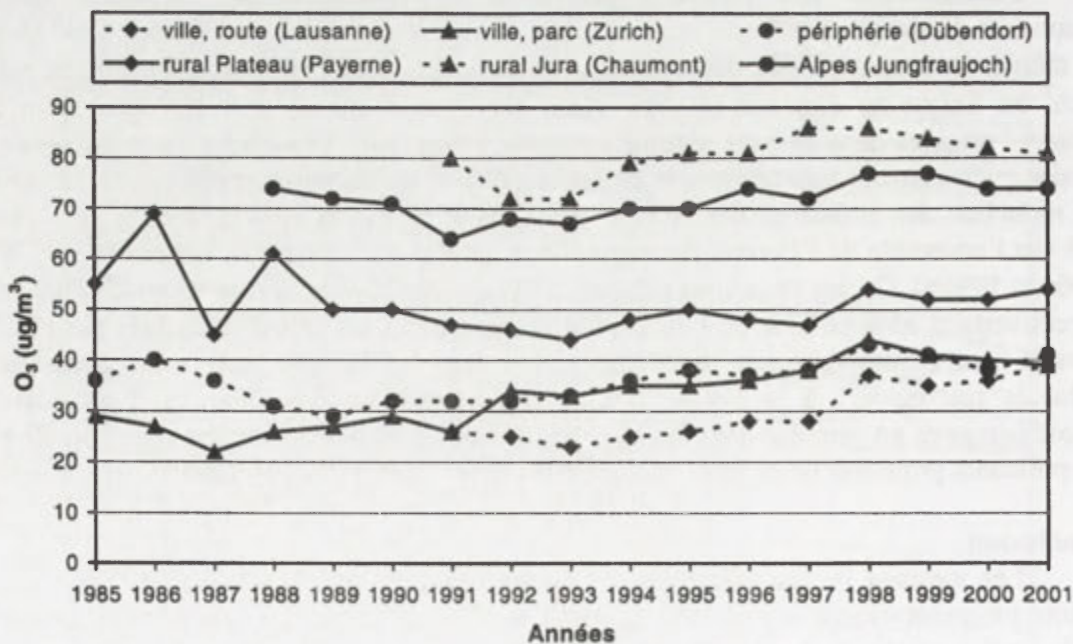


Fig. 4. Concentrations moyennes annuelles d'ozone (O₃) en Suisse de 1985 à 2001

NIVOMETRIE DANS LE TERRITOIRE DU TRENINO (ALPES ORIENTALES ITALIENNES) ET SES IMPLICATIONS TOURISTIQUES

M. FAZZINI*, S. FRATIANNI**, M. GADDO***

* *Dipartimento di Scienze Geologiche – Università Roma Tre – L.go S.Leonardo Murialdo,
00164 Roma, Italie, meteomax@katamail.com*

***Dipartimento di Scienze della Terra – 35, Via Valperga Caluso, 10125 Torino, Italie*

*** *Provincia Autonoma di Trento – Ufficio Neve, Valanghe e Meteorologia – 42, Via Galilei,
38100 Trento, Italie*

Mots clés: Couverture neigeuse, régimes nivométriques, fréquentation touristique

Abstract: This paper examines data from six meteorological stations with manual survey in Autonomic Region of Trentino (Italian East Alps) that are situated in the important “domains skiables”. We have also considered data of winter tourism (tourist-frequentation in hotels and residences). All the parameters of the snow have been also correlated with the tourist’s presences .

Introduction

L'étude se développe sur les données journaliers des seize dernières saisons d'hiver (période novembre-avril), à partir de la saison 1985-1986 pour les domaines skiables de San Martino di Castrozza (1460 m s.n.m.) Tesero-Alpe Pampeago (1775 m s.n.m); Andalo (1008 m s.n.m.), Pozza di Fassa (1380 m s.n.m.), Passo del Tonale (1880 m s.n.m) et Madonna di Campiglio (1650 m s.n.m.) jusqu'au mois d'avril 2002 (Tabl.1). Les villages touristiques sont situées dans une région touristique très connue pour la beauté de ses montagnes et la qualité des pistes, avec des domaines skiables très étendues, avec des altitudes variables entre les villages memes et 2200-3000 m.s.n.m.. Le but finale du travail est celui de rechercher quelque évidente corrélation directe entre enneigement et flux touristique, au niveau mensuel et saisonnier, et vérifier s'il y a des différents typologie de station d'hiver: stations le plus souvent intéressés des flux touristiques «local» (par exemple Andalo, San Martino di Castrozza) ou des «semaines blanches» (Madonna di Campiglio, Pozza di Fassa).

1.Caracterisation météo-climatique

La position géographique et l'extrême complexité orographique du territoire déterminent une remarquable diversification climatique; en quelque dizaine de kilomètres, on passe du climat sub-méditerranéen du Lac de Garda au climat glacial des reliefs de l'Ortles au climat continental et très sec des vallées les plus internes. En effet, la diversification du relief, avec des altitudes comprises entre 50 e 3905 mètres, la disposition irrégulière de plusieurs massifs et des vallées qui les séparent; la distance de la mer Adriatique, l'influence des neiges et des glacier dans les aires plus élevées contribuent à créer plusieurs situations topo-climatologique.

Tableau 1. Localisation et caractéristiques des stations considérées

Station	Mairie	Vallée	Altitude (m)	Neige moyenne saisonniere cm
San Martino di Castrozza -	Siror	Cismon-Dolomites	1460	284
Alpe Pampeago -	Tesero	Fiemme- Dolomites	1775	224
Andalo	Andalo	Adige- Massif de Paganella	1008	152
Pozza di Fassa	Pozza	Fassa – Dolomites	1380	134
Passo del Tonale	Vermiglio	Sole – Alpes Retiche	1880	489
Madonna di Campiglio	Pinzolo	Giudicarie -Dolomites du Brenta	1650	289

La distribution spatiale de l'enneigement est, par conséquence, absolument caothique; en générale, les précipitations montrent une baisse en procédent de su vers le nord ; avec un maximum dans les massifs de l'Adamello (Passo del Tonale) – et du Lagorai – Pale di San Martino qui se trouvent sur le vent respect aux flux méditerranéens; à 1500 mètres d'altitude tombent de 200 à 250 cm de neige tandis qu'à 2000 mètres les quantités s'accroissent jusqu'à 300-350 mm (mais au sommet du domaine skiable du tonale s'olntrepasent le 700 cm par an) avec un gradient nivométrique moyen de 31 cm pour 100 mètres; aux memes altitudes le neige reste au sol pour 100-140 jours et 150-200 jours selon l'exposition, avec un gradient de 10 jour pour 100 mètres d'altitude (Fazzini, 2001, Fazzini et al, 2002) et favorise d'une manière optimale la pratique des sports d'hiver entre la période decembre-avril. Les chutes de neige les plus abondants sont apportées principalement des dépression «sous le vent» qui se forment sur le gulf de Venise, richiamando les masses d'aire mites et humides de S et SE (le «scirocco») ou des perturbations atlantiques qui procédent vers les Balcans. Les régimes nivometriques dépendent surtout de l'altitude et de la position géographique, sous le 1200 mètres d'altitude on observe un régime unimodale d'hiver – par exemple à Andalo – (Biancotti 1998), caractérisé par un seul maximum au mois de janvier, entre 1200 et 1700 mètres et, en générale dans les vallées les plus internes (Pozza di Fassa,) le régime est «étalé» avec des chutes de neige uniformes dans les mois de decembre, janvier et février. Sur les Pré-Alps et au dessour de 1800 mètres le régime devient bi-modal avec deux maximum en novembre et en mars; seulement au dessour de 2400 mètres le maximum s'enregistre au printemps.

2. Analyses des données et méthode utilisée

Les donnés utilisés pour l'analyse appartiennent à divers bureau de la Province Autonome de Trento (Ufficio Neve, Valanghe e Meteorologia et Ufficio Statistica; ils ont été controlés, validées avec des méthodes très utilisées en climatologie; on a, d'abord calculé les trends mensuelles relatifs au *cumul* de la neige fraîche H_n et à la persistance de la neige au sol P_n . On a, ensuite considéré les paramètres les plus importants pour la pratique des sports d'hiver, c'est à dire l'épaisseur du manteau neigeux H_s ; – qui doit être majeur de 30 cm pour permettre le correct damage des pistes de ski alpin et nordique – et la température minimale de la nuit T – inférieur de -3°C – pour permettre la production de neige artificielle. A ce point la, on à considéré les présences touristiques relatives aux villages situés autour des domaines skiabiles. Plus en particulier, on a calculé la moyenne pour tous les mois (M_p) et on en a estimé le développement en individuant la droite de régression en fonction du temps t (les saisons) selon la forme $p' = b_p t + a_p$ pour toutes les stations. Enfin on a recherché une corrélation directe entre les deux variables, soi au point de vie saisonnier soi mensuelle, en cherchant de grouper et de quantifier pour caractéristique similaire le type de flux touristique.

3 Rapports entre enneigement et flux touristique

Les données de présence des villages touristiques situés près des stations météorologiques et des domaines skiables se réfèrent à la période comprise entre les saisons 1985-86 et 2000-01. Pour le domaine de Andalo on a considéré les structures des mairies de Andalo et Fai della Paganella, pour Pampeago celles de Predazzo et Tesero; pour San Martino di castrozza celles de Transacqua, Siror e Tonadico, pour Passo Tonale celles de Vermiglio, pour Madonna di Campiglio celles de Mezzana-Marilleva, Dimaro e Pinzolo. tandis que Pour Pozza di Fassa seulement celles du village homonyme

En analysant les données saisonniers (Fig.1 et Tabl. 2), il est évidente une generale hausse des présence, aussi durant les dernières saisons, assez peu neigeuses, grace au perfectionnement des installations de neige artificielle qui permet une skiabilité acceptable aussi aux altitudes inferieures à 1500 mètres (Andalo, Pozza di Fassa); la hausse devient tout à fait sistématique seulement et remarquable dans les domaines de Pampeago et Passo Tonale: l'accroissement depend pour la première station d'une strategie touristique de modernisation tres oculée tandis que pour la deuxième est très importante la présence du glacier de la Presena qui assure des perfectes conditions d'enneigement naturel dans toute la saison. C'est de toute facon naturel que, apres des saisons peu neigeuses et avec un climat doux les présences descendent – comme aux saisons '88-'89, '89/'90 et 92/93- tandis que, en général, la dernière saison, très neigeuse, a enrégistrée des résultats optimales. Le domaine de Madonna di Campiglio enregistre un nombre de presence presque egal à ceux des autres domaines additionnés (bien que l'entiere domaine de la haute Val di Fassa avec Campitello di Fassa et Canazei est le plus visités de la province); le domaine de San Martino di Castrozza n'enregistre aucun progres, nonostant que l'enneigement soie solitement très abundant et la celebrite du village toujours vive. Dans ce domaine les presences sont extrêmement influences de la presence du manteau neigeux surtout pour sa position géographique, assez proche de la plaine du Po et des grandes villes du Veneto, par consequence il est particulierement intéressé du flux touristique du «week-end» qui ne change beaucoup pendant les ans.

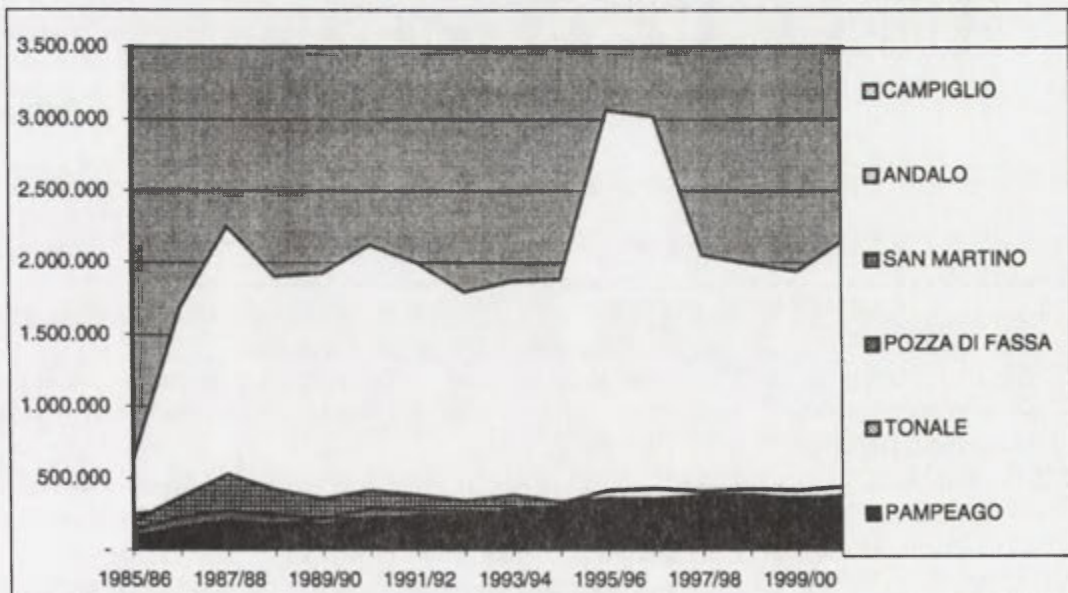


Fig.1. Totales des présences touristiques en les six domaines skiables analysés

En analysant le cours mensuel moyen par rapport aux régimes nivométriques, on peut observer que les villages du tourisme "d'élite" comme Madonna di Campiglio, San Martino et Andalo présentent un nombre de présences très élevé pendant les vacances de Noel, bien que, surtout dans le dernier village, il y a peu de neige; en janvier on observe l'exact rapport

Tableau 2. Caractéristiques touristiques des domaines skiables

DOMAINE SKIABLE	ALTITUDE MIN-MAX	KM PISTES	PRESENCES SAISONNIERES	TENDENCE ANNUELLE
ANDALO-PAGANELLA	1000-2126	50	354007	2011
CAMPIGLIO-SKIRAMA	1525-2542	145	2051657	8344
PAMPEAGO - LATEMAR	1775-2446	60	269849	3150
POZZA-VAL DI FASSA	1300-2585	180	285237	1788
S.MARTINO-P.SO ROLLE	1385-2383	80	377613	116
TONALE-PRESENA	1880-3026	50	237324	1977

entre quantité et qualité de la neige – solitement optimale aussi aux altitudes inférieures à 1500 mètres) – et présences; en février on enregistre des hausses dans les domaines les plus étendues (Pampeago, Campiglio, Tonale) qui sont très fréquentés des “semaines blanches”; en mars les pistes à altitudes plus remarquables – où la neige est abondante et les températures moins rigoureuses qu’en janvier et février – sont particulièrement “vives”, à tel point qu’ à Passo Tonale où il tombe 130 cm de neige) s’observent les présences les plus hautes de l’entière saison. En novembre seulement les stations de Campiglio, Passo Rolle (S. Martino) et de Passo Tonale ouvrent normalement les remontées pendant le week-end, tandis que dans les autres villages elles restent fermées.

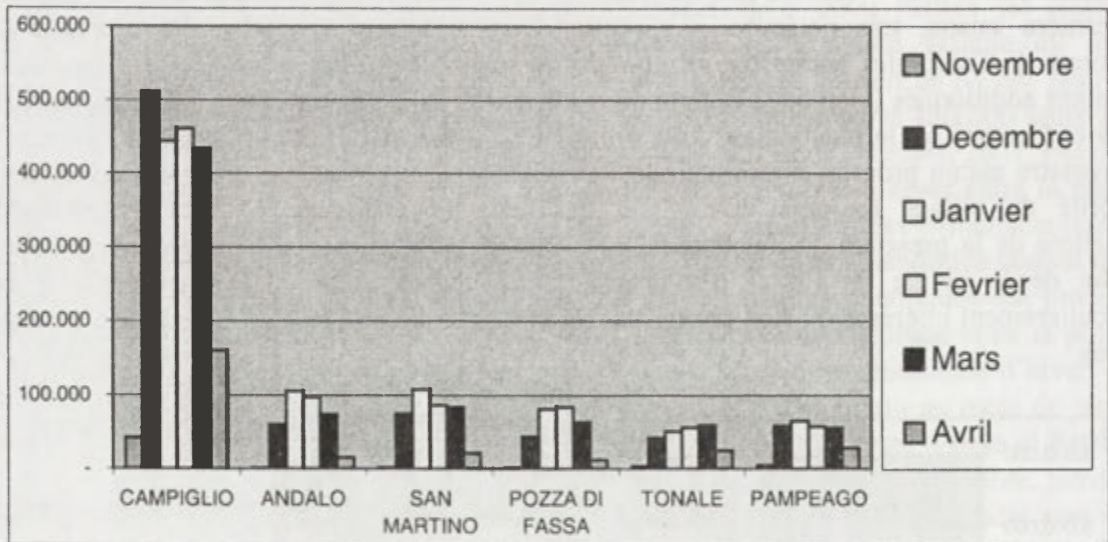


Fig. 2. Présences touristiques mensuelles dans les villages

Bibliographie

- BIANCOTTI, A., CAROTTA, M., MOTTA, L. et TURRONI, E., 1998: *Le precipitazioni nevose sulle alpi piemontesi*. Studi climatologici in Piemonte, 2, Regione Piemonte.
- FAZZINI, M., (2001). *Analisi statistica delle caratteristiche pluvio-nivometriche dei rilievi del Triveneto anche tramite la modellizzazione topo-geografica del territorio esaminato* Dottorato di Ricerca ined. Università degli Studi di Perugia.
- FAZZINI, M., BISCI, C., DRAMIS, F. et PAMBIANCHI, G., 2002. *Paramétrisation topo-geographiques et situations météorologiques locales dans les Alpes Orientales italiennes*. Actes XVI Colloque Association International de Climatologie, Besançon.
- FRATIANNI, S. et MOTTA, L., 2002: *Andamento climatico in alta Valle Susa negli anni 1990-99*. Studi climatologici in Piemonte, 4, Regione Piemonte.
- FRATIANNI, S. et MOTTA, L.,: *Etude de la nivometrie et de ses implications touristiques dans la vallée d'Aoste*. Actes XVI Colloque Association International de Climatologie, Besançon.

STRESS HYDRIQUE ESTIVAL ET INCENDIES DE FORET DANS LE NORD-OUEST DE LA TUNISIE

Mohamed FEKI, Annick DOUGUEDROIT
Institut de Géographie UMR 6012 ESPACE, Université de Provence
29, Avenue R. Schuman. 13621 Aix-en-Provence, France
m_feki@hotmail.com annick.douguedroit@up.univ-aix.fr

Mots clefs: stress hydrique; incendies de forêts; Tunisie

Abstract: More than half of the forests of Tunisia are in the North-West of the country where forest fires happen mainly during summer. The variations of fires (numbers and burnt surfaces) have been compared from 1990 to 2001 with the variability of the summer water stress determined according to the daily Penman formula.

Introduction

En Tunisie, les forêts jouent de multiples rôles, écologique, socio-économique et culturel. Malgré leur superficie réduite (6 % du territoire), elles contiennent d'importantes ressources et assurent des fonctions essentielles: production du bois, conservation des ressources en eau et en sol, et filtre pour les polluants. Elles favorisent l'emploi et les activités traditionnelles et conservent la biodiversité.

Notre zone d'étude est l'extrême nord-ouest de la Tunisie: la Kroumirie et le Mogoods. Elle fait partie des gouvernorats de Jendouba, Béja et Bizerte (Fig.1) où se concentrent plus de 50% des forêts tunisiennes (essentiellement des chênes). C'est la zone la plus arrosée, elle reçoit annuellement des quantités variant de 900 à 1500 mm (Fig.2). Nous proposons d'étudier la variation de nombre d'incendie de forêt en fonction de la variabilité du stress hydrique entre 1990 et 2001.



Fig.1. Zone d'étude

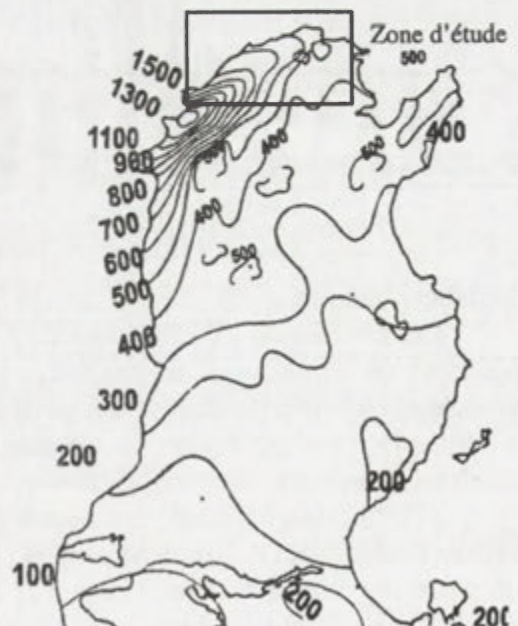


Fig. 2. Pluviométrie annuelle

Méthode

Nous avons retenu 4 stations: Tabarka, Jendouba, Béja et Bizerte. Les données climatiques ont été fournies par l'Institut Nationale de la Météorologie (I.N.M) pour les températures maximales et minimales, humidité relative, vitesse et direction du vent et durée d'insolation. Les précipitations ont été fournies par la Direction Générale des Ressources en Eaux (D.G.R.E). Les archives sur les incendies ont été récupérées auprès de la direction

générale des forêts, Ministère de l'Agriculture. Nous disposons de données journalières de 1990 à 2001 (sauf Béja de 1998 à 2001). Dans un premier temps, nous avons calculé le régime des feux. Puis, avec le logiciel Hydrolab (Laborde, Mouhous, 1998), nous avons calculé l'évapotranspiration potentielle (E.T.P) selon la méthode de Penman, l'évapotranspiration réelle (E.T.R) et la réserve facilement utilisable (RFU). RFU est une fraction de la réserve utile du sol que les racines peuvent puiser du sol avant que le manque d'eau devienne un facteur limitant du développement des plantes (Hénia, 1993). Cette réserve est maximale quand elle est de 150 mm et se vide à partir de 15 mm (Laborde et Mouhous, 1998). En fait, les plantes connaissent la sécheresse avant d'atteindre le seuil de flétrissement (la quantité d'eau minimale dans le sol avant le flétrissement des végétaux). Avec le bilan E.T.P-E.T.R, nous avons calculé le déficit en eau, ce qui a permis de caractériser le stress hydrique. Enfin, nous avons comparé l'évolution des différences interannuelles du stress hydrique avec l'évolution des nombres d'éclosion et des surfaces incendiées.

Résultats

- Saison des feux

La saison des feux commence en juin et de termine en septembre (Fig. 3). Bien qu'un incendie puisse se déclarer n'importe quelle période de l'année, les plus forts risques sont en été (juillet et août) et au début de l'automne (septembre). C'est une saison durant laquelle les conditions météorologiques sont favorables au déclenchement des incendies (Rajhi, 1991). Les températures les plus élevées de l'année, l'humidité la plus faible et les vents les plus chauds sont observés pendant cette période. A cela s'ajoute une activité humaine importante (travaux agricoles, moissons, plaisance, etc.). Les heures d'éclosion se concentrent entre 11 et 16h, période la plus chaude de la journée (Fig. 4).

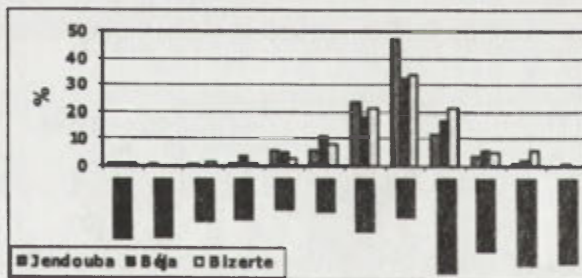


Fig. 3. Régime des feux (1990/2001).

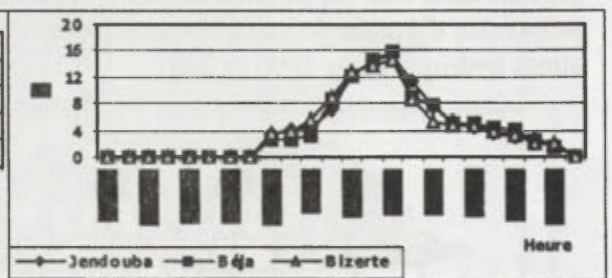


Fig. 4. Heures d'éclosion des feux.

- Le bilan hydrique

Les courbes de l'ETP et de l'ETR présentent un schéma classique du bilan hydrique spécifique au climat méditerranéen. La courbe de l'ETP marque une diminution rapide en automne et en hiver, pendant la saison des pluies et une croissance rapide au printemps due à un réchauffement important de l'atmosphère. Elle atteint son maximum en juillet (1^{ère} décade). Cette croissance coïncide avec le démarrage de l'activité photosynthétique.

L'ETR marque aussi une diminution rapide pendant l'automne et l'hiver. Elle est presque égale à l'ETP. Les précipitations reconstituent les réserves en eau du sol qui atteint son plein maximal possible (150 mm). Mais à partir d'avril, plus précisément de la 2^{ème} décade d'avril, l'ETR commence à baisser; l'écart entre ETP et ETR commence alors à se creuser ; les faibles précipitations n'arrivent plus à reconstituer les réserves. L'écart se creuse d'avantage en été où ETR chute brutalement en juillet et août (Fig. 5).

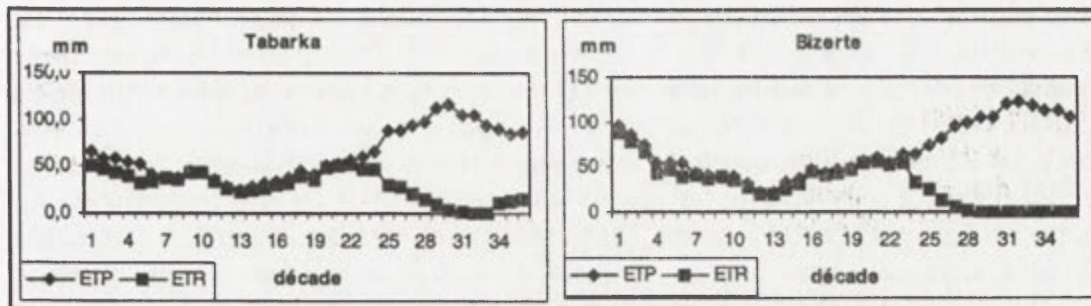


Fig. 5. Régime de l'ETP et de l'ETR (1989/1990-2000/2001)

Les réserves en eau du sol apparaissent épuisées en été par manque de précipitations. Le sol s'assèche (RFU inférieure à 15mm) à partir de la 2^{ème} décennie de juin à Tabarka et de la 3^{ème} du mois mai dans les autres stations. Les réserves ne se reconstituent qu'à partir de la 2^{ème} décennie de septembre. Le déficit en eau (ETP-ETR) est très important durant cette période, la végétation subit alors le stress hydrique.

- Evolution interannuelle du stress hydrique avec le nombre d'éclosion et les surfaces incendiées.

Le nombre d'éclosion des feux et les superficies parcourues montrent une grande variabilité d'une année à l'autre. Nous avons essayé d'expliquer cette variabilité par le stress hydrique (Tabl. 2), en comparant le nombre d'éclosions et les superficies brûlées avec la pluviométrie annuelle et le stock d'eau dans le sol. Nous avons utilisé les seuils de réserve en eau fixés par l'Institut National de la Météorologie (Tabl. 1).

Tableau 1. Intensité de la sécheresse (Source: Arif 1991)

Stock (mm)	150-100	100-50	50-30	Inférieur à 30
Sécheresse	nulle	assez forte	forte	très forte

Deux stations ont été retenues: Tabarka (pour Jendouba et Béja) et Bizerte, car se sont les stations les plus proches des forêts (Fig. 1).

Tableau 2. Variations interannuelles des incendies et du stress hydrique

Année	Jendouba			Béja			Bizerte		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1990	17	505	20/6-3/10	4	44,8	20/6-3/10	25	51	27/5-2/10
1991	0	0	19/6-7/9	2	25,8	19/6-7/9	4	15,5	24/5-5/10
1992	12	336,9	14/6-23/9	15	482,5	14/6-23/9	5	334,5	30/5-23/9
1993	11	329	16/5-1/10	11	209,5	16/5-1/10	28	1026,7	14/5-4/10
1994	16	3820,8	25/5-30/9	7	141,5	25/5-30/9	3	129	20/5-27/9
1995	0	0	12/7-12/9	2	7,6	12/7-12/9	1	30	10/5-23/9
1996	2	7,5	13/5-4/9	0	0	13/5-4/9	0	0	28/6-22/9
1997	6	51	1/6-23/9	2	65	1/6-23/9	5	29	20/6-6/9
1998	6	101	12/6-5/9	10	372	12/6-5/9	14	115,5	2/6-22/9
1999	33	482,9	11/6-9/10	5	157	11/6-9/10	19	156,1	17/5-6/11
2000	31	1095	14/6-28/9	4	14,5	14/6-28/9	7	26	15/6-8/9
2001	2	4	7/6-23/9	8	8	7/6-23/9	0	0	14/5-30/9

1 : nombre d'éclosion; 2: superficies parcourues en ha., 3: période du stress hydrique (réserve inférieure à 30mm).

Nous avons comparé les années où il y avait beaucoup d'incendies avec la répartition mensuelle des précipitations et le stock d'eau dans le sol. Pendant ces années, dont la pluviométrie est inférieure à la moyenne (année sèche), les superficies incendiées sont très importantes; les réserves ne sont jamais pleines et l'été est totalement sec. C'est le cas des années 89/90, 92/93, 98/99 et 99/2000 pour Tabarka et 92/93, 93/94 et 98/99 pour Bizerte.

Nous avons constaté que les incendies pouvaient avoir lieu même si l'année hydrologique est humide (supérieure à la moyenne). C'est le cas par exemple de l'année 91-92 à Bizerte (avec un total annuel de 669 mm et une moyenne de 603 mm), ou bien l'année 93-94 pour la région Jendouba-Béja (1200 et 1050 mm respectivement). Cependant, les mois juin, juillet et août ont été secs; les dernières pluies datent du début mai pendant ces deux années. Les réserves sont épuisées d'avril à septembre et les superficies incendiées ont été très importantes. Au contraire, les années 94-95 et 96-97 ont été des années sèches avec des superficies parcourues négligeables. Durant ces deux années, le mois de juin a enregistré une pluviométrie importante (plus de 30 mm dans les deux stations), ce qui a permis d'alimenter les réserves et d'abaisser le stress hydrique.

Ainsi, lorsque la réserve en eau du sol utile à la végétation approche de son épuisement et que l'alimentation en eau des plantes ne se fait plus par manque de pluies, la végétation subit le stress hydrique et devient inflammable; le risque d'incendie est alors très important (Douguedroit, 1991). D'où l'importance des pluies de juin dans l'alimentation des réserves si celles-ci ont été épuisées dès la fin du mois de mai.

Conclusion

Les incendies de forêts sont très fréquents en été en Tunisie. La saison des feux caractérise les mois de juillet et août entre 11h et 16h. Le bilan hydrique montre des réserves pleines en automne et hiver et vides à la fin du printemps et tout l'été. Les incendies des forêts sont très liés à l'évolution du stock d'eau dans le sol au cours de l'année : il dépend du rapport entre l'ETP et l'ETR. Les valeurs maximales de la première et minimale de la seconde coïncident en été, à cause des faibles précipitations. Qu'une année soit humide ou sèche, si ce stock est épuisé dès fin mai et que le mois de juin est sec, le risque d'incendie est très important en juillet et août, voire même septembre.

Bibliographie

- ARIF, A., 1991: Situation climatique et déclenchement des incendies de forêts. [Dans:] *Réunion technique sur l'information météorologique et les incendies de forêts*. Rabat, du 25 au 30 novembre 1991: 129-156.
- DOUGUEDROIT, A., 1991: Le risque à court terme d'incendies de forêts en région méditerranéenne française. [Dans:] *1^{er} colloque sur les applications de la Météorologie et leurs Intérêts économiques*: 153-166.
- HENIA, L., 1993: *Climat et bilan de l'eau en Tunisie: essai de régionalisation climatique par le bilan hydrique*, Publication de l'Université de Tunis.
- LABORDE, J.P. et MOUHOUS, N., 1998: *Notice d'utilisation du logiciel hydrolab*.
- RAJHI, M., 1991: Assistance météorologique à la lutte contre le feu de forêts. [Dans:] *Réunion technique sur l'information météorologique et les incendies de forêts*. Rabat, du 25 au 30 novembre 1991: 37-53.

LES INVENTAIRES D'ÉMISSIONS SPATIALISÉS DU PROGRAMME ESCOMPTE: RESULTATS, DISCUSSION ET FUTURES APPLICATIONS

S. FRANCOIS*, E. GRONDIN*, S. FAYET **, J.-L. PONCHE *

- *Laboratoire de Physico-Chimie de l'Atmosphère (LPCA – Centre de Géochimie de la Surface (UMR 7517 du CNRS et Département de Chimie de l'Université L. Pasteur de Strasbourg), 1 rue Blessig, F-67084 Strasbourg Cedex. francois@illite.u-strasbg.fr*

** *AIRMARAIX, 67-69 Avenue du Prado, F-13286 Marseille cedex 6*

s-fayet@airmaraix.com

Mot clés: modélisation des émissions, inventaires d'émissions annuelles et horaires, Marseille, région Provence – Alpes – Côte d'Azur, ESCOMPTE

Abstract: The emission inventories performed in the frame of the ESCOMPTE program have required important means in regards to the goals of both the ESCOMPTE program and to the regional scale air quality management. This database concerns an investigation domain of 140x140 km² centered around Marseille's urban unit with a spatial resolution of 1x1 km². The time resolution is yearly for 1999 and hourly for the intensive observation periods (IOPs) of the measuring campaign of 2000 and 2001. This database, which includes both all anthropogenic and biogenic emissions of about 170 chemical compounds, has been completed in parallel with actualization and management software procedures and already constitutes an operational tool for the management of the atmospheric environment. The purpose of this communication is to present and to discuss the results of the ESCOMPTE inventories obtained since the end of 1999 and to briefly describe the further applications

Introduction

L'élaboration d'inventaires spatialisés d'émissions atmosphériques est devenue une étape incontournable aussi bien pour la gestion de l'environnement atmosphérique que pour alimenter les modèles de qualité de l'air et ainsi mieux comprendre le devenir, les interactions et les impacts des composés chimiques émis dans l'atmosphère. Si la compréhension des situations météorologiques et climatologiques reste prépondérante pour prévoir l'émergence de conditions favorables aux épisodes plus ou moins aigus de pollution atmosphérique, il est devenu tout aussi fondamental de connaître la composition, et les flux de composés chimiques issus des sources pour pouvoir améliorer à court et moyen terme la qualité de l'air à l'échelle régionale. Ainsi les cadastres d'émissions à hautes résolutions spatiale et temporelle permettent de prévoir et de tester différentes stratégies d'amélioration de la qualité à l'aide de mesures de réductions ciblées sur des sources d'émissions particulières (Vinuesa et al, 2000) ou certains composés (Vinuesa et al., 2003). Depuis 1991, le LPCA a constamment développé les aspects méthodologiques de la réalisation de ce type de base de données (Ponche et al., 2000) et les cadastres ESCOMPTE sont notamment un aboutissement de ces recherches.

Le programme "ESCOMPTE" (**E**xpérience sur **S**ite pour **C**ontraindre les **M**odèles de **P**ollution atmosphérique et de **T**ransport d'**E**missions) s'était donné pour objectif d'établir une base de données de qualité de l'air (émissions et mesures de concentrations de précurseurs et de polluants photochimiques) à haute résolution sur la région de Marseille. La zone d'étude centrée sur l'unité urbaine de Marseille – Aix en Provence d'une extension de 140x140 km² a été sélectionnée pour ses spécificités (dynamique complexe, complexité des sources d'émissions, ...) qui en font une région pertinente du point de vue de la climatologie et de la photochimie. Pour réaliser les cadastres d'émissions ESCOMPTE, un groupe de travail a été constitué et le LPCA a été chargé d'assurer plusieurs tâches dont la coordination des travaux sur ce thème. Les travaux relatifs aux cadastres ont été effectués en partenariat avec différents prestataires: AIRMARAIX pour la collecte des données et la coordination à l'échelle régionale, MVA Consultancy pour les

sources mobiles, ARIA Technologies pour les sources fixes et l'Ecole Nationale Supérieure des Ingénieurs en Arts Chimique et Technologies (ENSIACET) de Toulouse pour les sources biogènes (Fig. 1). L'ensemble des travaux a été suivi et validé par un Comité, composé d'experts (ADEME, LPCA, AIRMARAIX...).

Les spécifications des cadastres et de la base de données ainsi que les aspects généraux de cette méthodologie ont déjà été détaillées (CDC, 2000; François et al. 2000) et ne seront présentés ici que les résultats obtenus et leur applications.

1. La structuration de la bases de données ESCOMPTE

Pour les raisons de réalisation évoquée précédemment, la base de données d'émissions est composée de trois contributions traitant les sources fixes anthropiques, mobiles et biogènes. Cette base de données surfacique est complétée par les bases de données de sources ponctuelles pour les GSP (Grande Sources Ponctuelles industrielles) anthropiques et les cycles LTO (Landing Take Off) des avions dans les sources mobiles (sources linéaires discrétisées). Les liens nécessaires entre les bases de données assurent la correction et le non double compte des bilans en particulier énergétiques.

2. Le cadastre annuel pour l'année 1999

Les résultats du cadastre sont agrégés toutes activités confondues pour la fourniture de données aux modélisateurs mais les bases de données sont disponibles au niveau SNAP le plus fin cohérent avec la méthodologie de calcul (SNAP 3 1997 officielle ou SNAP niveau 4 modifiée). Ces données fines ont déjà été revalorisées par AIRMARAIX en particulier dans la réalisation du Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA) sur les Bouches du Rhône (Fig. 2 et 3). Ce cadastre représente une sensible amélioration des données disponibles, que ce soit au niveau des espèces considérées (près de 170 avec les spéciations de COV), de la finesse de répartition spatiale (maillage kilométrique) et des données utilisées (usage conjoint des bases de données BDCARTO, SIRENE, INSEE au niveau IRIS, statistiques fines sur les combustibles, etc.).

3. Les cadastres horaires des POIs

Pour les besoins de l'exercice de modélisation, des cadastres horaires ont été produits pour l'intégralité des POIs de l'expérience ESCOMPTE (plus 1 ou 2 jours précédant chaque POI). L'ensemble constitue une base de données de 23 journées, à la résolution horaire, pour les sources surfaciques et ponctuelles. L'ensemble de ces données d'émissions agrégées et spéciées pour les COV ont été mises à disposition des modélisateurs au courant du premier trimestre 2003 pour servir aux équipes de modélisateurs participant au programme ESCOMPTE.

4. Applications

L'exercice de modélisation principal du programme ESCOMPTE est actuellement en cours de réalisation. Il consiste en une modélisation en aveugle pour la période du 20 au 26 juin 2001. Les données d'émission de polluants primaires et les données de dynamiques sont à la disposition des modélisateurs mais ils ne disposent pas des mesures de polluants secondaires. Leurs résultats seront comparés avec les données mesurées à la fin de l'exercice afin d'évaluer l'aptitude des modèles à reproduire les mécanisme photochimiques.

Dans le prolongement de cet exercice et dans le cadre du programme PRIMEQUAL II, l'établissement de scénarios d'émissions à l'horizon 2010 pour la gestion de la qualité de l'air en région PACA va être fait selon la méthode suivante : un scénario « tendanciel » ne prenant en compte que les évolutions socio-économiques prévues sera réalisé et on lui appliquera quatre niveaux de modulation des émissions (évolutions nationales courantes, évolutions nationales et locales courantes, mesures d'urgence courantes et mesures d'urgence volontaristes).

5. Conclusions

Dans le cadre d'une collaboration entre AIRMARAIX / LPCA et du programme PRIMEQUAL II, des outils logiciels complétant ceux du programme ESCOMPTE vont venir étoffer la plateforme de modélisation des émissions PACA, notamment dans le domaine de la production de scénarios d'émissions et le suivi de la réalisation des inventaires, dotant la région d'un outil opérationnel et exhaustif d'évaluation des émissions à vocation d'étude tant diagnostique que pronostique.

Bibliographie

- CDC; 2000: Programme ESCOMPTE – Réalisation des cadastres d'émissions – Cahiers des charges préliminaires pour les différentes contributions aux émissions atmosphériques ESCOMPTE, document établi pour l'ADEME et disponible auprès de la Direction de l'Air de des Transports, 27 rue Louis Vicat F75737 Paris Cedex 15, Février 2000.
- IPCC, 2000: Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, disponible auprès de IPCC NGGIP, C/o Institute for Global Environmental Strategies, 1560-39 Kamiyamaguchi, Hayama, Kanagawa 240-0198 Japan.
- PONCHE, J.L., SCHNEIDER, Ch. et MIRABEL, Ph.; 2000: Methodology and results of the REKLIP atmospheric emission inventory of the upper Rhine valley transborder region. *Water, Soil and Air Pollution*. Vol. 124, 61-93.
- FRANÇOIS, S., BOISSARD, C., MIRABEL, Ph., NOPPE, J. et PONCHE, J-L., 2000: Méthodologie des cadastres d'émissions atmosphériques: Application au programme ESCOMPTE. *Publications de AIC*; 13, 493-499.
- VINUESA J.-F., HYACINTHE, C., FAYET, S., PERRON, G., MIRABEL, Ph. et PONCHE J.-L., 2000: Sensibilité de la qualité de l'air dans la vallée du Rhin supérieur aux normes d'émissions européennes à l'horizon 2015. *Publications de AIC*; 13, 547-557.
- VINUESA, J.-F., MIRABEL, Ph., PONCHE, J.-L., 2003: Air quality effects of using reformulated and oxygenated gasoline fuel blends: Application to the Strasbourg area (F). *Atmospheric Environment*, 37, 1757-1774.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient l'ADEME (Agence De l'Environnement et la Maîtrise de l'Energie) et les réseaux de qualité de l'air AIRMARAIX (Marseille) qui financent M. S. FRANCOIS.

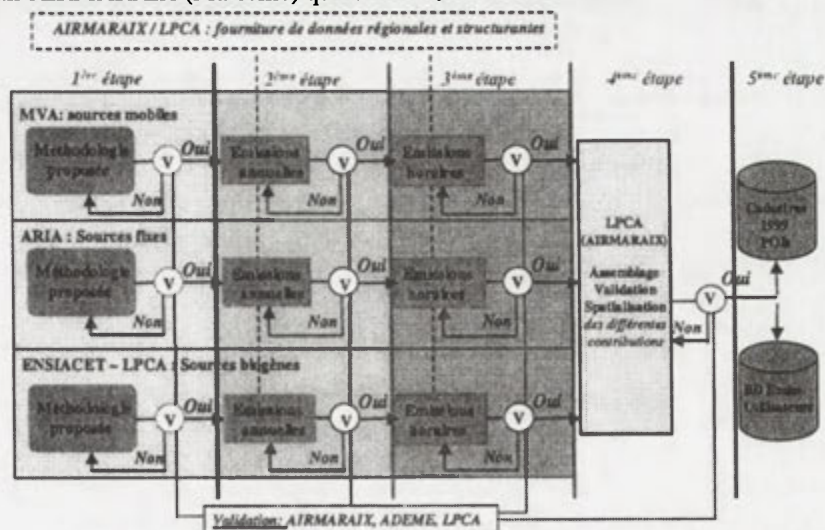


Fig. 1. La procédure d'élaboration des cadastres ESCOMPTE

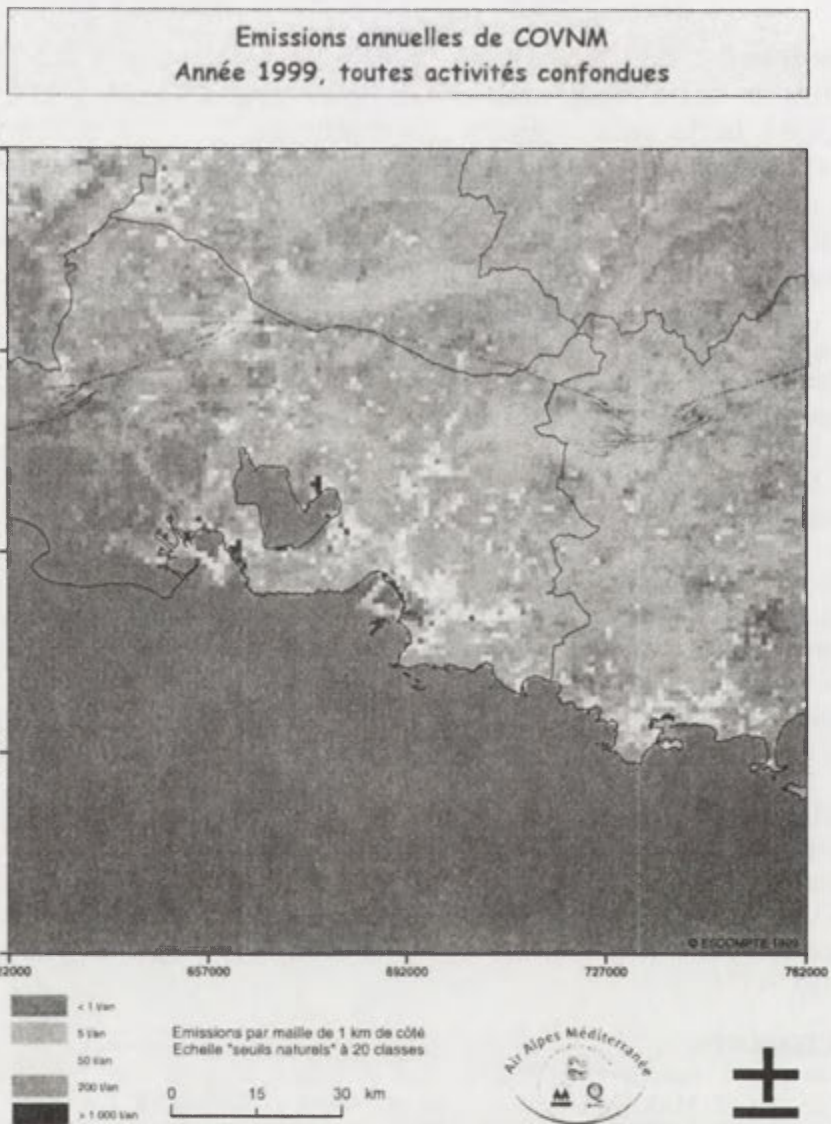
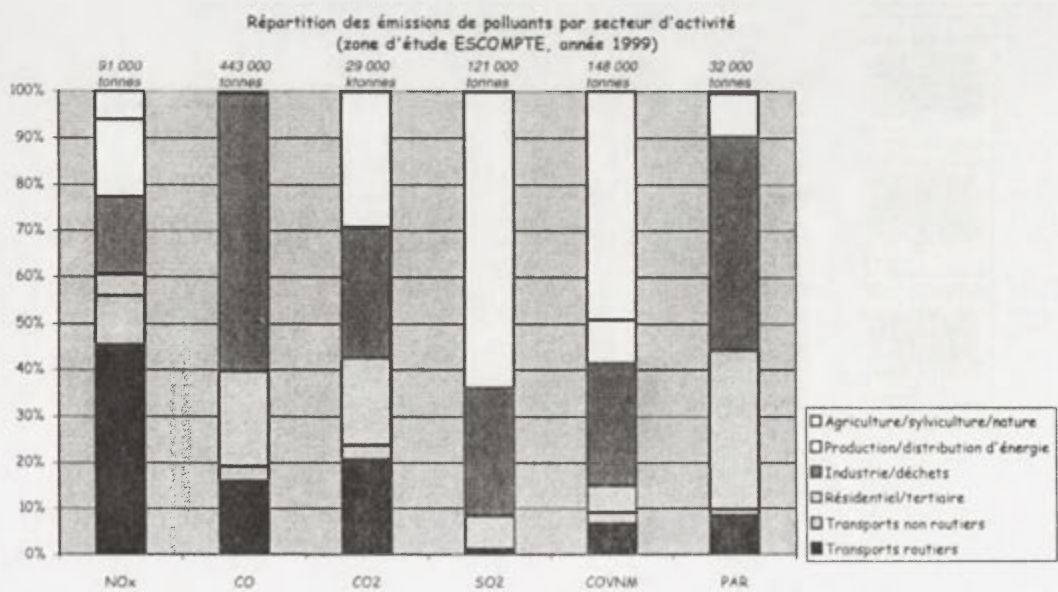


Fig. 2. Exemple de cadastre d'émissions 1999



ANALYSE CLIMATIQUE DE LA STATION DE CAPO MELE (IM) (Ligurie, Italie) DANS LA PERIODE 1964-2002: IMPACT SUR LE TOURISME D'ETE

Simona FRATIANNI

Dipartimento di Scienze della Terra –Università degli Studi di Torino

Via Valperga Caluso 35, 10125 Torino, Italia

simona.fратиanni@unito.it

Mots-clés: précipitation, température, excursion thermique, humidité relative, heures de soleil, bien être physique, vitesse et direction du vent, sports d'été, numéro de jours pour la pratique du surf

Abstract: For this work, daily data from the Capo Mele (220 m. a.s.l.) weather station, in the Andora (SV) district – Western Liguria (Italy) – have been taken into consideration. This is an Airforce station, which is fully automatic. A climatic analysis considering all available variables – temperature, precipitations, humidity, sunshine, wind has been performed. Climatic indexes useful for bathing tourism have also been calculated.

Introduction

On a considéré les données journalières de la station météorologique de Capo Mele, située dans la commune de Andora (SV) dans la Région ligurienne (Italie). Elle est une station à relèvement automatique de l'Aéronautique Militaire: la période des analyses climatiques commence en 14/11/1963, année de l'installation, jusqu'en 30/11/2002. Le site météorologique se trouve sur un promontoire à une altitude de 220 m et donne sur la mer Ligure: pour ce motif, l'analyse climatique a aussi une valeur touristique.

Méthode

On a pris en considération tous les éléments climatiques disponibles: la pluie, la température, l'humidité relative, la radiation solaire, le vent.

Ne dérive l'application de l'analyse climatique par l'élaboration statistique des données collectés à niveau annuel, mensuel et saisonnier. De données journaliers sont suivi les calculs des valeurs moyennes mensuelles de la précipitation cumulée, de l'humidité relative maxime et minime et de la température maxime et minime avec l'estime de l'excursion thermique. En autre, on a calculé la fréquence de la direction de provenance prévalent du vent et son maxime vitesse. Parmi toutes les variables climatiques, on en a choisi quelqu'un pour leur impact sur le tourisme d'été: la vitesse du vent, la température de l'air, l'humidité relative, les précipitations journaliers et les heures d'insolation pour le calcul du confort thermique et pour mettre aussi en évidence les conditions climatiques favorables à la pratique des sports d'été à la mer.

Résultats

Pour obtenir des informations sur le climat de Capo Mele, on a construit le climogramme de Péguy (1970) avec l'indication du degré d'aridité selon De Martonne (Fig.1). Touts les mois sont situés dans l'optimum climatique à l'exception de juin, juillet et août que tombent dans le domaine aride. Mai et septembre se situent à la limite entre climat optimum et aride.

En considérant le cours saisonnier, le trend de la température moyenne et des précipitations (Fig.2) résultent croissants avec un gradient positif. Le maximum de pluie se vérifie pendant la période juin-septembre 1992 (195,5 mm) et le minimum en 1986 avec 12,8 mm. Le maximum de température moyenne tombe pendant l'été du 1994 avec 23,8°C enregistrés et le minimum dans le 1984 (20,3°C).

Les valeurs moyennes mensuelles des précipitations sont étés utilisées pour évaluer le régime du Mori (1969). La saison plus pluvieuse est l'automne avec 133 mm (maximum en octobre), la plus aride est l'été avec 33 mm (minimum en juillet). L'hiver et le printemps ont la même quantité des apportes de précipitations (96 mm). Pour ce motif le régime est de transition entre le submediterranée et le sublittoranée.

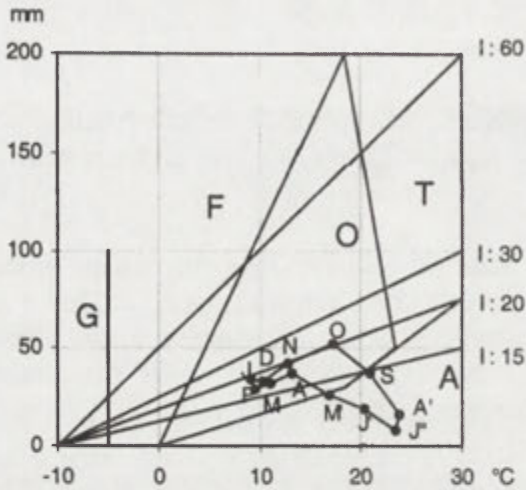


Fig. 1. Climogrammes de Péguy et représentation de l'index de De Martonne (I).

G: domaine gelé; F: domaine froid;
O: optimum climatique; T: domaine tropical;
A: domaine aride

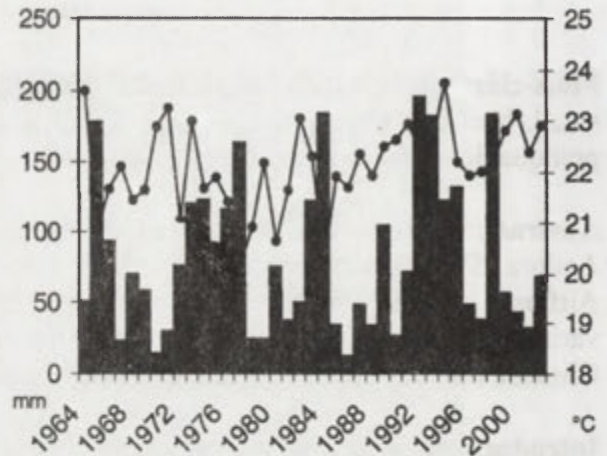


Fig. 2. Cours moyen saisonnier (juin–septembre) des précipitations et de la température moyenne

Pour cette étude se sont aussi utilisés les données des événements météorologiques enregistrés par la station de 1981 au 2002. On a calculé le nombre moyen de jours (Tabl .1) dont s'il avait un type de condition contraire (jours de pluie, d'orage, de brouillard, de neige...). Les jours défavorables au tourisme d'été sont très rares et sont présent surtout des épisodes de orage (4 jours d'orage et 2 de pluie en août, 3 et 2 en juillet).

Tableau 1. Moyennes mensuelles calculés pendant la période 1963-2002

	P	TM	Tm	Ex	HM	Hm	DV	VM	I	THI	K	p	a	g	o	n	gi	r	b	t
janvier	34	12	6.6	5.4	80	47	N	13.9	4	12.6	853	5	0	0	0	1	0	2	1	0
février	29	12	6.7	5.3	81	46	N	14.9	5	13.0	820	4	0	0	1	0	0	1	1	0
mars	32	14	8.1	6.1	84	47	N	14.9	6	14.3	746	4	0	0	1	0	0	3	2	0
avril	38	16	10	6	86	51	SW	14.4	6.5	15.8	661	7	1	0	1	0	0	3	3	0
mai	26	20	14	6	89	55	SW	12.9	7.5	18.6	507	6	1	0	2	0	0	3	3	0
juin	19	23	17	6	89	53	SW	11.9	8.5	21.2	366	3	0	0	2	0	0	4	1	0
juillet	8	27	20	7	89	52	SW	11.3	9.5	23.5	238	1	0	0	3	0	0	3	1	0
août	16	27	21	6	88	52	SW	11.3	9	23.9	218	2	0	0	4	1	0	4	1	1
septembre	38	24	18	6	87	52	SW	12.3	7	21.5	346	4	1	0	4	0	0	3	1	0
octobre	53	20	15	5	83	53	N	13.4	5.5	18.7	501	7	1	0	3	0	0	3	1	0
novembre	42	15	10	5	82	47	N	14.4	4.5	15.1	694	7	0	0	2	0	0	2	0	0
décembre	33	13	7.7	5.3	80	49	N	14.9	4	13.3	799	6	0	0	0	0	0	2	1	0

P: précipitations en mm; TM: température maximale (°C); Tm: température minimale (°C); Ex: excursion thermique (°C); HM: Humidité maximale relative (%); Hm: Humidité minimale relative (%); DV: direction du vent; VM: vitesse maximale du vent (en m/s); I: durée de l'insolation en heures; THI: complexe thermo-hygrométrique (°C); K: complexe thermo-anémométrique (W/m^2); p: nombre de jours de pluie; a: nombre de jours d'averse; g: nombre de jours de grêle; o: nombre de jours d'orage; n: nombre de jours de neige; gi: nombre de jours de givre; r: nombre de jours de rosée; b: nombre de jours de brouillard; t: nombre de jours de trombe d'air o d'eau.

L'un des paramètres les plus important pour la baignade est sans conteste la vitesse du vent et la température or complexe thermo-anémométrique et, après, le complexe thermo-

hygrométrique. La combinaison de la température et du vent peut être saisie à travers le pouvoir réfrigérant de l'air, qui évalue la quantité de chaleur prélevée au corps pendant l'unité de temps et que l'on calcule à l'aide de la formule de P.A. Siple et Ch. F. Passel (1945). Les conditions les meilleures de bien-être physique se réalisent entre 350 et 700 W/m² et comprends donc les mois de avril-juin et septembre-novembre (Tabl. 1). En juillet et août l'organisme se dirige contre l'échauffement, mais l'inconfort s'accroît seulement avec 58 W/m². Les valeurs des mois hivernales sont faiblement supérieures à l'optimum.

Plus l'air est hors de son point de saturation (donc plus l'humidité relative est basse) et plus l'individu a le pouvoir de lutter efficacement contre l'échauffement. On utilise couramment la formule de E. C. Thom (1959) pour cerner la combinaison de la température et de l'humidité relative. Les mois de printemps et d'automne présentent l'optimum (entre 15 et 20°C); toutefois, les autres mois s'éloignent peu de cette situation (maximum en août avec 23,9°C).

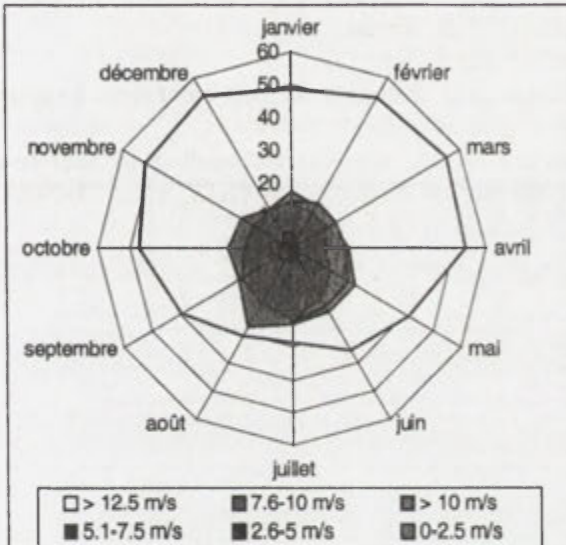


Fig.3. Classes d'intensité du vent maximale pour la pratique du surf (en pourcentage).

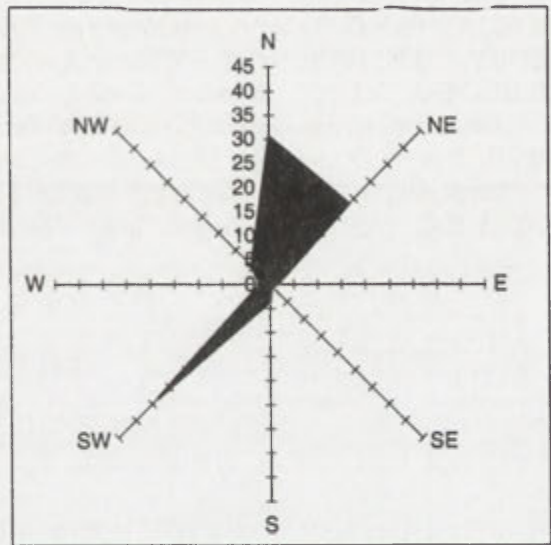


Fig.4. Fréquence moyenne de la direction du vent (en pourcentage).

On a déjà noté que les activités sportives et récréatives pratiquées par les touristes avaient leur propres besoins climatiques, qui viennent se surimposer aux exigences fondamentales du vacancier. En effet, il est permis de souligner le rôle décisif du vent pour la pratique des différents sports et loisirs nautiques. Une mer plate (vent entre 0 et 2,5 m/s) ne permet guère d'activités intéressantes, et contraint souvent au repos. En présence d'une plus forte animation de l'air, plusieurs cas doivent être distingués en fonction de l'expérience des pratiquants. Les spécialistes recommandent aux débutants de ne pas s'exposer à un vent dont la vitesse dépasse 5 m/s. Les sportifs qui ont acquis un bon niveau technique peuvent s'accommoder d'une mer creuse ou peu agitée (vent de 5,1 à 7,5 m/s). Les surfeurs et les véliplanchistes les plus avertis, sur leur fun boards, recherchent même les sensations vigoureuses que peut leur procurer une mer assez forte ou agitée, en présence d'un vent soufflant entre 7,6 et 10 m/s. Au de-là de 10 m/s ou, à plus forte raison, au de-là de 12,5 m/s, la sécurité est gravement compromise et toute activité doit être prohibée. De mai à octobre se réalisent les meilleures conditions pour la pratique du surf et kite-surf à tous les niveaux techniques, avec plus de 50% de jours de vent entre 2,5 et 12 m/s. L'optimum est concentré dans le mois de juillet (71%). Pour ce motif Andora est un site très connu de véliplanchistes et surfer et où il y a souvent des manifestations nautiques nationales et internationales.

Conclusions

Une analyse précise des données climatiques devrait, tout en garantissant leur rentabilité, constituer un élément décisif du choix des équipements les mieux adaptés à un marché. «A chaque spécificité climatique, note J. Billet (en Besancenot, 1990), doit correspondre une sélectivité touristique. La combinaison des multiples éléments du climat dont l'homme, touriste ou non, subit en permanence l'assaut convergent, constitue une réalité indissoluble».

Bibliographie

BESANCENOT, J.P., 1990: *Climat et tourisme*. Masson, Paris.

ESOURROU, P., 1980: *Climat et tourisme sur les cotes françaises de Dinard à Biarritz*. Paris, Univ. Paris I, 3 vol.

FRATIANNI, S., 2002: Une contribution au calcul des indices climatico-touristiques: un exemple dans la haute Vallée de Susa (Nord-Ouest Italie). *Publications de l'AIC*, Seville 14: 319-326.

MORI, A., 1969: *Carta del regime delle precipitazioni*. C.N.R., Roma.

PEGUY, CH.P., 1970: *Précis de Climatologie*. Masson, Paris.

SERRAMEA, J., 1980: Un indice climatico-touristique pour quelques stations balnéaires françaises. *Annales de Géographie*, t. LXXXIX, n°495.

SIPLE, P.A. et PASSEL, C.F., 1945: Measurements of dry atmospheric cooling in subfreezing temperatures. *Proceedings of the American Philosophical Society*, t. LXXXIX, n°1, 177-199.

THOM, E.C., 1959: The discomfort index. *Weatherwis*, t. XX.

ETUDE HYDROLOGIQUE D'UN MICRO BASSIN – ECOULEMENT, EROSION, RELATION AVEC LES PRATIQUES CULTURALES

*René FURY *, Jean Paul JACQUINOT ***

** Météo-France- 36 av de l'Observatoire- 25000 Besançon – France*

email: rene.fury@meteo.fr

*** Chambre Régionale d'Agriculture- Valparc/Valentin Est- 25048 Besançon Cedex – email: jpaul-jacquinot@franche-comte.chambagri.fr*

Mots clés: hydrologie, climatologie, précipitations, écoulements, stations de mesures, agronomie, pédologie

Abstract: On a small wine growing basin (38 ha) we analyse the relation between rain and drainage from data measured each minutes. We deduce from this result some advices on the agricultural practice to minimize erosion and rejection.

Introduction

La Franche Comté abrite un vignoble avec 3 AOC (Arbois, Château Chalon, l'Etoile) en bordure du massif du Jura.

Dans le cadre d'un programme d'étude sur l'érosion des sols viticoles, soutenu par la région Franche Comté et l'Europe, le Groupe Régional Agronomie Pédologie conduit une démarche, qui sur la base d'un diagnostic, doit aboutir à un plan d'action.

Dans cette action le bassin versant est l'unité hydrogéologique sur laquelle s'élabore le dispositif à mettre en place pour limiter l'érosion des sols.

Ainsi la compréhension des phénomènes de ruissellement et de circulation de l'eau en fonction des précipitations, des types de sol, du contexte physique et climatique est déterminante.

Contexte général de l'étude et les enjeux

Le bassin étudié se trouve sur le territoire de la commune d'Arbois. Le climat de cette zone est caractérisé par des précipitations quasi régulière toute l'année – 1258 mm pour l'année en 142 jours, 90 à 110 mm par mois, mai (122 mm) et novembre (129 mm) étant un peu supérieurs. Le maximum journalier approche les 100 mm de juillet à octobre.

Depuis le début des années 1990 les précipitations annuelles augmentent et en particulier le nombre de jours avec des précipitations fortes progresse.

Les températures varient de 5°3 de moyenne en janvier à 25°1 en juillet (les extrêmes varient de -22° à +40°C).

L'ETP très faible l'hiver donne des sols généralement proche de la saturation. Par contre en été des épisodes sans pluie de plusieurs jours parfois accompagnés de vent (bise) assèchent rapidement les sols.

Ce petit secteur de collines (38 ha), intégré dans un bassin plus large, a été équipé de 2 pluviomètres et d'un système de mesure des écoulements à l'exutoire. Ces mesures temps réel permettent un suivi très fin des écoulements.

Les conditions et les moyens mis en œuvre pour les mesures et le suivi

Ce petit secteur de collines (38 ha), intégré dans un bassin plus large, a été équipé de 2 pluviomètres et d'un système de mesure des écoulements à l'exutoire. Ces mesures temps réel permettent un suivi très fin des écoulements



Une station de mesures Météo-France se trouve en bordure immédiate du secteur étudié. Cette station mesure en temps réel: température, humidité, précipitations et vent. Dans le bassin étudié, 2 pluviomètres complémentaires aux normes Météo-France, branchés sur des data logger fournissent des mesures complémentaires pour les pluies à caractère instable (échantillonnage à la seconde).

A l'exutoire une sonde à pression permet de mesurer la hauteur d'eau (précision < 1 cm). Cette sonde effectue les mesures toutes les minutes dans un canal Venturi. Celui-ci est calibré pour fournir à partir des hauteurs d'eau et jusqu'à 50 cm les débits.

Première analyse des résultats et perspectives

L'analyse des épisodes pluvieux permet de montrer la différenciation au niveau des conséquences entre les différents types d'événement, et entre les divers contextes de ces événements. Pour une période de pluie importante après une période sèche: on constate qu'il faut environ 80 mm de pluie avant que l'écoulement se déclenche. On aborde ici une approche de la RU du bassin.

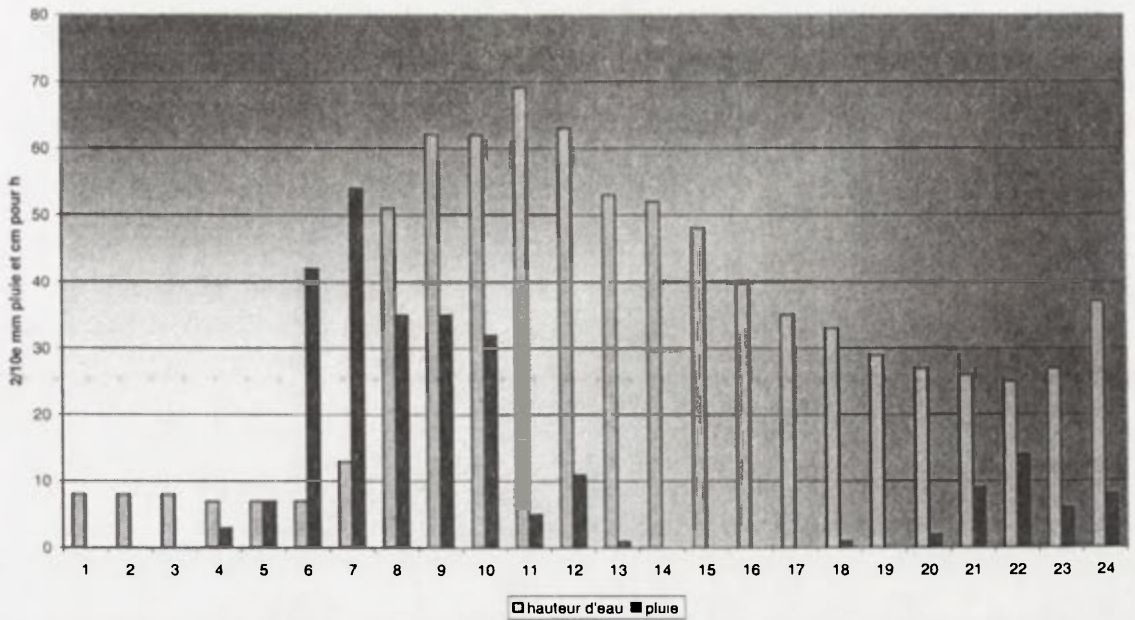
L'effet «vague» associé à une forte érosion peut être visualisé et étudié de manière plus précise en ce qui concerne sa propagation comme en ce qui concerne les conditions favorisant cet effet. Lors d'épisodes de pluies fortes on peut suivre cette vague au niveau de l'écoulement. Suivant l'intensité des précipitations et l'état initial du sol on introduit un paramètre intensité du ruissellement.

L'analyse entre pluie et débit à échelle très fine permet de préciser ce phénomène de ruissellement.

La relation pluie / écoulement permet en outre d'analyser les risques de pollution liés aux différents intrants utilisés par l'agriculture (fertilisation et traitements phytosanitaires) et d'élaborer ainsi le conseil qui améliorera les pratiques culturales.

Le bilan quantité de pluie / débit total sur une période plus longue (saison) permet une approche des paramètres intervenant dans la modélisation pluie / débit.

Il sera alors possible d'aborder la gestion de l'eau dans un bassin de cette dimension.



Bibliographie

- MULLER, J.C., 1995: Contribution de la lysimétrie aux connaissances récentes en agronomie. *Académie d'Agriculture de France*, Vol 81, n°4.
- PUECH, J. et GELFI, N.: Flux d'eau étudiés en lysimétrie – Bilans hydriques et transferts d'azote. *Académie d'Agriculture de France*, Vol 81, n°4.
- SAKHO, 1998: Le système d'information géographique [SIG], l'hydrologie et la gestion de ressources en eau, n°59 *Techn.Rep.Hydrol, Water Resours.*
- WINTER, T.C., et ROSENBERRY, D., 1998: Hydrologie des zones humides des cuvettes de prairie au cours de la période de sécheresse suivie du déluge. *Climatic Change*, n° 2.
- SHAMSELDIN, A. Y, LIANG, G. C, O'CONNOR, K.M., 1997: Methods for combining the outputs of different rainfall-runoff models, n°1-4, *J. Hydrol.*
- DAWSON, C.W. WILBY, R... 1998: An artificial neural network approach to rainfall-runoff modelling, n° 1, *Hydrol. Scien. Journal.*
- FEEDS, R.A., 1996: *Space and time scale variability and interdependencies in hydrological processes.* Cambridge University Press. International Hydrology Series.
- NAPIORKOWSKI, J., 1986: Application of volterra series to modelling of rainfall-runoff systems and flow in open channels, n° 2, *Hydrol. Scien. Journal.*
- BETHLAHMY, N., 1976: The two-axis method: a new method to calculate average precipitation over a basin *Hydrol. Sci. Bull.*



Abstract
Introduction
Materials and Methods
Results
Discussion
Conclusion
References

**LA PREVISION NIVO-METEOROLOGIQUE DANS LES GRANDS
EVENEMENTES SPORTIFS EN HIVER:
L'EXEMPLE DE « VAL DI FIEMME 2003 »**

Mauro Gaddo, Giorgio Tecilla*, Massimiliano Fazzini**, Roberto Barbiero*,
Marta Pandesini *, Andrea Piazza*, Gianluca Tognoni**

** Provincia di Trento – Ufficio Neve, Valanghe e Meteorologia*

***Dipartimento di Scienze Geologiche – Università Roma tre, Italie,
maxmeteo@hotmail.com*

Mots clé: météo fiemme, championnat du monde de ski nordique, assistance et produits nivo-météorologiques

Abstract: The paper presents the results of research dealing with weather forecast of snow cover and snow falls during the World Ski Cup "Val di Fiemme 2003".

Introduction: Le projet de février 2000, relatif à l'assistance nivo-météorologique des championnats du monde de ski nordique de Val di Fiemme (Trentino-Dolomites), avait individué plusieurs points nécessaires à réaliser correctement le service requis:

- Définition des paramètres nivo-météo donc la connaissance aux termes de prévision ou de caractérisation historique peut résulter très intéressante en relation à la manifestation sportive.
- Recueil des données nivo-meteo en proximité des tracés de compétition, à travers le positionnement de stations de relief, afin de contrôler le trend, à micro-échelle, des paramètres les plus significatifs pour le déroulement des compétitions.
- Validation et systématisation des paramètres relevés et comparaison avec les données historiques existantes
- Elaboration d'études spécifiques nivo-climatologiques des sites sportifs dans la période des compétitions.
- Réalisations des bulletins de prévision et de son niveau de détail à échelle spatio-temporelle.
- Etude des corrélations entre les prévisions numériques et les situations nivo-meteorologiques durant les compétitions.

Les connaissances acquises et les aspects opératifs ont été utilisés durant les manifestations de « coupe du monde » de ski nordique et de saut du tremplin du décembre 2001 et du janvier 2002, appelées « premondiales »

1: Le programme de la manifestation

Les championnats du monde de ski nordique s'ont passés du 18 de février au 1 de mars de cet an, avec cette articulation:

- Deux compétitions de saut de ski K120 mètres
- Deux compétitions de saut de ski K 95 mètres
- 12 compétitions de ski de fond
- 3 compétitions de combinée nordique

Les compétitions de saut de ski s'ont passés dans le stade de Predazzo à une altitude de 1024 m.s.n.m. dans la vallée du Fleuve Avisio, orientée de NE à SW, très incisée entre le Mt. Mulat (2148 m.) à nord et le mont Agnello (2365 m.) à ouest tandis que les traces de ski de fond se sont développées au stade de ski de Lago di Tesero, au fond de la même

vallée, dans ce lieu bien plus large et orientée de W vers E, à une altitude comprise entre 898 m et 1052 m.s.n.m au pieds du Lagorai, sur la gauche hydrographique du fleuve.

2: Les équipements installés et la diffusion des produits

Près du centre de saute de ski on a installé une station de reliefs automatique de température de l'air, direction et vitesse du vent, pression atmosphérique et humidité relative de l'air.

Dans le parterre du centre de ski de fond de Tesero, on a également installé une station automatique comprenant les senseurs de température sec et humide de l'air, et de direction et vitesse du vent et un tableau digital ou, chaque minuit, on publiées automatiquement les données de la station météo.

Près des points indiqués du comité organisateur, on a distribué et organisé un réseau de monitoring manuel (Fig. 2), comprenant une garitte avec un thermomètre à minima et maxima, un hygromètre et un thermomètre digital pour la mesure de la température de la neige.

Le personnel enchargé des mesures a été formé de l'Office neige, avalanche et météorologie de la Province Autonome de Trento; était constitué de trois volontaires et de techniciens du même office. On a garanti la diffusion au public et au techniciens des équipes des informations relevées, à travers les computers (internet), la livraison au chefs d'équipes et briefings et grâce à la systemation de trois vitrines situées près de la salle météo, de la tribune d'honneur et de l'air de fartage. Une quatrième vitrine a été installée à l'entrée du stade de saute de Predazzo.

Dans la salle de météo, située abri des tracés de ski de fond, on a installé sept computers donc trois portables, liés aux deux stations automatiques, trois imprimant, un fax, une ligne téléphonique, une photocopieur et six transmetteurs à bas fréquence, pour la transmission, au temps réels, des données nivo-météorologiques manuelles.

On a aussi activé une connexion avec l'office centrale de Trento pour permettre aux preiseurs de consulter les données de monitoring du radar météo du Mont Macaion et du Meteosat 7 et les LAMS au temps réel.

A l'intérieur de la salle de météo on a élaboré tous les produits nivo-météorologiques qui ont été distribués dans les moyens d'informations précédemment cités.

3. L'activité d'assistance nivo-météorologique

Pour les compétitions de saut du tremplin, à partir de l'heure antécédente des sauts d'entraînement et des compétitions mêmes, on a effectué dans les aires sommitales et d'atterrissage des athlètes, des mesures de la température et de l'humidité de l'air et de la neige.

Au regard du saut, les épreuves de ski de fond, ont demandé des diverses produits ; long les tracés, le comité organisateur a individué cinq secteurs permanents (Fig. 2) plus quelque autre occasionnel dans les competitons les plus longues (ex la 50 Km).

Dans ces secteurs, on a conduit une campagne de reliefs journalière à partir de deux heures avant le début de la compétition, chaque 30 minutes on a relevé les paramètres suivants: température de l'air et de la neige en surface, humidité de l'air, hauteur de la neige au sol, éventuelle neige fraîche, forme et dimension des cristaux. Les données ont été introduites dans un spécial « data base » et publiées sur Internet et en papier. Durant la manifestation, caractérisée de temps toujours ensoleillé avec des excursions thermiques remarquables (moyennes des minimales autour de -10°C et maximales autour de + 9°C), on a effectué aussi des profils penetrometrique et stratigraphiques de la neige artificielle afin d'évidencer l'évolution du manteau neigeux.

4. Les produits

Durant les jeux on a réalisé des produits de deux types ; ceux « traditionnels » et d'autres « expérimentels », prévalamment demandés des juges de compétitions.

On a donc produit des prévisions journalières, le bulletin (Fig. 3) comprenait une portion descriptive synthétique en langue anglaise, une section avec l'état du ciel chaque trois heures, et les températures prévues; une mappe météorologique au sol avec l'evidentiation des fronts et des thalwegs.

Le « weather report » a été un bulletin de type probabilistique, avec une validité jusqu'à cinq jours, publié entre les heures 13 de chaque jour; on trouve dans ce produit une portion descriptive en langue anglaise; une portion en tableaux ou on a indiqué les probabilité d'événement de certains phénomènes météorologiques comme les précipitations de pluie ou de neige, les vents forts et les températures minimales et maximales.

Enfin, on a élaboré des météo-graphes probabilistique, très intéressants surtout dans les « briefing » de l'après midi, et pour les touristes, pour « connaître » les conditions météo jusqu'à dix jours. Bien qu'en présence d'une situation météo toujours stable, sur demande du juge de compétition ; on a produit des rapport de « nowcasting » à 3-6 heures, des mappes de l'insolation potentielle sur les pistes de fond ; on a produit cetttes mappes sur les observations réalisés aux mêmes dates dans les ans 2001 et 2002. Enfin on a construis des diagrammes des paramètres relèves dans les cinq points « manuels », d'une manière tale de fournir aux juges des indications très importantes pour l'aménagement des compétitions futures. Grâce à l'expérience maturée durant les « premondials », et à la stabilité des conditions atmosphériques le service a été valué très positivement du comité organisateur et des chefs des équipes et même du public qui a eu des informations toujours au courant durant l'entière manifestation.

LES TENDANCES RECENTES DES TEMPERATURES DES OBSERVATOIRES DE MONTAGNE DE LA PÉNINSULE IBÉRIQUE

*Juan Carlos GARCÍA CODRON, Domingo RASILLA ALVAREZ
GIMENA (Groupe de Recherche et Gestion du Milieu Naturel)
Université de Cantabria
Avda. Los Castros s.n., 39005 Santander, Espagne
garciaj@unican.es*

Mots clés: Espagne, climat de montagne, tendances des températures, NAO

Abstract: The aims of this contribution are to highlight significant trends in temperatures series of several mountain stations of the Iberian Peninsula and to compare those trends with the evolution of some nearby low-altitude stations. Finally, we analyze the atmospheric circulation changes related to those variations.

Introduction

La plupart des séries de données européennes montre une forte tendance à l'augmentation des températures depuis les années 70. Parmi les plus touchés on trouve certains sites du sud-ouest continental dont, surtout, les observatoires de montagne.

L'impact de cette élévation des températures des zones de montagne inquiète beaucoup en Espagne car, du fait de leur localisation dans la zone de transition entre les ceintures de vents de latitudes moyennes et des régions subtropicales et entre les régions biogéographiques méditerranéenne et eurosibérienne, elles sont particulièrement vulnérables face à la moindre variation climatique. Un bon nombre d'activités humaines ainsi que la remarquable biodiversité des montagnes ibériques dépendent étroitement des conditions climatiques actuelles (précipitation, enneigement...)

L'objectif de cette communication est de souligner les tendances significatives des séries de températures des stations de montagne de l'Espagne péninsulaire. On y compare ces tendances avec celle des observatoires immédiats situés en basse altitude et on y analyse les changements observés dans la circulation atmosphérique en rapport avec ces variations.

Méthode

Nous avons cherché à établir l'influence du contrôle exercé par la circulation atmosphérique sur les changements observés des températures. Pour cela, nous avons calculé les rapports existants entre certains indices de circulation (NAO en particulier), les patrons de circulation synoptique et les variations de température.

Afin de permettre les comparaisons, les données utilisées proviennent d'observatoires répartis à travers toute l'Espagne situés soit sur des cols ou sommets de montagne (Navacerrada, Panticosa, Ransol, Montseny et Laujar), soit dans des fonds de vallée à une altitude toujours inférieure à 900 m. (Camporredondo, Anguinano, Pontones, Canfranc et Les Escaldes).

Pour la définition des types synoptiques, nous utilisons une caractérisation de l'état de la circulation atmosphérique basée sur une série d'indices quantitatifs obtenus à partir de cartes de pression au niveau de la mer (Rasilla, et al., 2002). Ces indices permettent d'obtenir la direction (D) et intensité du flux géostrophique (F) ainsi que sa vorticité (Z, positive autour des basses pressions, négative autour des hautes).

Résultats

La comparaison des températures moyennes annuelles des observatoires situés en montagne et en plaine permet d'établir deux sous-périodes bien différenciées: Jusqu'à 1975 on observe une tendance non significative à la réduction tandis qu'à partir de ce moment la

tendance s'inverse et devient ascendante de façon continue. En lignes générales, on peut établir une première période, entre 1961 et 1980, où les valeurs dominantes sont inférieures à la moyenne et une deuxième, jusqu'en 2000, avec des valeurs supérieures.

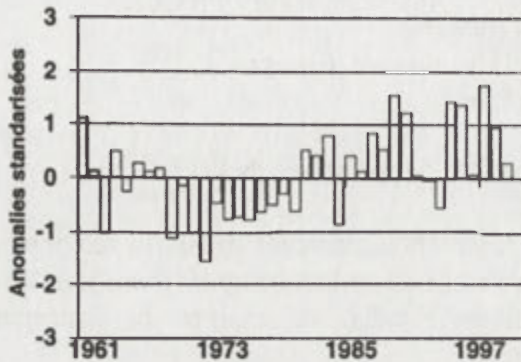


Fig. 1. Évolution de la température moyenne annuelle des observatoires de montagne sélectionnés

Au niveau saisonnier, ces tendances se reproduisent clairement en été. Cependant, au printemps, la période chaude finale ne commence qu'en 1988. En hiver, au contraire, on assiste à une hausse généralisée des températures tandis que l'automne ne présente aucune tendance apparente.

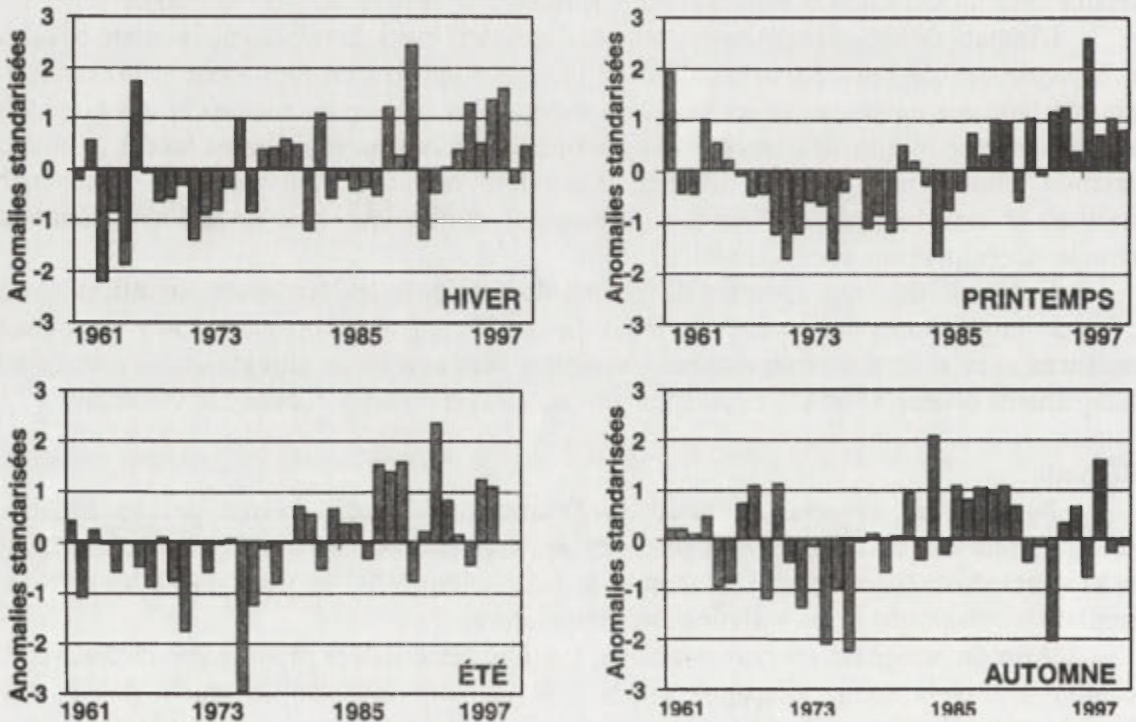


Fig. 2. Évolution de la température moyenne par saisons des observatoires de montagne

L'analyse de l'évolution de la fréquence de jours correspondant aux différents types de circulation permet, à nouveau, d'observer une divergence à partir de 1980 entre la tendance à l'augmentation des types anticycloniques et la diminution des types du sud-ouest et de l'ouest (Fig. 3). Ce résultat est cohérent avec l'évolution observée des températures car les types anticycloniques sont "chauds". Cependant, il ne suffit pas pour expliquer la tendance des températures hivernales et la différence entre les stations situées en montagne et en vallée.

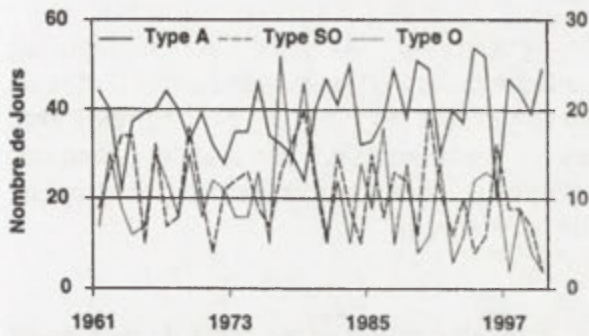


Fig. 3. Évolution de la fréquence des types synoptiques anticyclonique, sud-ouest et ouest

L'analyse des données journalières de température de l'observatoire de Navacerrada (Madrid, 1860 m sur le niveau de la mer) démontre, enfin, qu'avec le changement de la fréquence des types de circulation (et, donc, de la nature des advections) il se produit une transformation des caractéristiques thermiques des masses d'air (Tabl. 1).

Tableau 1. Tendence de la température hivernale à Navacerrada pour chacun des types synoptiques (Index de corrélation de Spearman,

* significatif avec un degré de signification de 0,05;

** significatif avec un degré de signification de 0,01)

VAR	Antic.	C	E	NNE	NNO	SE	SO	O	U
TMAX	0.34*	0.32*	0.09	0.18	0.17	0.20	0.47**	0.57**	0.24
TMIN	0.26	0.19	0.03	0.26	0.21	0.32*	0.31*	0.56**	0.17

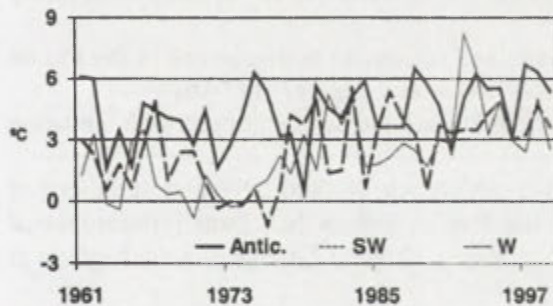


Fig. 4. Évolution de la température maximale journalière à Navacerrada sous les types synoptiques Anticyclonique, sud-ouest et ouest

Interprétation des résultats

L'explication des tendances rencontrées doit nécessairement prendre en considération l'évolution climatique de la région atlantique tempérée: depuis la décennie des années 70 on assiste en Europe Occidentale à la prédominance d'une phase positive de la NAO. Sur la Péninsule Ibérique ce fait a produit une augmentation des situations anticycloniques au dépens des cycloniques atlantiques (Tabl. 2).

Tableau 2. Corrélation entre l'index de la NAO et la fréquence des types synoptiques, la température maximale et la température minimale journalières à Navacerrada (Index de corrélation de Spearman,

* significatif avec un degré de signification de 0,05;

** significatif avec un degré de signification de 0,01)

YY	Antic.	C	E	NNE	NNW	SE	SO	O	U	
FREQ	0,61**	-0,54**	0,25	0,07	0,00	0,02	-0,48*	-0,36*	-0,22	
TMAX	0,51**	0,19	0,27	0,37*	0,35*	0,18	0,31*	0,37*	-0,09	0,601**
TMIN	0,47*	-0,02	0,28	0,28	0,15	0,12	0,12	0,20	0,02	0,452*

Mais, en même temps, l'évolution de la NAO semble s'insérer dans un mécanisme plus ample, l'Oscillation Arctique, qui implique une structure dipolaire qui met en rapport la circulation des latitudes arctiques et des latitudes moyennes et sous-tropicales. La NAO n'implique pas seulement un changement de fréquence des types de circulation mais aussi de l'intensité des centres d'action hémisphériques (Anticyclone des Açores, Dépression d'Islande). Étant donné que l'anticyclone des Açores est un centre dynamique, son intensification en surface est le reflet d'une augmentation de l'épaisseur de la colonne

atmosphérique (et donc de la hauteur de la topographie de 500 hPa). Ceci implique un réchauffement de la dite colonne verticale qui explique la corrélation positive entre l'index de la NAO et les températures maximales enregistrées pendant les types les plus corrélés avec lui. L'influence sur les températures minimales est moindre (sauf pendant les situations anticycloniques) à cause, fondamentalement, de l'influence des facteurs locaux (topographie, exposition, etc) et au possible effet perturbateur de la nébulosité.

Conclusions

La tendance ascendante des températures hivernales en montagne présente un rapport important avec celle, aussi ascendante, de l'indice de l'Oscillation Nord Atlantique depuis les années 70 moyennant deux mécanismes dynamiques différents: un changement vers un patron de circulation plus stable et un changement des caractéristiques des masses d'air.

Les différences thermiques les plus importantes apparaissent entre la fin de l'hiver et le début du printemps. Elles ont pour effet une diminution de la différence de température entre les zones de montagne et les vallées ou plaines environnantes et un prolongement de la période de croissance des végétaux des écosystèmes montagnards. Ces deux faits pourraient expliquer certaines anomalies phénologiques et étologiques signalées pendant ces dernières années et obliger à revoir un bon nombre de pratiques de conservation d'espèces en péril basées sur des vieux acquis et qui n'ont jamais été remises en cause.

Bibliographie

- BÜCHER, A., DESSENS, J., 1991: Surface trends of surface temperature at an elevated observatory in the Pyrenees. *J. Climate*, 4: 859-868.
- DESENS, J., BÜCHER, A., 1995: Changes in minimum and maximum temperatures in the Pic du Midi in relation with humidity and cloudiness, 1882-1984. *Atmos.Res.*, 37: 147-162.
- DIZ, H.F., BRADLEY, R. S., 1997: Temperature variations during the last century at high elevation site. *Climatic Change*, 36: 253-279.
- FERNÁNDEZ GARCÍA, F.; RASILLA ALVAREZ, D. et HORCAS, R., 2000: Secular variations of the synoptic scale atmospheric circulation over the Iberian Peninsula. [Dans:] *International Scientific Meeting on Detection and Modelling of the Recent Climate Change and their effects in a Regional Scale*.
- JENKINSON, A., COLLISON, F., 1977: *An initial climatology of gales over the North Sea areas*. Synoptic Climatology Branch Memorandum, 62, Met. Office, Bracknell.
- RASILLA, D.; GARCÍA CODRON, J.C. et GARMENDIA ;C., 2002: Los temporales de viento: propuesta metodológica para el análisis de un fenómeno infravalorado. [Dans:] CUADRAT, J.M., VICENTE, S.M. et SAZ, M.A. (edits.), *La información climática como herramienta de gestión ambiental*. Universidad de Zaragoza: 129-136.
- WBER, R. O., TALKNER, P., AUER, I., BÖHM, R., GAJIC-CAPKA, M., ZNINOVIC, K., BRADZIL, R. et FASKO, P., 1997: 20th century changes of temperature in the mountain Regions of Central Europe. *Climatic Change*: 36, 327-344.

LES BESOINS DE MESURES DE L'ÉVAPOTRANSPIRATION POUR LA GESTION DES TOURBIÈRES DE PLAINE

F. Grégoire, J.P. Amat

*Centre de Biogéographie Ecologie ENS-LSH, CNRS FRE 2545, Station de Cessières
8, route de Suzy F-02320 Cessières
adree@wanadoo.fr*

Mots-clés: évapotranspiration, tourbières, microclimatologie

Abstract: Peat-bog evaporation is widely unknown and misused in ecological management. The paper presents two locations where this parameter is to be evaluated precisely. Various measurements technics for scientists and managers are introduced. They show that evapotranspiration in peat-bog is underestimated.

Introduction

La gestion patrimoniale des tourbières fait appel à la variable de l'évapotranspiration, grandeur généralement méconnue et donc mal évaluée.

De nombreuses études expérimentales ont pourtant été menées sur ce sujet, en plaine, Russie, Canada, aussi bien qu'en montagne, Ardennes belges (Kalombo, 1986), Massif Central, généralement sur des tourbières ombrogènes. Mais, contrairement à d'autres milieux - en particulier les terres agricoles - pour lesquels les références existantes sont couramment utilisées les données expérimentales sont rarement reprises dans les plans de gestion des tourbières. Sont souvent préférées les valeurs de l'évapotranspiration mesurées ou évaluées à l'extérieur du site considéré.

La question de l'évapotranspiration prend une importance accrue si on considère le rôle d'infrastructure naturelle que sont censés jouer ces espaces, surtout dans les milieux de plaine où les tourbières occupent des positions de vallée. Elle entre évidemment dans le cadre d'un bilan global hydrologique de ces milieux et de leurs relations avec les bassins versants. On peut, sous certaines conditions, poser l'hypothèse qu'une partie de l'eau de la tourbière est en équilibre entre précipitations et évapotranspiration. La nature du rôle-tampon de l'ensemble tourbeux demande alors à être réinterprété, surtout lorsqu'on sait que des mesures récentes ont mis en évidence la forte conductivité horizontale des couches supérieures de tourbe. La tourbière est-elle site de stockage, simple site de transit ou participe-t-elle, et selon quelles modalités, aux deux processus?

Résultats

Les longues séries de mesures établies sur deux sites dans le département de l'Aisne, les marais de la Souche et le marais de Cessières-Montbavin, permettent d'aborder cette question et de lui apporter des éléments de réponse.

Les marais de la Souche, sur la plaine crayeuse de Picardie au nord-est de Laon, sont une grande tourbière alcaline de vallée très évasée. Ses 2 000 hectares environ s'insèrent dans un bassin versant de plus de 400 km² (Fig. 1). Plongés longtemps dans un contexte de conflit sociétal concernant l'usage du marais et le contrôle du niveau des eaux, ces marais ont vu la mise en place récente d'une gestion de l'eau, dans le cadre des mesures de protection du milieu (Natura 2000, Réserve naturelle).

Dans l'établissement du bilan hydrologique global (Canivé, 2000), nous avons utilisé des données régionales standardisées pour les valeurs de précipitations et d'évapotranspiration potentielle, et estimé l'évapotranspiration réelle à partir de la formule de Coutagne.

Fig. 1. Les marais de la Souche au sein de leur bassin versant

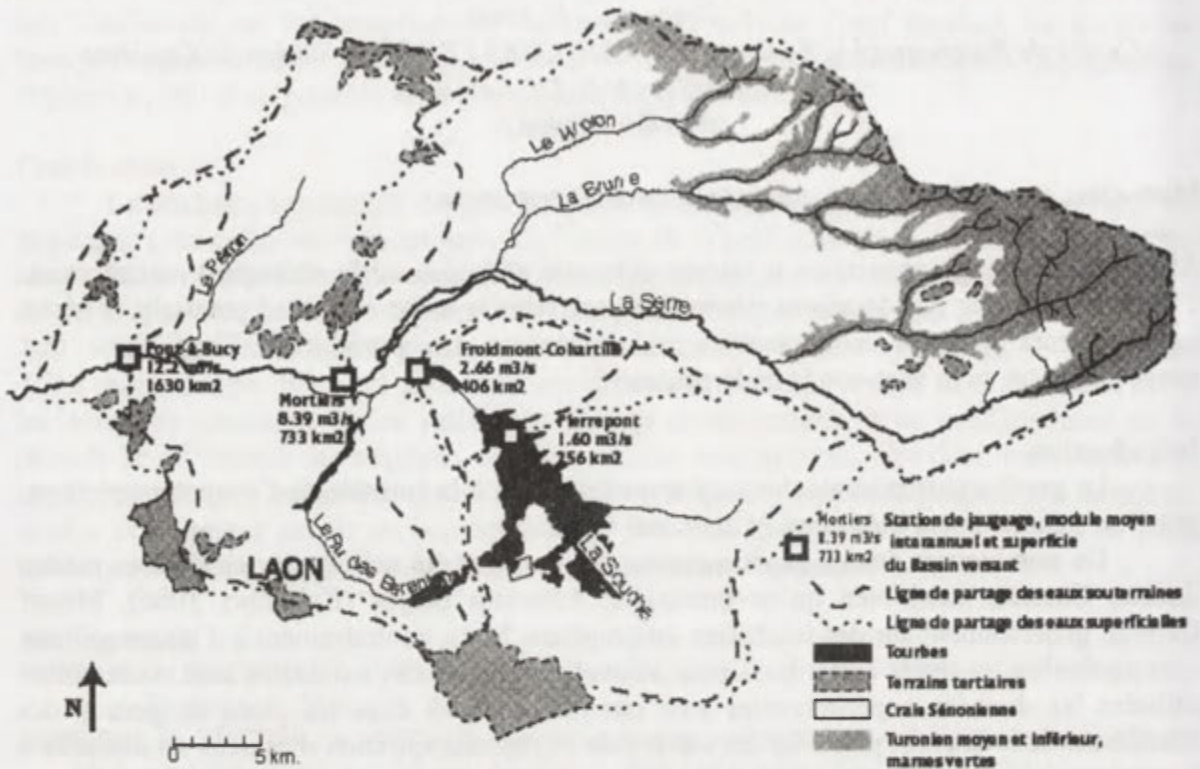


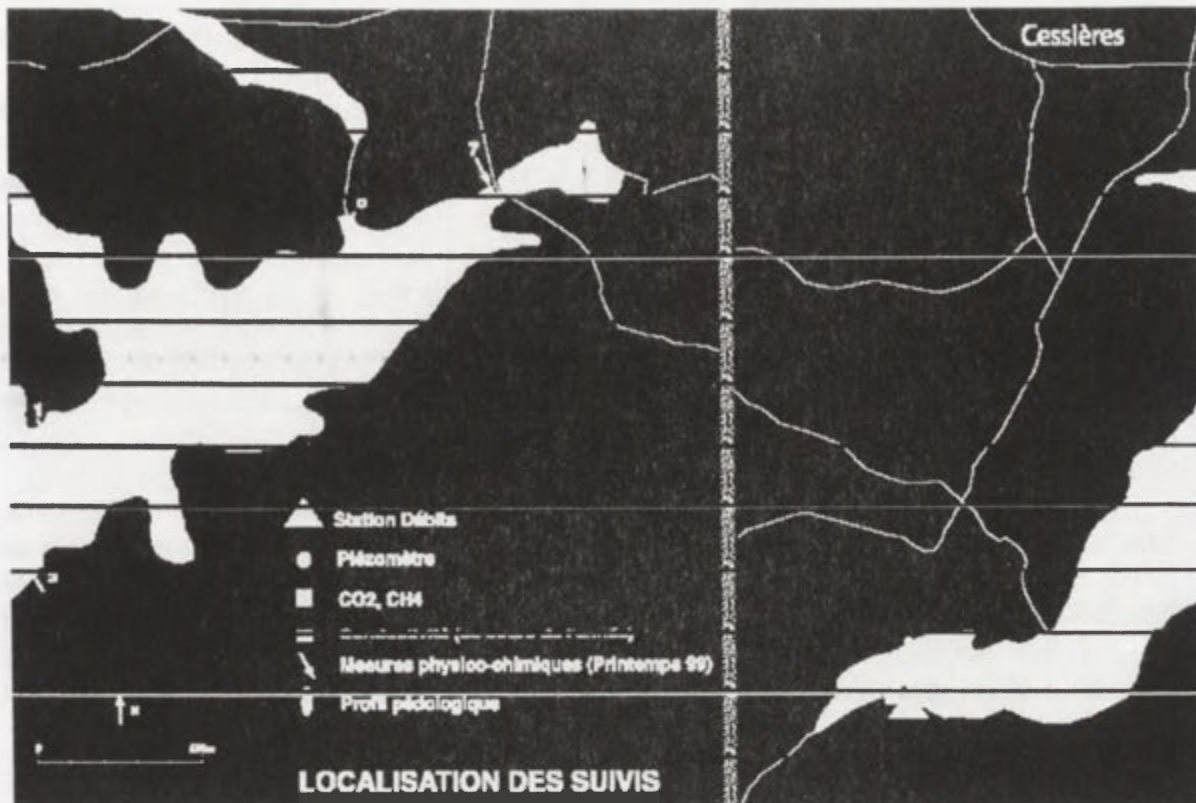
Tableau 1. Bilan hydrologique de la Souche

Superficie du bassin versant:	404000000	m ²
Précipitations	710	mm
Évapotranspiration réelle	500	mm
Drainage (lame d'eau)	210	mm
Drainage (volume théorique)	84 840 000	m ³
Débit moyen de la Souche à Froidmont	2.06	m ³ /s
Volume évacué par an	64 964 160	m ³
Volume théorique - volume évacué	19 875 840	m ³

On notera que, d'après les données, la rivière Souche n'évacue pas la totalité des eaux résultant du drainage. Ceci peut provenir de deux faits. D'une part, le bassin versant hydrologique ne s'identifie pas forcément au bassin versant hydrogéologique. Ainsi, la Souche a une direction quasi orthogonale au pendage des couches de la craie, une partie des eaux infiltrées peut suivre ce pendage. D'autre part, l'évapotranspiration réelle peut être sous estimée.

Le marais de Cessières-Montbavin, à quelques kilomètres de là, a la particularité d'abriter, sur environ 100 hectares de tourbière inscrits dans un bassin versant de 21 km², un secteur acide et un secteur alcalin.

Fig. 2. La tourbière de Cessières-Montbavin



Un premier bilan hydrologique a été mené de septembre 1999 à août 2000, dans un contexte particulièrement pluvieux.

Bilan hydrologique Cessières			
Surface du bassin-versant	23 km ²	soit: 23.10 ⁶ m ²	
Total	annuel	5,26	1022,2
		millions de m	mm.
	Somme P	1022,2 mm	
	ETR	547 mm	
	P-ETR	475,2 mm	
Écoulement théorique		10,93	millions de m ³
rapport débit/écoulement théorique		48 %	

Ce bilan montre qu'une partie seulement de l'eau sort de la tourbière, d'une superficie d'environ 100 hectares, à rapporter aux 2.100 hectares du bassin versant hydrologique dont les eaux transitent par la tourbière. Il est très perfectible car les mesures de débit ne sont pas effectuées en continu, protocole admissible dans un milieu où les variations de débit et de niveaux sont faibles

Par ailleurs, des analyses physico-chimiques des eaux de surface ont montré que les eaux du secteur alcalin qui étaient évacuées préférentiellement. Les conséquences pour la gestion de la circulation des eaux de chaque compartiment justifient une investigation accrue sur les termes du bilan hydrologique.

L'une des hypothèses pour expliquer le déficit d'écoulement est que l'évapotranspiration est, dans nos calculs, sous estimée. Les couverts végétaux de nos tourbières ne se réduisent pas à une surface bien définie, canopée ou couvert bas: les

d'architectures sont complexes avec des bois souvent très clairs où la transpiration des strates supérieures s'ajoute à celle du sous-bois.

Les techniques de mesures ne sont pas très nombreuses. Certaines demandent la collaboration d'organismes de recherches, peu sont accessibles aux seuls gestionnaires.

L'une des techniques les plus fiables repose sur l'évaluation du bilan d'énergie. Le flux de chaleur dans les sols tourbeux, particulièrement bas en dessous de quelques centimètres rend disponible une grande quantité d'énergie soit pour l'évapotranspiration, soit pour l'élévation de la chaleur sensible. Mais la détermination des paramètres du bilan d'énergie demande des moyens en matériel et en temps que sont loin d'avoir les gestionnaires.

La simple mesure des températures permet d'évaluer la modification du bilan d'énergie induite par un milieu hydromorphe. Ainsi, sur le site de Cessières, les maxima relevés à +15 cm sous abri effectués dans deux milieux distants de moins de cent mètres,,), l'un sur sable, l'autre sur tourbière de sphaignes sur le site de Cessières montrent que les maxima sont jusqu'à 7°C inférieurs sur tourbe. En milieu saturé, la plus grande partie de l'énergie est utilisée pour l'évapotranspiration.

Autre technique, des mesures effectuées à l'aide d'évaporomètres Piche (Grégoire, 1987) montrent que l'ETP de la tourbière acide est voisine de celle d'autres espaces, que ce soient des espaces agricoles ou des espaces ouverts de type friches ou landes. La différence majeure est que le milieu est saturé en permanence, qu'ETR est très proche de ETP, surtout dans le cas de tourbières à sphaignes, qui n'ont pas de régulation stomatique. Des mesures faites à Cessières sous couvert de résineux ou de feuillus ont montré que le pouvoir évaporant de l'air y restait important, de l'ordre de la moitié de ce qu'il est à découvert.

Conclusion

D'une manière générale, l'évapotranspiration est sous estimée dans la gestion des tourbières. Des techniques lourdes peuvent être utilisées pour l'évaluer dans le cadre de collaborations entre gestionnaires et équipes de recherche. Des techniques plus simples (mesures de la température et de l'évaporation Piche par rapport à des sites de référence) peuvent permettre une estimation suffisante pour le gestionnaire.

Bibliographie

- CANIVE, J., LAPLACE-DOLONDE, A., GREGOIRE, F., SAJALOLI, B. et PENIT, G. 2000: La fonction tampon des hydrosystèmes tourbeux: l'exemple des marais de la Souche (Aisne, France). 143-156, [Dans:] WICHEREK, S. éditeur scientifique (2001) *L'eau, de la cellule au paysage*, Collection Environnement, Editions ELSEVIER.
- GREGOIRE, F., MEKHARCHI, M., 1987: Un réseau stationnel en milieu tempéré de plaine: Cessières (02-Aisne). Nuances locales et significations régionales *Mélanges offerts au Pr. P. Pagny*, Centre de Climatologie Dijon.
- KALOMBO K. 1986: Evolution horaire et inter diurne de l'ETR en site dégagé et comparaison avec l'évolution en milieu boisé *International Symposium on topoclimatology and its applications*, Liège, Mont-Rigi, M. Erpicum (ed.): 149-161.

LES PLUIES EXCEPTIONNELLES DU 19 SEPTEMBRE 2000 A MARSEILLE: COMPARAISON ENTRE RADAR ET DONNEES AU SOL

Romain GUILLON, Annick DOUGUEDROIT
Institut de Géographie, UMR Espace 6012, Université de Provence
29 avenue Robert Schuman 13621 Aix-en-Provence France
r.guillon@free.fr annick.douguedroit@up.univ-aix.fr

Mots clés: pluies exceptionnelles; intensité pluvieuse; images radar; Marseille (France)

Abstract: On September 19, 2000, Marseille (South of France) have been flooded by a very strong rainfall event. Rainfall measurements from two sensors with different spatiotemporal characteristics rain gauge and radar have been used in order to compare the spatial and time distribution they give of the event.

Introduction

La zone méditerranéenne est connue pour ses situations de précipitations de type exceptionnel provoquant des dégâts importants (Rivrain, 1997). Ces précipitations intenses de plus de 250 mm en 24h se produisent principalement lors de la saison automnale (Jacq, 1996). Nous nous proposons d'étudier la répartition et l'évolution des pluies exceptionnelles qui ont touché la ville de Marseille le 19 septembre 2000, d'après les images du radar de Nîmes Garons gérées par Météo France. Elles ont été comparées à l'évolution des précipitations mesurées par la station de Météo France sur la ville de Marseille.

Méthodes

Le radar se situe à environ 100 km de Marseille (Fig. 1). Les images radar utilisées sont de type C.A.P.P.I. (Constant Altitude Plan Position Indicator) (Sauvageot, 1994). Elles sont composées de mesures d'élévations différentes avec des angles d'élévation fixe (0.6; 1.3; 2.5 degrés) dans la même couche atmosphérique que l'on appelle des P.P.I. (Plan Position Indicator). Les images obtenues sont la synthèse de trois niveaux d'altitude (environ 1000, 2000 et 4000 mètres au-dessus de Marseille) avec une période d'intégration de 5 minutes et une résolution de 1 km². Pour palier les problèmes de navigation la résolution a été réduite en fusionnant les pixels par 4; on a ainsi donc obtenu des pixels de 4 km².

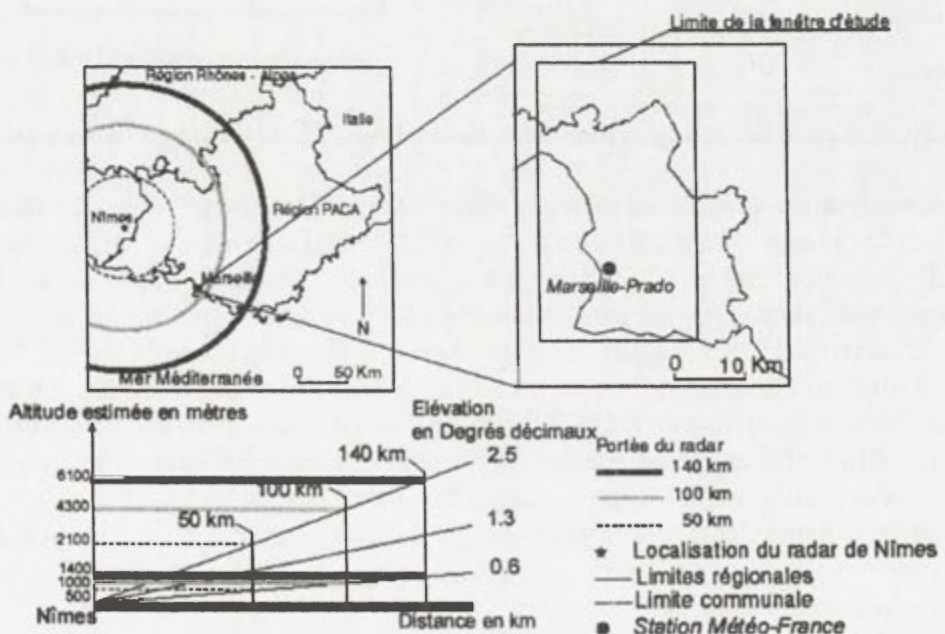


Fig. 1. Portée et altitude couverte par le radar de Nîmes

Nous avons utilisé un Système d'Information Géographique (S.I.G.) en mode raster (Idrisi) pour pouvoir procéder à la superposition des données dans l'espace et effectuer des calculs sur les champs préalablement géoréférencés. Dans un premier temps, nous avons transformé les images radar exprimées en réflectivité (dBZ) en pluies (mm/heure) à l'aide de la formule de Marshall-Palmer $Z = 200 * R^{1.6}$ valable dans notre région d'étude (Marshall et Palmer, 1948). Dans un second temps, nous avons extrait une fenêtre correspondant à la localisation géographique de la ville de Marseille. Dans un troisième temps, nous avons réalisé l'étude des localisations des intensités de pluie et des surfaces avec et sans modification de la résolution (pixel de 1 km et 2 km de côté). Enfin, nous avons cumulé les images radar pour faire correspondre les durées d'intégration (pas de temps journalier et durée des événements mesurés au sol) aux durées des pluies observées par la station de Marseille-Prado.

La station de Marseille-Prado intègre les pluies minutes exprimées en mm/heure au pas de temps 6 pour un total de 196 mm. La station a connu 2 épisodes de pluie de 17h00 à 21 h00 heure locale,. On peut ainsi déterminer l'évolution temporelle des pluies s'abattant sur la partie de l'agglomération marseillaise où se trouve la station météo et comparer les informations fournies par un pluviographe et les informations radar (Matsoukas et al, 1999).

Résultats

- Etude à l'échelle de la journée :

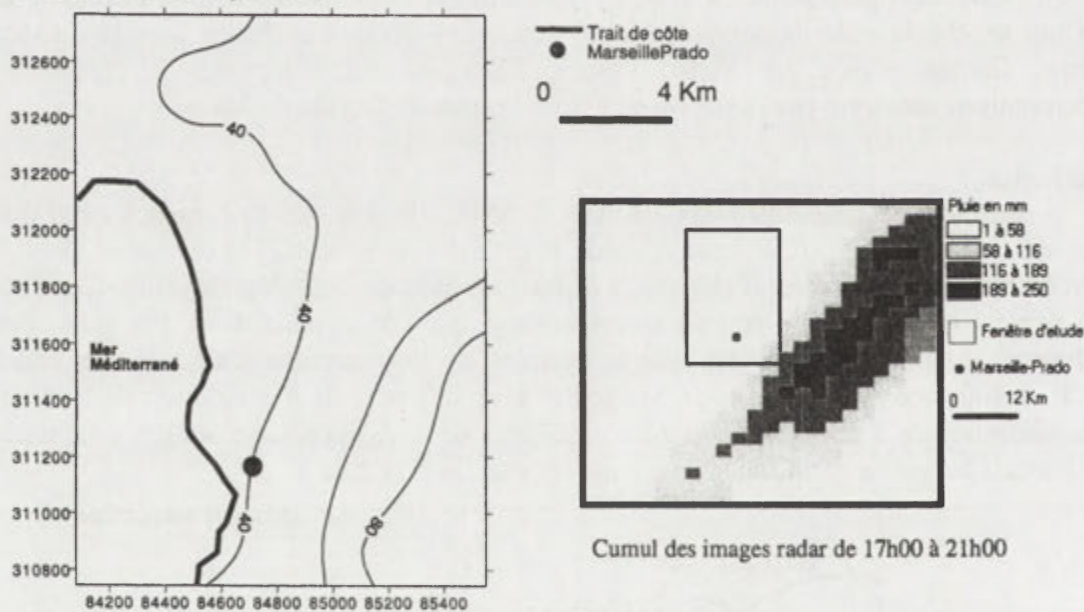


Fig. 2. Cumul des précipitations radar de 17 h 00 à 21 h 00 (isolignes tous les 10 mm)

L'analyse du cumul des images radar de 17h00 à 21h00 (Fig. 2) indique que le maximum des pluies atteint 250 mm à l'est de la fenêtre d'étude qui englobe la commune de Marseille. Le cumul des pluies mesurées à la station de Marseille-Prado donne 196 mm qui correspond sans doute pas au maximum des pluies tombées sur Marseille. Le cumul des valeurs successives du pixel radar correspondant à la localisation de Marseille-Prado quant à lui est de 40 mm. On observe l'existence d'une double différence entre les mesures au sol et les mesures radar au niveau de la localisation de l'averse et des quantités de pluies mesurées.

La différence entre les mesures au sol et les mesures radar vient du fait que les mesures radar correspondent à une quantité d'eau en suspension dans l'air (Zawadzki,1975). Cette eau est potentiellement précipitable entre chaque période d'intégration. Le déplacement de la masse nuageuse explique le décalage entre la vision en altitude (radar) et les observations des pluies au sol.

- Etude de l'événement d'après la station de Marseille-Prado :

D'après les données de la station de Météo France (Fig. 3), la ville de Marseille a connu deux événements successifs de pluie (de 17h00 à 19h12 et de 19h42 à 21h12). Le cumul des pluies pour la station de Marseille-Prado donne pour le premier événement une quantité de pluie de 94.8 mm et pour le second 87.4 mm. Le maximum du premier épisode se produit à 18h30 et à 20h42 pour le second.

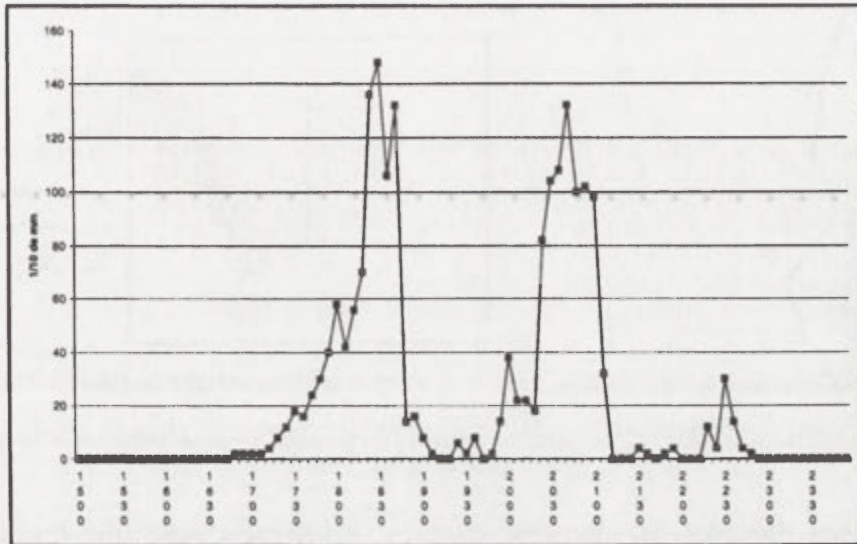


Fig. 3. Evolution des précipitations à la station Marseille-Prado de Météo France (pas de temps 6 min)

D'après l'interpolation des données radar (Fig. 4), le premier événement (17h00 à 19h12) montre que le maximum des pluies se situe sur la partie sud est de la ville de Marseille avec un maximum de 50 mm dans le sud-est la fenêtre d'étude. Le maximum radar atteint 150 mm et se trouve distant de la station de Marseille-Prado d'environ 10 km. Pour le deuxième épisode (19h42 à 21h12), on retrouve le même schéma d'organisation avec une quantité de pluie de moins de 10 mm dans la fenêtre d'étude (Fig. 5). Le maximum radar atteint cette fois-ci 152 mm et se trouve à environ 20 km du pluviographe de Marseille-Prado. On retrouve bien la double différence entre les mesures radars et les mesures au sol que l'on avait observée à l'échelle de l'épisode (17h00 à 21h00).

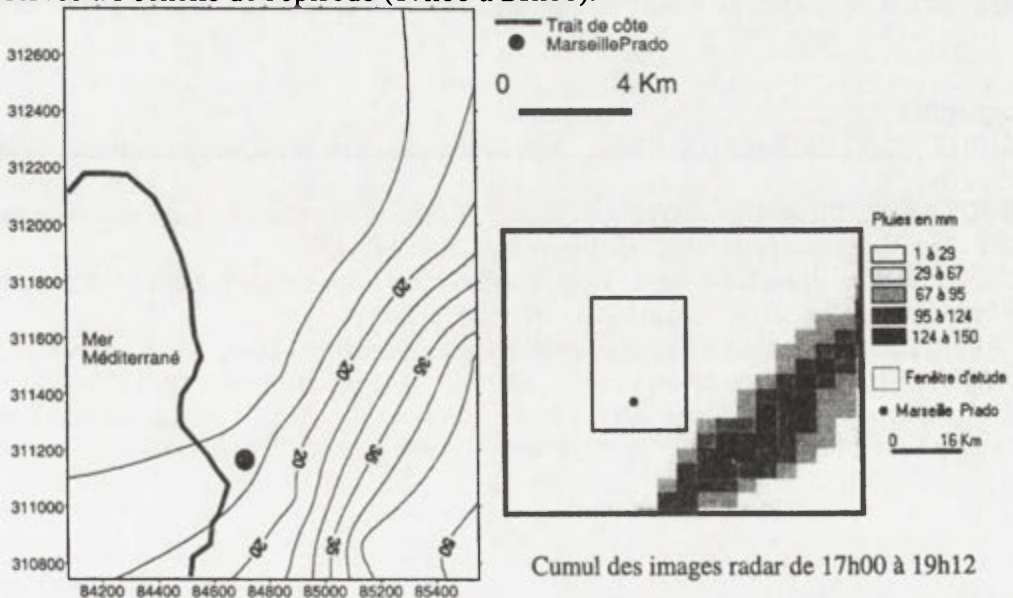


Fig. 4. Cumul des précipitations radar lors du premier épisode de pluie de 17h00 à 19h12 (isolignes tous les 5 mm)

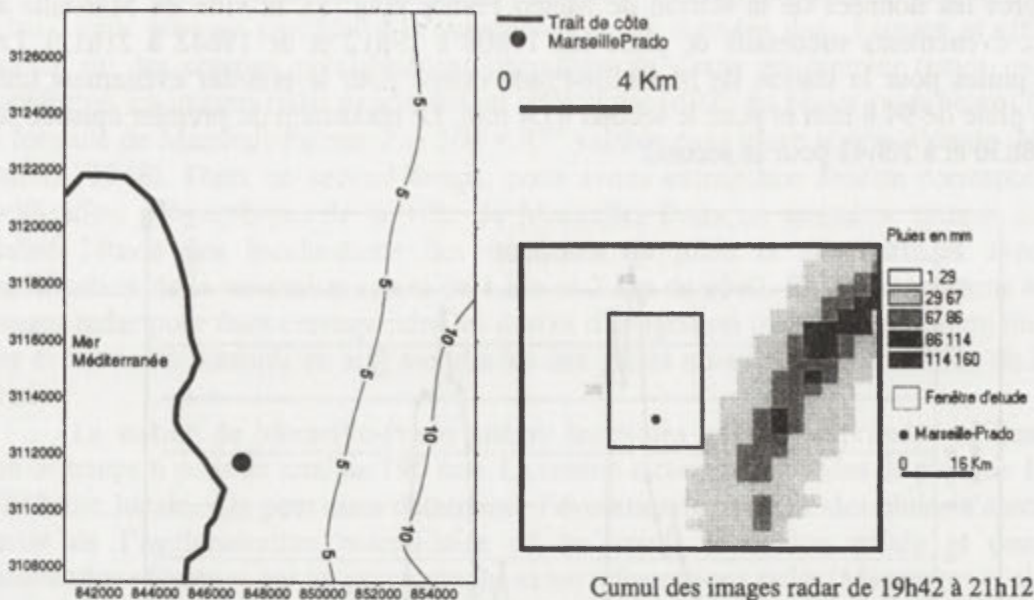


Fig. 5. Cumul des précipitations radar lors du premier épisode de pluie de 19h42 à 21h12 (isolignes tous les 5 mm)

Les deux épisodes se succèdent dans le temps mais avec une localisation quasi identique.

Conclusions

L'étude de l'épisode des fortes pluies du 19 septembre 2000 à Marseille montre par le croisement des données radar et sol que la localisation de l'averse dérivée de la réflectivité radar par le radar est décalée vers l'est par rapport aux observations au sol. L'heure des maximums de pluies mesurée par Marseille-Prado et le radar (18h30 et 20h42) est synchrone.

Le décalage entre les intensités des maximums vient du fait que le maximum des pluies ne se trouve pas au niveau de la station mais il se situe plus à l'est. Cette différence provient de la part d'incertitude entre ce qui est perçu par le radar en altitude et ce qui va réellement tomber. La comparaison des deux bases de données permet ainsi de mesurer le décalage spatial, temporel et d'intensité pluvieuse entre les mesures radar et les mesures au sol.

Bibliographie

- MARSHALL, J., S., PALMER W., McK., 1948: The distribution of raindrops with size, *J. Meteo.*, 5: 165-166.
- MATSOUKAS, C., ISLAM, S., KOTHARI, R., 1999: Fusion of radar rain gage measurements for an accurate estimation of rainfall, *J. Geophys. Res.*, 104: 347-450.
- RIVRAIN, 1997: Les épisodes orageux à précipitations extrêmes sur les régions méditerranéennes de la France, *Phénomènes remarquables*, 4, Météo-France.
- SAUVAGEOT, H., 1994: Rainfall measurement by radar : a review. *Atmos. Rech.*, 35: 27-54.
- ZAWADZKI, I. I., 1975: On radar-rain gage comparison, *J. Appl. Meteorol.*, 14: 1430-1436.
- JACQ, V., 1996: Inventaire des situations à précipitations diluviennes en Languedoc-Roussillon / PACA / Corse. Période 1958-1994, *Phénomènes remarquables*, 3, Météo-France.

ANALYSE DES CHAMPS DE PRECIPITATIONS POUR LA REGION DE SETIF (ALGERIE)

B. HADDAD *, L.SADOUKI *, R. NAILI **, A. ADANE * et H. SAUVAGEOT ***

**Université des Sciences et de la technologie d' Alger (U.S.T.H.B.), Faculté d'Electronique et d'Informatique, B.P. N° 32, El Alia, Bab Ezzouar, Alger, Algérie*

h_boualem@hotmail.com

** *Office National de la Météorologie, Centre National Technique et du Matériel, Bd Khemisti, Dar El Beida, Alger, Algérie*

*** *Université Paul Sabatier, Observatoire Midi Pyrénées, Laboratoire d'Aérodynamique, 14 Avenue Edouard Belin, 31400 Toulouse, France*

Mots clés: précipitations; radar; calibration; intensité

Abstract: This paper deals with the relief influence on the fields of precipitation and their behavior over land and over sea. We found that the intensity H registered during two months is on one hand higher on the mountainous regions and on the other hand H is more important over land than over sea.

Introduction:

Diverses études sur la distribution des précipitations observées aussi bien sur la côte que sur le continent ont été proposées dans la littérature (Hudlow, 1979 ; Webster, Lukas, 1992). Elles montrent en général, que des différences notables existent dans la structure et l'organisation des précipitations entre la mer et le continent bien que les processus dynamiques responsables du développement des nuages demeurent le même dans les deux situations. A titre d'exemple, l'épaisseur des nuages convectifs diffère entre la mer et le continent et l'occurrence de la foudre est plus élevée sur terre (Zipser, 1994). Récemment, Nzeukou (2002) ont montré que l'intensité des précipitations est plus élevée sur le continent que sur mer pour les latitudes moyennes et les climats tropicaux en étudiant des images radar prises respectivement à Bordeaux (France) et Dakar (Sénégal).

L'objet de ce papier est la description et l'analyse des précipitations dans les hauts plateaux algériens en utilisant des images prises par un radar météorologique situé dans la région de Setif. La zone d'étude présente divers reliefs et permet donc de discuter l'influence de l'orographie sur les champs de précipitations. En outre, l'emplacement du radar offre la possibilité d'étudier le comportement des précipitations au dessus de la mer Méditerranée et d'analyser les transitions terre-mer.

2. Méthode

Les images dont nous disposons, ont été prises dans la région de Setif grâce à un radar pulsé non cohérent. Setif est une ville entourée des montagnes du Djurdjura, des monts des Bibans et des Babors d'altitudes respectives égales à 2400 m, 1700m et 2000m. Ses coordonnées géographiques sont 36°11' N pour la latitude et 5° 25' de longitude. Elle est située à 1081 m d'altitude. Le radar est installé à 1300 m d'altitude. Il travaille à 5,6 GHz et délivre une puissance crête de 250 kW. La durée de l'impulsion radar est de 2 μ s et sa période de récurrence est de 4 ms. L'antenne est un paraboloïde de 3m de diamètre et de gain égal à 30 dB. Le radar enregistre toutes les quinze minutes une image, sous la représentation P.P.I. et un code de seize couleurs. Les images sont collectées sous le format 512x512 pixels, avec une résolution de 1km par pixel. La base de données utilisée est composée de 4024 images correspondant au mois de janvier et février 2001.

La zone d'étude considérée est un carré de 180x180 km². Elle a été subdivisée en neuf mailles et le radar est situé au centre (Fig. 1). La numérotation des zones s'est faite de gauche à droite en commençant par le haut. On calcule pour chacune d'elles l'intensité des pluies

recueillies. Cette démarche nous permettra de comparer aussi le comportement des précipitations entre la mer et le continent.

Pour utiliser le radar comme instrument de mesure, il est nécessaire de l'étalonner avec soin afin d'interpréter convenablement les quantités mesurées. La méthode d'ajustement probabiliste (M.A.P.) corrigée a été retenue pour l'étalonnage du radar de Setif (Calheiros et Zawadzki, 1987). Elle nous permet de calculer très simplement les coefficients a et b de la relation $Z = a R^b$ où Z est le facteur de réflectivité exprimé en mm^6/m^3 et R , le taux de précipitations en mm/h . Les paramètres considérés sont $\mu_{\text{Ln}R}$, $\mu_{\text{Ln}Z}$ et $\sigma_{\text{Ln}Z}$. D'une manière générale, ces paramètres varient en fonction de la distance. D'où la division de la zone d'étude en trois couronnes concentriques dont les rayons varient respectivement de 0 à 40 km, de 40 à 80 km et de 80 à 120 km (Fig. 1). Pour appliquer la M.A.P., nous avons vérifié au préalable que la distribution des précipitations suit une loi Lognormale. Pour ce faire, nous avons utilisé des données au sol collectées à l'aide de pluviomètres dans la région de Setif au cours de la décennie 1990-2000.

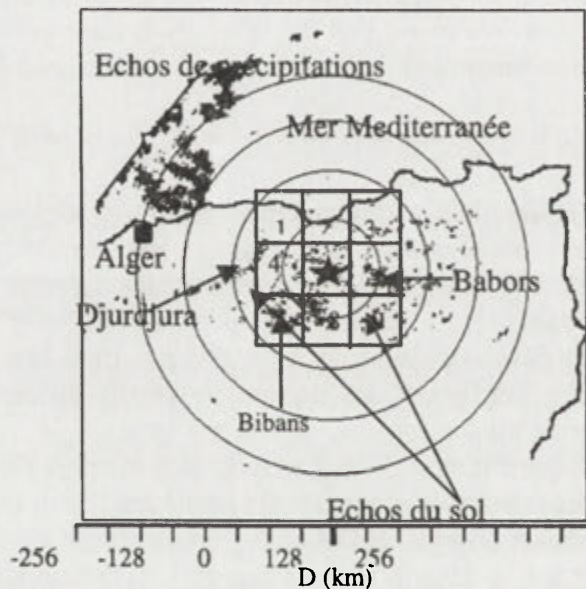


Fig. 1. Décomposition de l'image en neuf zones (les cercles concentriques sont espacés de 40 km)

Résultats

Les différentes valeurs des coefficients linéaires «a» et exponentiel «b» correspondant aux trois couronnes sont regroupées dans le tableau 1.

Tableau 1. Valeurs des coefficients linéaires a et exponentiels b

Rayon d'action du radar «r»	Coefficient linéaire «a»	Coefficient exponentiel «b»
$r < 40$ km	11,97	2,14
$40 \text{ km} < r < 80$ km	240	1,6
$80 \text{ km} < r < 120$ km	4680	1,3

Les valeurs des coefficients «a» et «b» pour la couronne centrale c'est à dire celle dont le rayon varie entre 40 et 80 km sont très proches de celles proposées par Jones (1956) pour les pluies stratiformes. Pour les couronnes inférieures et supérieures, les valeurs sont telles qu'on a respectivement une surestimation et une sous estimation de la puissance reçue.

Le tableau 2 donne la moyenne m du taux de précipitations R , sa variance V et la constante météorologique $v = m/V^2$.

Tableau 2. Valeurs du taux de précipitations moyen m, de sa variance V et du coefficient météorologique

Paramètres	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6	Zone 7	Zone 8	Zone 9
variance	0,11	0,17	0,20	0,0002	0,10	0,40	0,25	0,06	0,12
m	0,40	0,37	0,35	0,001	0,22	0,94	0,53	0,14	0,28
v	5,31	4,37	2,97	30	4,22	5,49	4,59	4,90	4,73

Nous constatons que les plus fortes valeurs de m sont obtenues pour les zones 6 et 7 correspondant aux monts des Bibans et des Babors. Par contre, la plus faible valeur est enregistrée en zone 4. En traversant les montagnes du Djurdjura, les nuages se dissipent sur le versant sous le vent situé en dehors de la zone 4. Nous remarquons que sur toute le domaine d'étude, huit zones sont caractérisées par une constante météorologique égale approximativement à 5. Pour la zone 4, la forte valeur de v peut s'expliquer par le fait l'intensité de précipitation est très faible. En outre, nous avons comparé les intensités de pluie estimées entre le nord et le sud et l'ouest et l'est. Le cumul de précipitations vaut 22,9 mm au nord, 14,8 au sud, 14,22 à l'est et 24,18 à l'ouest et montre qu'il pleut plus à au nord et à l'ouest.

Afin de pouvoir faire une comparaison terre-mer, nous avons choisi deux zones bien distinctes l'une de l'autre et de même superficie. La première est prise sur la mer méditerranée et l'autre sur le continent. On trouve que l'intensité moyenne vaut 18 mm sur le continent et 10,5 en mer. Ceci peut s'expliquer que les couches convectives se développent plus rapidement sur terre que sur mer. D'autre part, la température fluctue plus rapidement sur le continent engendrant plus d'orage et de nuages.

Conclusion

Ce papier porte sur la distribution des précipitations dans les hauts plateaux algériens et l'étalonnage du radar de Setif par la méthode d'analyse probabiliste (M.A.P.) Pour pouvoir utiliser cette approche, nous avons démontré au préalable que la loi de distribution des précipitations dans la zone d'étude suit bien une loi lognormale. Les valeurs des coefficient «a» et «b» de la relation $Z = a R^b$ pour la région de Setif sont proches de celles publiées pour les latitudes moyennes et les pluies stratiformes et caractérisent le climat méditerranéen. En outre, nous avons vérifié que l'orographie influe sur le cumul de précipitations en montant que les intensités les plus fortes sont enregistrées dans les régions montagneuses. La comparaison terre-mer nous a permis de vérifier que les pluies sont plus abondante sur le continent et ce résultat est en bon accord avec celui publié par Nzeukou et Sauvageot (2002).

Bibliographie

- CALHEIROS, R. V. et ZAWADZKI, I., 1987: Reflectivity-rain rate relationships for radar hydrology in Brazil. *J. Clim. Appl. Meteo.*, 26: 118-132.
- DESSENS, J., FRAILE R. et SANCHEZ, J.L., 2000: Weekly distribution of hailfalls and hailstone size distribution in southwestern France. *Proceedings of the 13th International Conference on Clouds and Precipitations*, Reno, Nevada USA, 14-18 August 2000: 1061-1064
- HUDLOW, M.D., 1979: Mean rainfall patterns for the three phases of GATE. *J. Appl. Meteo.*, 18: 1656-1669.
- JONES, D.-M.-A., 1956: Rainfall drop-size distribution and radar reflectivity. *Res. Rept. N° 6, Urbana: Meteor. Lab, Illinois State Water Survey.*
- NZEUKOU, A. et SAUVAGEOT H., 2002: *Distribution of rainfall parameters near the coast of France and Senegal. J. Appl. Meteo.* 41: 69-82.
- SAUVAGOET, H., et LACAUX, J.P., 1995: The shape of average drop size distributions. *J. Atmos. Sci.*, 52: 1070-1083
- ZIPSER, E.J., et LUTZ, K., 1994: The vertical profile of radar reflectivity of convective cells: a strong indicator of storm intensity and lightning probability. *Mon. Weat. Rev.*, 122: 1751-1759.

Year	Number of cases	Percentage
2000	10	10.0
2001	15	15.0
2002	20	20.0
2003	25	25.0
2004	30	30.0
2005	35	35.0
2006	40	40.0
2007	45	45.0
2008	50	50.0
2009	55	55.0
2010	60	60.0
2011	65	65.0
2012	70	70.0
2013	75	75.0
2014	80	80.0
2015	85	85.0
2016	90	90.0
2017	95	95.0
2018	100	100.0

The following table shows the number of cases and the percentage of cases for each year from 2000 to 2018. The number of cases increases steadily from 10 in 2000 to 100 in 2018, and the percentage of cases increases from 10.0% in 2000 to 100.0% in 2018.

The following table shows the number of cases and the percentage of cases for each year from 2000 to 2018. The number of cases increases steadily from 10 in 2000 to 100 in 2018, and the percentage of cases increases from 10.0% in 2000 to 100.0% in 2018.

The following table shows the number of cases and the percentage of cases for each year from 2000 to 2018. The number of cases increases steadily from 10 in 2000 to 100 in 2018, and the percentage of cases increases from 10.0% in 2000 to 100.0% in 2018.

DEUX ETATS STATISTIQUES CARACTERISENT-ILS LE CLIMAT DU DERNIER MILLENAIRE ?

*Ionel HAIDU , Jean-Luc MERCIER***

**Université "Babes-Bolyai" de Cluj-Napoca, Roumanie, ionel_haidu@yahoo.com*

***Université Louis Pasteur de Strasbourg, France, jlm@equinoxe.u-strasbg.fr*

Mots clés: température «proxy», ARIMA, segmentation, densité de probabilités, états statistiques

Abstract: On the base of several shifts of stationarities, a segmentation procedure has been applied to "proxy" series. The statistical significance of resulted sub-series is proved by PDF. Two groups of PDF exist, first one stand for cold sub-series and the second one for warm sub-series. That means two features of the climate at century scale. This approach has to be applied before ARIMA.

Introduction

Les travaux de climatologie historique à résolution annuelle ont récemment produit de nombreuses reconstitutions (Mann et al. 1998, Mann et al. 1999, Mann et al. 2000, Crowley, 2000, Briffa et al. 2001, Jones et al. 2001, Robertson et al. 2001, Luterbacher et al. 2002, Mann, 2002, etc) qui permettent la modélisation. Malgré l'abondance des diverses séries paléoclimatiques, la plupart des articles qui s'occupent de ce sujet, se limitent à l'exposé de la méthode de reconstitutions et à un commentaire basé sur la simple visualisation de la série «proxy». Clairement, il nous manque une méthodologie par laquelle l'analyse exploratoire¹ conduirait à l'élaboration d'un modèle (par exemple stochastique) et dont la vérification permettrait de confirmer ou non la validité du modèle.

Dans ce contexte, notre travail qui porte sur l'analyse des données avant leur modélisation, propose une investigation sur la signification de la moyenne de la série, ainsi que sur les descripteurs les plus significatifs pour la construction d'un modèle. Nous avons choisi trois séries annuelles de «proxies» (Fig. 1) qui reflètent la variation de la température de l'air pendant le dernier millénaire: Guiot (1991) présente les écarts de température annuelle à la normale 1960-1990 en Europe sur la fenêtre 10°O-20°E et 35°N-55°N (ici appelée série **E**); Kirchhefer (2001) qui a reconstitué la température annuelle de la côte N de la Norvège (série **N**), et Le Roy Ladurie (1983) donne les dates des vendanges dans le NE de la France (série **V**).

Méthodes et résultats

La première méthode utilisée est celle de Box et Jenkins. Pour les séries instrumentales à résolution annuelle et de durée de 100-200 ans, les modèles classiques sont de type ARIMA(p,d,q) où (I) signifie une tendance polynomiale où l'ordre de différenciation. Nous avons obtenu des modèles fortement différents; pour la série **E**, il est possible d'appliquer un modèle stochastique ARMA (2,0). Pour la série **N** on peut accepter un modèle ARIMA (3,1,3) où (1) signifie une différenciation d'ordre (1). Pour la série **V** les pics de fonctions d'auto corrélation (ACF) et d'auto corrélation partielle (PACF) sont presque significatifs pour des retards de 7 et 11 ans; mais, un modèle stochastique ARMA(7,7) n'est pas utilisable car il n'est pas causal². Ces résultats sont validés par des outils statistiques spécifiques.

Les résultats de l'approche ARIMA conduisent à des structures mathématiques très différentes. S'agissant de trois séries temporelles ayant un même but, le modélisateur s'attendrait à trouver un résultat semblable, or ce n'est pas le cas. La série **N** est stationnelle,

¹ Dans la terminologie de Box et Jenkins il s'agit du choix et de l'ajustement du modèle.

² Dans la terminologie de Box et Jenkins il s'agit de l'estimation des paramètres.

V est régionale et E semi-continentale; l'échelle spatiale a une influence encore inconnue à laquelle s'ajoute l'effet propre du « proxy » qui n'est pas le même dans les trois cas.

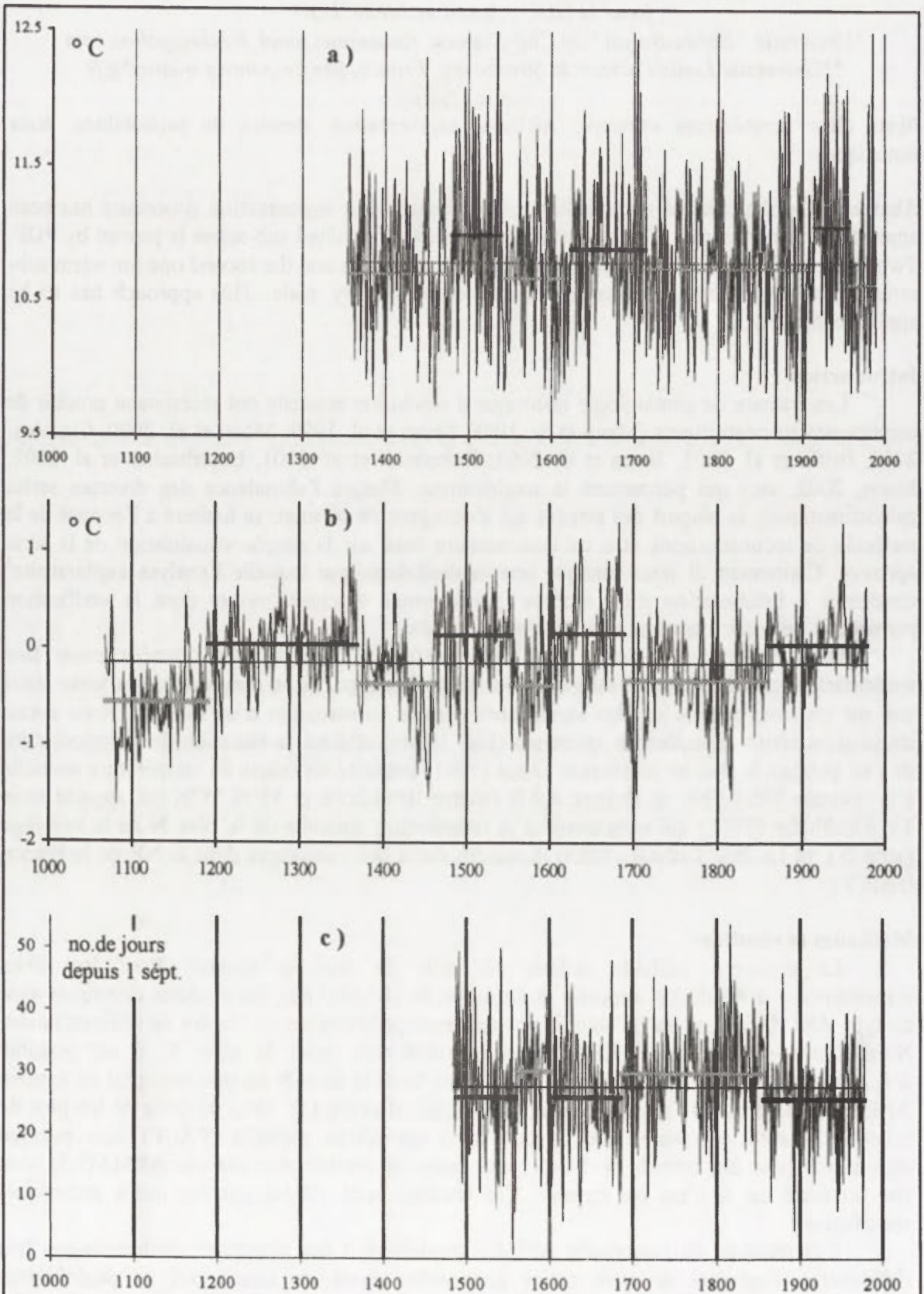


Fig. 1. Segmentation de séries «proxy»: a) température annuelle de la côte N de la Norvège (Kirchhefer, 2001, série FF2B cernes des arbres); b) écarts de température annuelle à la normale 1960-1990 en Europe (Guiot, 1991, multiproxies); c) Date des vendanges au NE de la France (Le Roy Ladurie, 1983, documents historiques)

Pour des données climatiques annuelles il est difficile d'accepter un modèle possédant une simple structure d'auto corrélation car le système climatique a de nombreuses rétroactions non linéaires et sa «mémoire» s'elle existe, est mal connue. On peut comprendre que l'inertie dans la vie d'un arbre joue un rôle de lissage temporel, ainsi s'explique le modèle plus complexe de la série N. Par contre, dans le cas de la vigne (comme pour les fleurs ou les feuilles) les caractéristiques thermo-pluviométriques d'une année n'influencent pas de manière significative la date de maturité du raisin de l'année suivante. C'est le cas de la série V construite à partir de documents historiques et qui dans sa globalité est une série stationnaire proche d'un «bruit blanc». La série E est une ARMA de complexité intermédiaire car J. Guiot l'a construite sur une approche multi proxy utilisant des cernes d'arbres, des documents historiques etc. On peut conclure que l'application de la méthode ARIMA classique à ce type de série est inadéquat.

La deuxième méthode est une segmentation en sous séries fondée sur l'identification des dates de ruptures de la stationnarité à l'aide du test $u(t)$ de Mann-Kendall-Sneyers. Les moyennes des sous séries alternent de part et d'autre de la moyenne globale et suggèrent l'existence de deux états statistiques (Fig. 1). Pour tester l'identité statistique des sous séries nous avons utilisé trois tests: le test d'indépendance Wald-Wolfowitz, le test de stationnarité de Kendall et le test d'homogénéité à l'échelle annuelle de Wilcoxon. Les tests ont été appliqués pour la série entière, pour chacune des sous séries et pour des échantillons composés de sous séries successives. Puis par une démarche probabiliste nous avons confirmé l'existence de deux états statistiques opposés.

Discussion

L'approche ARIMA classique a quelques inconvénients: d'une part on ne peut visualiser les oscillations de la moyenne lorsqu'elles se produisent; d'autre part, durant le processus de modélisation, des artefacts peuvent être engendrés numériquement dans les séries temporelles.

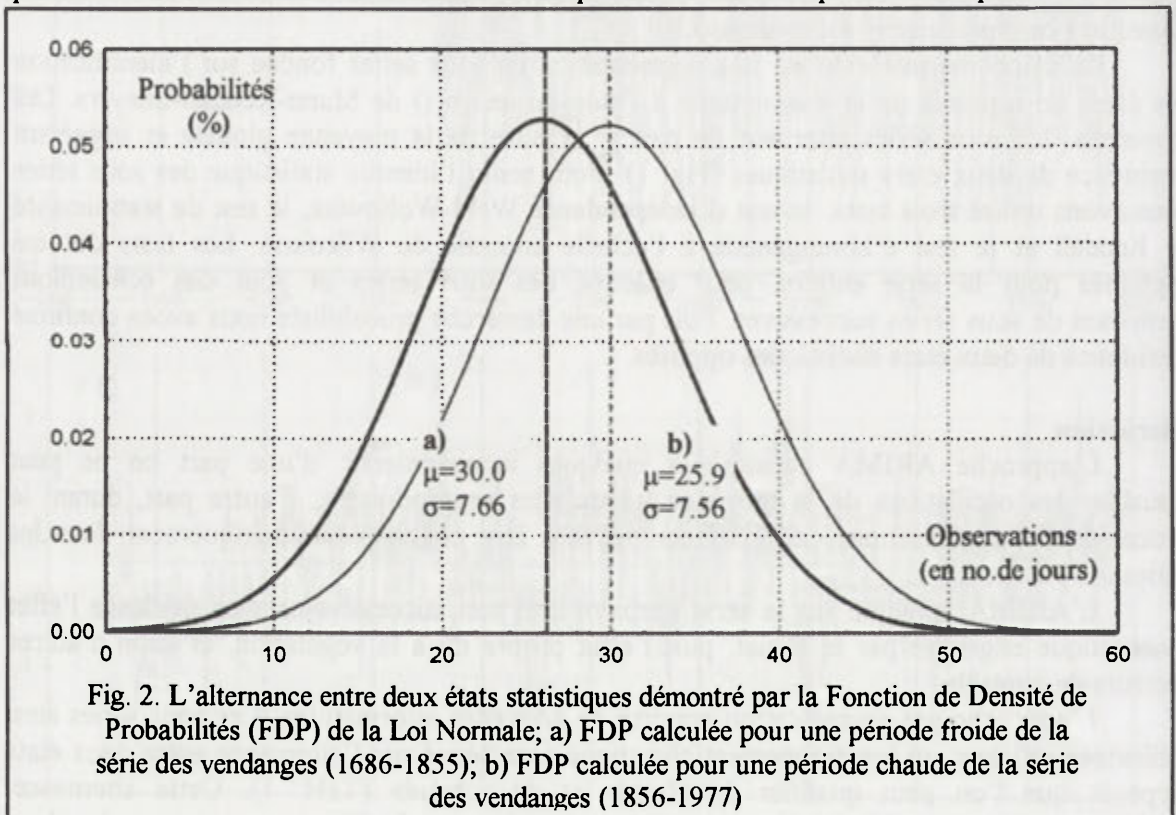
L'ARIMA appliqué sur la série «proxy» brut met successivement en évidence l'effet stochastique engendré par le climat, puis l'effet propre dû à la végétation, et enfin d'autres facteurs de contrôle.

L'approche par segmentation apporte de nouvelles informations. Les sous séries ainsi délimitées reflètent un fonctionnement climatique caractérisé par l'alternance entre deux états opposés que l'on peut qualifier de «froid» et de «chaud» (Tabl. 1). Cette alternance, caractérisée par une rupture dans la stationnarité n'a une signification statistique (et donc climatique) que certaines années. L'identité de ces périodes différentes est liée au climat, mais comme dans le cas précédent leurs longueurs et leurs moyennes sont influencées aussi par leur caractère spatial (local ou régional) et par la spécificité du «proxy» ou du «multiproxy» utilisé.

Tableau 1. Alternance entre périodes froides et chaudes au cours du dernier millénaire

Température annuelle de la côte Nord de la Norvège (Kirchhefer-2001, série FF2B cernes des arbres)		Ecart de température annuelle à la normale 1960-1990 en Europe (Guiot-1991, multiproxy)		Date de vendanges au NE de la France (Le Roy Ladurie – 1983, documents historiques)	
<i>Pér. froide</i>	<i>Pér. chaude</i>	<i>Pér. froide</i>	<i>Pér. chaude</i>	<i>Pér. froide</i>	<i>Pér. chaude</i>
		1068-1190			
			1191-1370		
1359-1479		1371-1462			
	1480-1539		1463-1554		1491-1559
1540-1622		1552-1602		1560-1601	
	1623-1713		1603-1689		1602-1685
1714-1913		1690-1857		1686-1855	
	1914-1954		1858-1979		1856-1977
1955-1989					

Pour vérifier la validité de l'alternance entre les deux états statistiques nous avons utilisé l'outil probabiliste. Ainsi, par l'analyse de fréquence nous avons cherché la meilleure loi de probabilité qui s'adaptait aux séries « proxy » annuelles. La loi Normale est la meilleure loi de probabilité qui s'adapte aussi bien pour la série entière que pour les sous séries. La Fonction de Densité de Probabilités (FDP) est un outil très robuste pour vérifier des hypothèses probabilistes. L'application de cette fonction pour les sous séries justifie le fait qu'il y a deux groupes de FDP pour chacune des séries analysées. Dans un groupe se trouve les FDP pour les périodes froides et l'autre groupe contient les FDP pour les périodes chaudes. La figure 2 présente une comparaison pour les dates des vendanges entre une FDP pour une période chaude et une FDP pour une période froide. La différence est évidente, ce qui démontre l'existence de deux états statistiques dans les séries paléoclimatiques.



Conclusions

1. L'ARIMA classique appliquée à la série « proxy » est inadéquate.
2. Une procédure de segmentation basée sur l'identification des dates de rupture de la stationnarité met en évidence des sous séries qui peuvent avoir une signification statistique et climatique.
3. La fonction de densité de probabilités justifie l'existence et l'alternance de deux états statistique centenaires dans les séries "proxy".
4. Les deux états statistiques sont assimilés à l'alternance de deux comportements climatiques centenaires (décadaires) pendant le dernier millénaire: périodes chaudes et périodes froides.
5. La segmentation doit être appliquée avant l'ARIMA.

Bibliographie

- GUIOT, J., 1991: The combination of historical documents and biological data in the reconstruction of climate variations in space and in time. [Dans:] Frenzel, B., Pfister, C., Gläser, B., (coord.), *Paldoklimaforschung / Paleoclimate Research*, 7, Special Issue: 93-104.
- KIRCHHEFER, A., J., 2001: *Coastal Northern Norway Temperature Reconstruction*. International Tree-Ring Data Bank. IGBP PAGES / World Data Center – A for Paleoclimatology Data Contribution Serie #2001-055. NOAA/NGDC Paleoclimatology Program, Boulder CO, USA.
- LE ROY LADURIE, E., 1983: *Histoire du climat depuis l'an Mil*, 2, Flammarion, Paris.

CLIMAT ET QUALITE DE L'EAU DANS LES BARRAGES EN TUNISIE: LE CAS DES BARRAGES DE *SIDI SALEM* ET *SIDI SAAD*

Zouhaier HELAOUI et Habib BEN BOUBAKER

Laboratoire de Biogéographie, Climatologie Appliquée et Dynamique Erosive

Faculté des Lettres de Manouba, 2010 Tunisie

Zouhaierhlaoui@yahoo.fr; Habib.Boubaker@flm.rnu.tn

Mots clés: hydrologie, pluviométrie, barrages de Tunisie, qualité de l'eau, eutrophisation, salinité

Abstract: The climate contribute in a large measure, either to improve the quality of water in *Sidi Salem* and *Sidi Saad* dams, either to accelerate their deterioration. Consequently, the waters of *Sidi Saad* dam are submitted to the risk of an increasing salinisation, especially when rainfall decreases and/or temperatures increase. On the other hand, the risk of eutrophisation is the more preoccupying in *Sidi Salem*, especially when contributions of water regress.

Introduction:

On s'intéresse le plus souvent aux aspects quantitatifs des eaux en Tunisie, étant donné que le pays fait face à une menace constante de «pénurie d'eau». En conséquence, on sous-estime les potentialités et les contraintes inhérentes à la qualité de l'eau, qui représentent un atout non moins important.

Dans ce cadre, les barrages de *Si Salem* et de *Si Saad* représentent, respectivement, les plus grandes retenues d'eau de la Tunisie du nord et du centre. Leur capacité moyenne respective est de 814 Mm³ et 131 Mm³. Ils jouent un rôle indéniable dans la satisfaction des besoins agro-industriels et urbains des deux régions (Tabl. 1). Appartenant à deux ambiances climatiques assez contrastées, ils subissent des retombées hydrologiques et climatiques variées.

Il va sans dire que la **qualité de l'eau** y représente un atout majeur pour les différents genres d'usages. Or, cette qualité dépend étroitement de 3 grands types de facteurs:

- des processus pédogénétiques;
- l'action anthropique, qui se manifeste par les afflux d'eau provenant des agglomérations urbaines, des installations industrielles, ...;
- l'effet du climat, en particulier l'évaporation, provoquant la concentration de résidus secs, les apports d'eau pluviale, qui contribuent au renouvellement et au brassage de l'eau dans la retenue,...

Dans le présent travail, nous nous proposons de mener une étude comparée de la relation entre la variabilité inter annuelle des éléments du climat, en l'occurrence la pluviométrie et la température, et celle de la qualité de l'eau des deux barrages pour la période (1982 -2000). L'objectif est de:

- saisir l'effet du climat sur la variabilité temporelle de la qualité des eaux et de leur état trophique dans ces deux barrages;
- chercher les facteurs d'ordre hydro-climatique susceptibles de renforcer ou d'atténuer les risques de dégradation des eaux dans les deux barrages, tout en soulignant l'originalité de chacun d'entre eux;
- chercher les autres facteurs (anthropiques ou naturels) qui peuvent se conjuguer à l'effet du climat pour déterminer la qualité des eaux.

Fig. 1. Croquis et points de prélèvement
 1.a: Croquis du B.V. du barrage *Si Saad* 1.b: Croquis du barrage *Si Salem*

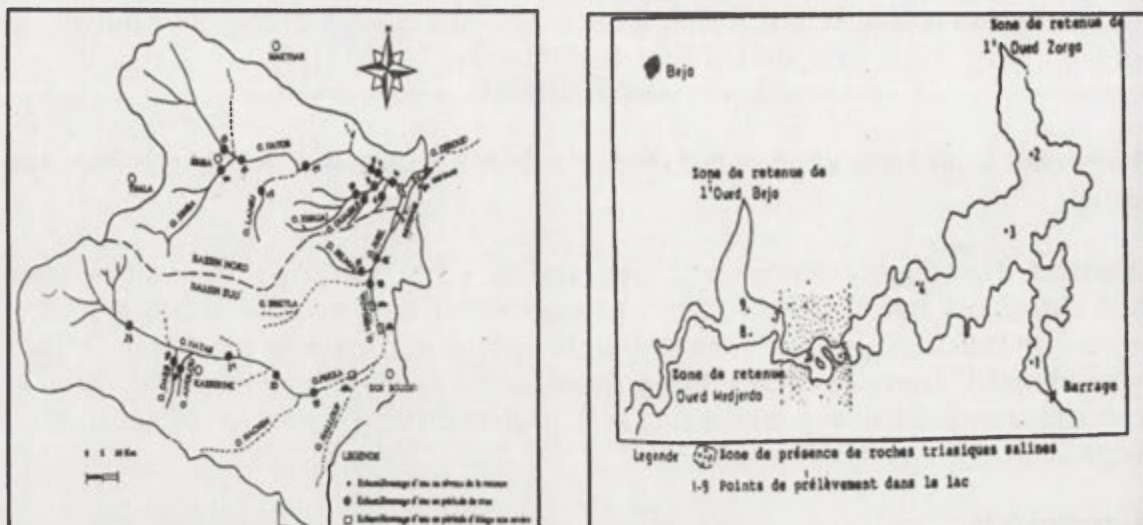


Tableau 1. Caractéristiques principales des barrages de *Sidi Saad* et *Sidi Salem*

Caractère	<i>Sidi Saad</i>	<i>Sidi Salem</i>
Année de création	1982	1982
Caractères hydrologiques:		
- Capacité:	131 Mm ³	814 Mm ³
- Apport annuel moyen:	93.7 Mm ³	447.8 Mm ³
- Superficie du B.V.:	8 575 km ²	18 250 km ²
- Principaux affluents:	Zeroud, Hajel, Hatob	Medjerda, Béja, Mellègue, Tessa, Siliana
- Principaux objectifs:	Amortissement des crues, protection de la ville de Kairouan, irrigation, recharge de la nappe, ...	Amortissement des crues, protection des villes, irrigation, production d'électricité, ...
Caractères climatiques:		
- Pluviométrie moyenne au barrage:	220 mm/an	450 mm/an
- Température moy. Maxi.:	Kairouan: 25.8	Jendouba: 24,6°
- Température moy. Mini.:	Kairouan: 13.1	Jendouba: 10,8°
- Evap bac moy. au barrage	1626 mm/an	1680 mm/an

Données et Méthodes

Trois types de données ont été pris en considération pour cette étude:

Des données climatiques: elles concernent:

- la pluviométrie dans les deux barrages et dans les stations environnantes situées à l'amont, susceptibles d'affecter l'hydrologie ou la qualité de l'eau ruisselée vers le barrage ou ses affluents.

- La température de l'air et l'évaporation dans la retenue, qui sont en mesure d'influencer le bilan hydrologique du barrage et par conséquent la qualité de ses eaux.

- La température de l'eau, en surface et en profondeur, ayant un effet sur la stratification de l'eau et sur son niveau d'eutrophisation.

Des données hydrologiques: Elles se rapportent aux différentes composantes du bilan hydrologique des deux barrages, à l'échelle mensuelle et annuelle, depuis leur mise en eau (stock d'eau, apport brut, fuites, déversement, transferts, ...).

Des indicateurs de qualité de l'eau témoignant de ses caractères physico-chimiques (Ph, conductivité, turbidité...) et sa teneur des éléments majeurs (Na⁺, K⁺, Ca⁺⁺, Cl⁻, salinité ...).

Ces données se réfèrent soit à l'ensemble de la période d'observation (1982-2000) au pas de temps mensuel et annuel, soit à sondages ponctuels pris lors de deux campagnes (1994

et 1995) dans 9 points de prélèvement dans le lac de *Si Salem* et 24 points dans le B.V. du barrage de *Si Saad* (Fig. 1.a et 1.b). Ces données sont issues de diverses sources statistiques du Ministère de l'Agriculture (DGTH, BIRH, ...), d'études ponctuelles et expérimentales, ... Toutefois, un effort considérable a été fourni pour la vérification et l'homogénéisation des données. Dans plusieurs cas, les données issues des mêmes sources sont entachées de divergences difficiles à déchiffrer.

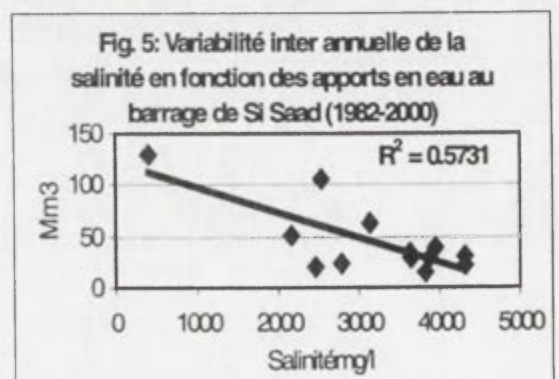
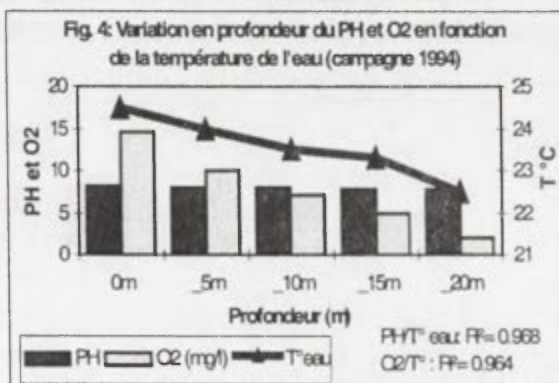
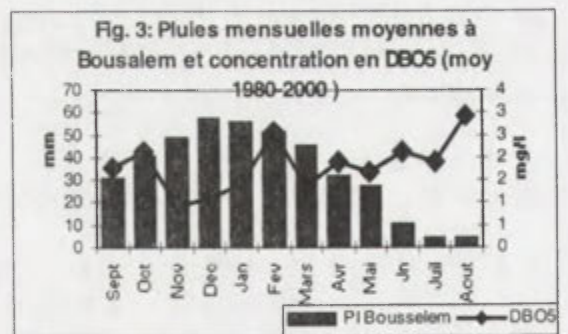
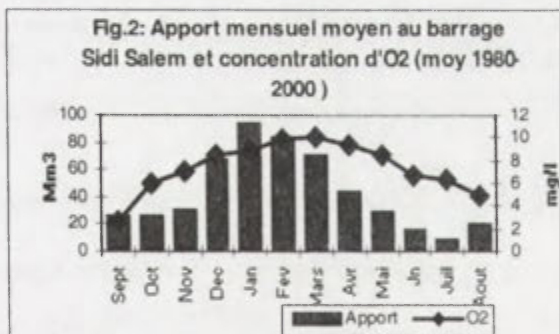
A partir de ces données et dans le souci de détecter l'impact du climat sur la qualité des eaux de ces barrages, nous avons cherché à mettre en évidence les différentes liaisons significatives entre les paramètres de qualité de l'eau et ceux d'ordre climatique (température de l'eau, pluviométrie, évaporation, ...) ou hydrologique (apports d'eau, ...). D'innombrables tâtonnements ont été effectués pour aboutir aux liaisons les plus significatives au point de vue statistique, dont les résultats seront illustrés de manière graphique ou statistique.

Résultats

Tableau 2. Matrice des corrélations*

Corrélations statistiques entre les pluies moyennes mensuelles, l'apport moyen au barrage et les paramètres de qualité d'eau de la retenue du barrage Sidi Salem									
Corrélations significatives marquées en gras à $p < .10000$									
Bge Sidi Salem	Pluv.Bge	Pluv_Beja	Pluv_Mjaz	Pluv. Bosalm	O2	DBO5	NO2_N	NH4_N	PO4_P
O2	0.26	0.54	0.37	0.51					
DBO5	-0.52	-0.53	-0.42	-0.57	-0.25				
NO2_N	-0.30	-0.34	-0.33	-0.23	0.16	0.07			
NH4_N	0.40	0.26	0.29	0.39	-0.07	-0.42	0.30		
PO4_P	-0.12	-0.42	-0.34	-0.29	-0.09	0.10	0.45	0.36	
Apport au Barrage	0.68	0.84	0.78	0.81	0.69	-0.24	-0.15	-0.04	-0.43

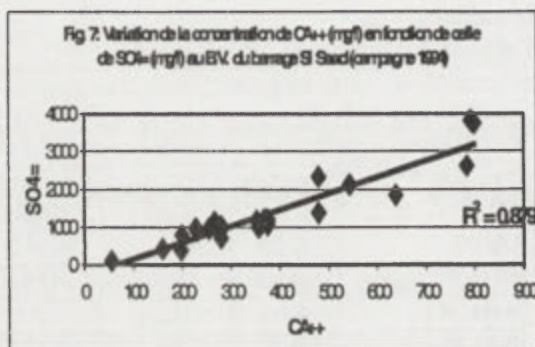
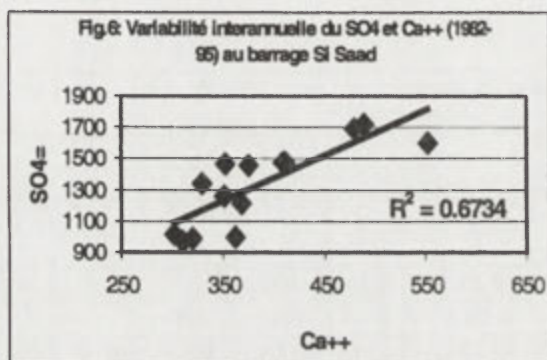
* les traitements statistiques ont été effectués par le logiciel *Statistica*.



Les résultats préliminaires de la présente étude laissent voir que:

- la pluviométrie dans les stations du bassin versant contribue dans une large mesure à alimenter la retenue en oxygène. C'est le cas par exemple au barrage de Si Salem, confirmé par la forte corrélation avec la pluviométrie des stations de Béja et Bousalem ($R^2=0,54$ et $0,51$), mais aussi par l'apport total d'eau au barrage ($R^2=0,69$) (Tabl. 2)

- La pluviométrie à l'amont des barrages contribue à réduire la concentration en DBO5 à raison d'un taux de 42 à 57 % de la variance dans le cas de Si Salem.
- L'effet direct de la pluviosité sur la concentration de certains autres éléments physico-chimiques (NO₂_N, NH₄_N, PO₄_P, ...) reste plus délicat à démontrer.
- En revanche, l'effet de la stratification thermique de l'eau dans les barrages semble plus évident. Il apparaît nettement par exemple dans la retenue du barrage de Si Saad (Fig. 4) d'après la forte liaison de la température de l'eau en profondeur avec le PH et l'O₂ dissous dans l'eau.
- Quant à la salinité, elle est en étroite liaison avec les possibilités de renouvellement de l'eau, d'où une forte corrélation avec les apports interannuels à Si Saad (Fig. 5).
- Enfin, une forte liaison se manifeste entre les constituants physico-chimiques de l'eau eux mêmes. Par exemple, l'augmentation de la concentration du Ca⁺⁺ va de pair avec celle du SO₄⁼ (Fig. 6 et 7).



Conclusions

Les eaux du barrage Si Salem courent surtout le risque d'eutrophisation, par contre ceux de Sidi Saad risquent surtout une salinisation accrue. Ces risques reflètent le poids d'un ensemble complexe de phénomènes, dont l'action de climat, qui peut accentuer ces risques ou les atténuer.

Bibliographie:

- Faculté des sciences de Tunis, Département de géologie; 2000: *Etude de la qualité des eaux du barrage de Sidi Saad*, Rapport final.
- BERNHARDT, H., 1978: *Pronostics sur la qualité de l'eau dans le barrage Sidi Salem (Tunisie)*. Publication du Ministère de l'Agriculture.
- SAADAOUI, M., 1996: *Effets du climat sur l'écosystème trophique de la retenue de Sidi Salem (Tunisie)* In *Variabilité du climat et stratégies d'adaptation humaines en Tunisie*. Université de Tunis I: 323-353.

CLIMAT ET BILANS HYDRIQUES DES BARRAGES EN TUNISIE

Latifa HENIA Zeineb BENZARTI** et Habib Ben BOUBAKER***

**Université de Tunis, ** Université de la Manouba*

Mots clés: pluie – évaporation – apports au barrage – bilan hydrique – Tunisie

Abstract: in this survey we contribute to the evaluation of the dependence between water balance of big dams towards climate and notably towards the rain and the evaporation. The modest and variable rain contrast with a high and less variable evaporation. But the variability of inflow remain superior to the one of the rain and overtake from afar the one of the evaporation.

Introduction

La Tunisie possède des ressources en eau faibles en raison d'un climat aride à semi-aride sur les trois quarts de son territoire et d'une taille réduite de ses bassins versants. Les ressources renouvelables constituent 74 % de son potentiel en eau. Les eaux de surface en constituent 58 %. La mobilisation de ces eaux est assurée actuellement par 26 grands barrages localisés dans le nord et le centre du pays. Le bilan en eau de ces barrages subit une grande variabilité d'une année à l'autre: les années de sécheresse engendrent des situations de pénurie d'eau plus ou moins graves et les années de fortes pluies sont à l'origine d'un excédent d'eau parfois difficile à gérer. La variabilité de la demande et surtout son accroissement lors des années sèches aggrave l'effet de la variabilité du climat. Une bonne connaissance des bilans hydriques de ces barrages dans leur variation inter annuelle constitue un pas vers l'optimisation de la gestion future des ressources en eau du pays.

Méthodes

Les données relatives aux différents termes du bilan hydrique utilisées dans cette étude sont recueillies auprès de la Direction Générale des Etudes et des Travaux Hydrauliques (DGETH) au sein du Ministère de l'Agriculture. Pour chaque année hydrologique (du 1^{er} septembre au 31 août) et pour chaque barrage un tableau fournit les valeurs mensuelles pour les différents termes du bilan hydrique. Signalons cependant que les termes du bilan ne sont pas définis tous avec le même degré de précision. Les termes climatiques, la pluie et secondairement l'évaporation, sont relativement bien mesurés. Les données de l'écoulement restent insuffisantes du fait du nombre restreint des stations de jaugeage, de l'instabilité des stations de mesures et de la difficulté de mesurer les épisodes exceptionnels (Frigui, 2002). Les pertes totales du barrage correspondent au terme le plus complexe de l'équation du bilan et dont les données posent le plus de problème, étant donné que ce terme est estimé par calcul intégrant les autres termes du bilan, les résultats obtenus se trouvent marqués à la fois par les erreurs de mesure et celles de l'estimation des ces termes. Signalons, en outre, que les données n'existent sur support informatique que pour les dix dernières années. Les séries de données ne sont pas sans erreurs et sans lacunes. Les composantes du bilan ne sont pas détaillées de la même façon pour tous les barrages et pour toutes les années, ce qui limite les possibilités de comparaison, au niveau de certains éléments du bilan, entre les barrages et parfois même entre les années. Ces contraintes au niveau de la documentation de base à côté de la difficulté d'accès aux données pourraient expliquer la rareté des études sur les bilans hydriques des barrages en Tunisie. Ces mêmes contraintes nous ont poussés à focaliser sur les deux composantes climatiques du bilan à savoir la pluie et l'évaporation ainsi que sur les apports globaux aux barrages. Devant la difficulté de détailler l'étude du bilan hydrique, ces trois paramètres nous paraissent susceptibles de donner une idée sur la variation du climat et du bilan hydrique des barrages. L'équation de l'apport est la suivante:

$$\text{Apport} = \alpha R_t + \text{Dév} + L + I + F + E_v + \text{dév.} + e_r$$

Où: αR_t = Variation du volume de la retenue, Dév = Dévasement, L = lâchure, I = Irrigation, F = Fuite, E_v = Evaporation de la retenue en millions de m^3 , dév = déversement et e_r = erreur d'évaluation.

La longueur des séries de données varie d'un barrage à un autre en rapport avec la date de création de chaque barrage. La Tunisie dispose aujourd'hui de 26 grands barrages. Les plus anciens (Mellègue, Ben Mtir) datent de 1954. Les plus récents sont postérieurs à l'an 2000. Dans cette étude, nous focalisons sur les deux dernières décennies pour lesquelles les séries de données sont de meilleure qualité.

Résultats

La Tunisie se caractérise par une pluviosité faible et irrégulière. A l'échelle globale, elle reçoit en moyenne 230 mm/an, soit 36 milliards de m^3 d'eau. Ce volume peut se limiter à 11 milliards de m^3 uniquement en année sèche et atteindre 90 milliards de m^3 en année très humide (Kallel, 1997). Les barrages sont implantés dans deux domaines climatiques sensiblement différents: la Tunisie tellienne avec une pluie moyenne annuelle supérieure à 400 mm, atteignant 1500 mm dans l'extrême nord-ouest du pays et la Tunisie centrale avec des totaux moyens situés entre 350 et 100 mm/an. Dans les deux domaines les pluies se caractérisent par une grande variabilité. Les coefficients de variation sont de 0,25 à 0,45 dans le nord et 0,40 à 0,55 dans le centre. Au cours des deux dernières décennies (1982-83, 2001-2002), au niveau du barrage de Sidi Salem (le plus grand barrage de la Tunisie), la pluie a été en moyenne de 412 mm / an et a varié entre 171 mm (1993-94) et 557 mm (1995-96). Au niveau du barrage de Sidi Saad (le plus grand barrage de la Tunisie centrale) la pluie moyenne pour la même période a été de 210 mm/an et les totaux ont varié entre 85 mm (1987-88) et 415 mm (1989-90).

La pluie, modeste et très variable, contraste avec une évaporation très forte et beaucoup moins variable. L'évaporation bac (Colorado) a varié au cours des vingt dernières années au niveau des sites des barrages entre 1246 mm/an et 1952 mm, avec des valeurs plus élevées dans le centre que dans le nord (Fig. 1 et 2). Cette évaporation est variable d'une année à l'autre, mais cette variabilité reste relativement faible. Les coefficients de variation situés entre 0,05 et 0,15 restent bien inférieurs à ceux des totaux pluviométriques. Le total annuel minimal de l'évaporation ne descend pas au dessous de 75% du total annuel maximal (Benzarti et Hénia 2002). Les quantités évaporées au niveau des plans d'eau du barrage constituent en moyenne 9,8 % de l'apport annuel moyen au niveau du barrage de Sidi Salem et 22,8% au niveau du barrage de Sidi Saad. Mais, elles peuvent constituer, en année sèche, entre 40 et 50 % de l'apport total annuel. En année humide, les pertes par évaporation peuvent être inférieures à 10 % de cet apport (Tabl. 1).

Tableau 1. Apports aux barrages et évaporation

Barrage	Année	Apport*	Evaporation*	Evap / apport
Sidi Salem	1995-96	549,879	44,372	8,06%
	1996-97	125,015	48,085	38,5%
Sidi Saad	1989-90	271,74	14,99	5,5%
	1996-97	18,165	16,068	88,4 %

* en millions de m^3 .

Ministère de l'Environnement 1997

A l'échelle globale, l'évaporation reprend, en Tunisie, 80 % des eaux précipitées. Il est à noter surtout que la pluie et l'évaporation varient dans le sens inverse, aussi bien à l'échelle saisonnière qu'inter annuelle (Fig. 1 et 2). De ce fait, lors des années sèches, les volumes d'eau collectés par les barrages subissent le double effet de la diminution de la pluie et de l'augmentation de l'évaporation..

Les grands barrages ont un apport total moyen de 1444 millions de m^3 . Mais ce total est très variable d'une année à l'autre. Il descend au dessous de 400 millions de m^3 au cours

des années très sèches et dépassent 1700 millions de m³ en année pluvieuse (Ministère de l'Agriculture). Le tableau 2 représente en chiffres un exemple concret de la variation des apports aux barrages au cours de deux années successives. Remarquons, à titre d'exemple, au niveau du barrage de Sidi Salem, au cours de l'année 1994-95 et en comparaison avec la situation moyenne, la pluie a enregistré un déficit de 52%, l'évaporation a augmenté de 12% et les apports ont accusé un déficit de 62,5%. Ce qui dénote une variabilité, plus grande au niveau des apports qu'au niveau de la pluie et de l'évaporation.

Tableau 2. Variation des apports (en milliers de m³) aux barrages au cours de deux années successives 1994-95 et 1995-96

Barrage	Apport moyen	Apport 94-95	Déficit 94-95	Apport 95--96	Excédent 95-96	Taux de remplissage le 31/8/95	Taux de remplissage le 31/8/96
Sidi Salem	447757	167560	- 62,5%	538000	+ 20,2%	46%	92%
Sejnane	98910	30867	-69%	139000	+ 40,5%	13%	81%
Masri	2551	303	-88%	6000	+ 135 %	14%	86%
Nebhana	66500	30169	-66,5%	34000	+ 13,3%	14%	52%

Source: Ministère de l'Agriculture (1999)

Le coefficient de variation des apports oscille selon les barrages entre 0,55 et 1,50. Les valeurs les plus élevées correspondent aux barrages du Cap Bon et ceux de la Tunisie centrale. Ces valeurs restent supérieures à celles de la pluie et dépassent de loin celles de l'évaporation. Les figures 4 et 5 montrent une corrélation nette entre les apports et les totaux pluviométriques de ces barrages d'un coté et les apports et l'évaporation de l'autre.

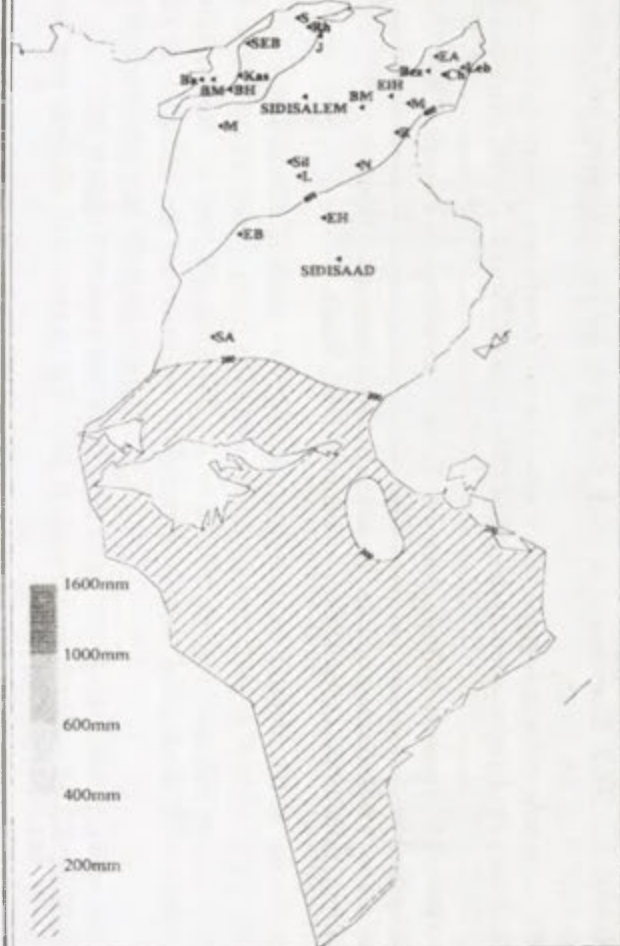
Conclusion

Les bilans hydriques des barrages en Tunisie, sont largement tributaires du climat et particulièrement de la grande variabilité des pluies et du niveau très élevé et relativement stable de l'évaporation. Une bonne connaissance de ces bilans est primordiale pour une gestion optimale des richesses hydriques du pays et pour la réussite des différentes actions futures de la stratégie de développement des ressources en eau. Aujourd'hui, la qualité des données disponibles ne permet pas une bonne connaissance de ces bilans. Les erreurs dans l'évaluation de leurs moyennes inter annuelles restent importantes et varient entre 7% et 33% (Frigui, 2002), d'où la nécessité de disposer, de généraliser et de régionaliser des données fiables permettant une meilleure connaissance des indicateurs climatiques et hydroclimatiques afin de présenter des bilans fiables pour tout le pays.

Bibliographie

- BENZARTI, Z, HENIA, L., 2002: Evaporation et stock d'eau dans les lacs collinaires en Tunisie, *Publication de l'AIC, Vol. 14: 17-25.*
- FRIGUI, H.L., 2002: *Approche méthodologique sur l'évaluation de l'écoulement moyen interannuel, statistiques des bilans des bassins versants des grands barrages en Tunisie.* DGRE, Ministère de l'Agriculture.
- KALLEL, M.R., 1997: *La situation hydrologique en Tunisie au cours de l'année 1996-1997.* Ministère de l'Agriculture.
- Ministère de l'Agriculture, 1999: *Guide pratique de gestion de la sécheresse en Tunisie.*
- Ministère de l'Environnement 1997: *L'état de l'environnement 1996.* Tunis.

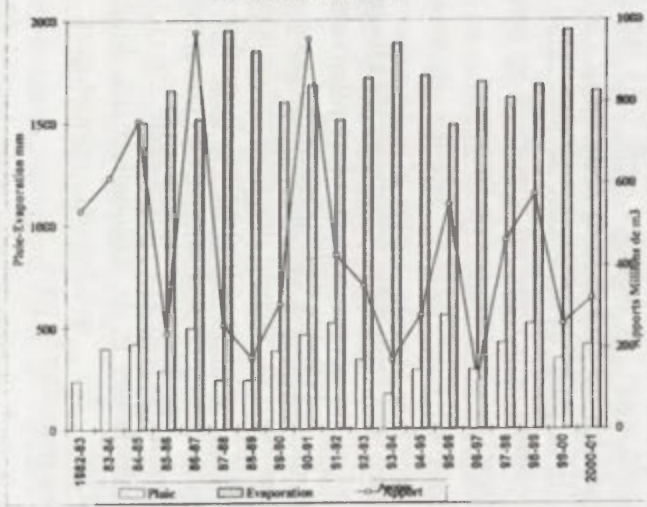
Graph n°1 - LOCALISATION DES GRANDS BARRAGES ET ISOHYETES MOYENNES ANNUELLES EN TUNISIE



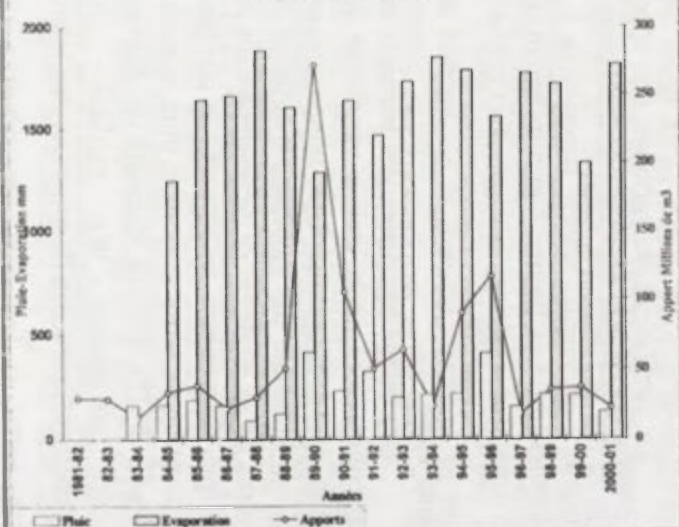
Nom des barrages:

SEB	SidiElBarrak	Ba	Barbara	BM	BenMezir
BH	Bouherma	Kas	Kasseb	M	Mellegue
S	Segnane	Rh	Rhezala	J	Joumine
EA	EIAbid	Bez	Bezirk	EH	EIIma
Leb	Lebna	Ch	Chiba	M	Masri
R	Rmei	Sil	Silana	L	Lakhmes
N	Nebhana	EH	Ehouareb	EB	EIBrek
SA	SidiAich				

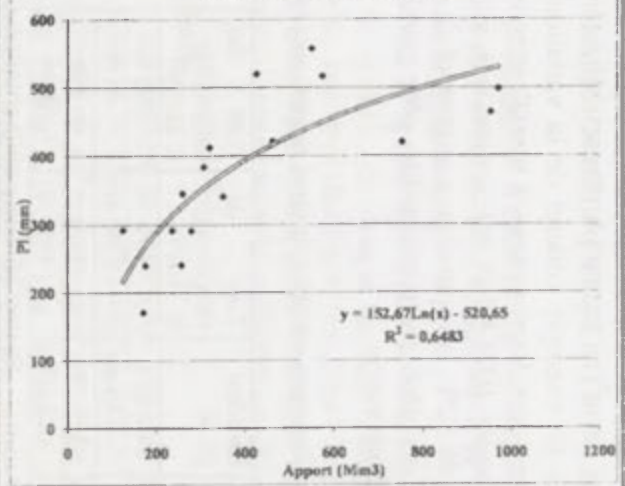
Graph n°2 - REPARTITION INTER ANNUELLE DES PLUIES DE L'EVAPORATION ET DES APPORTS AU BARRAGE DE SIDI SALEM



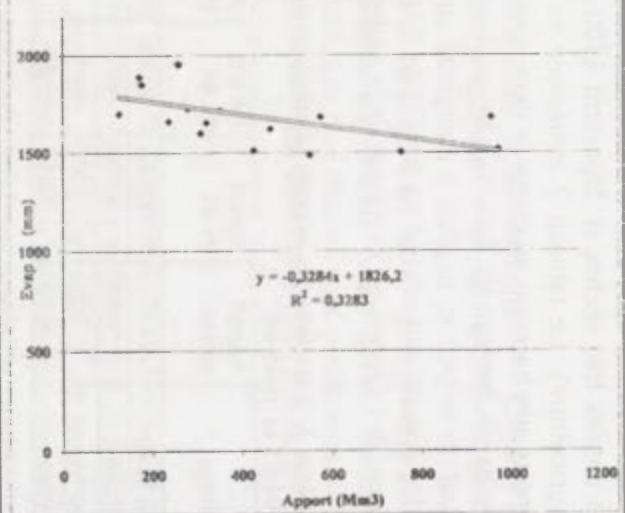
Graph n°3 - REPARTITION INTER ANNUELLE DES PLUIES DE L'EVAPORATION ET DES APPORTS AU BARRAGE DE SIDI SAAD



Graph n°4 - APPORT ANNUEL AU BARRAGE / PLUIE ANNUELLE AU BARRAGE DE SIDI SALEM



Graph n°5 - APPORT ANNUEL AU BARRAGE / EVAPORATION ANNUELLE AU BARRAGE DE SIDI SALEM



NB : Les premières années de la série des données de l'évaporation

GLACE DE LAC: CINQ ANNEES D'OBSERVATIONS ET DE SIMULATION AU LAC DELAGE (QUEBEC)

*André HUFTY, professeur retraité, université Laval, Québec
andre.hufty@ggr.ulaval.ca*

Mots clés: lac, glace, neige, modélisation, changement climatique

Abstract: During 5 winters, the evolution of spatial patterns in the snow and ice cover of a lake are observed and simulated. The ice-on and ice-off dates are sensitive to climatic variations but not the mean depth of ice: model and observations reveal more the effect of the rhythm and intensity of winter precipitations for forecasting lake freezing.

Introduction

Pendant cinq hivers, de 1998 à 2003, nous avons observé et simulé l'épaisseur de la neige et de la glace sur un petit lac situé au nord-ouest de la ville de Québec. Comme les détails de la simulation physique ont déjà fait l'objet d'un article (Hufty,1999), nous en utiliserons les résultats sans rappeler la procédure, pour décrire l'évolution habituelle du lac.

Méthode

Une simulation permet de combler les lacunes entre les observations et ne les remplace pas; l'acquisition de données reste donc indispensable. Ces dernières proviennent de trois sites: au lac, des températures horaires sous abri, des épaisseurs journalières de neige dans deux endroits, des carottages et des sondages de neige et de glace, des mesures de température dans la glace et dans l'eau ...: à Charlebourg, dans une station urbaine à 15 km au sud-est du lac Delage, les précipitations journalières et les hauteurs de neige; à l'aéroport de Québec, à 20 km au sud du lac, les données synoptiques de température, vent, humidité, ensoleillement, précipitations... Ces données ont fait l'objet de comparaison et de simulation (Pomeroy et al). Par exemple (Fig. 1) le tassement journalier de la neige suit l'équation: épaisseur i : ép. $(i-1) \times \exp(-A \times |B - \sqrt{(d-C)}|)$, où A: 0.25, B: 0.4, C: 0.05 à 0.2 et d la densité du jour précédent.

Résultats

La glace se forme à la fin de l'automne, à une date variable qui dépend de la température moyenne de novembre et de décembre. Un cumul d'environ 50 degrés-jours de froid (somme des températures journalières inférieures au point de gel) précède la date d'englacement mais ce chiffre traduit mal le phénomène: avec les premières gelées fortes, de -3 à -8 degrés plusieurs jours consécutifs, une mince couche de glace recouvre la bordure du lac; l'eau des ruisseaux et de l'exutoire du lac dépasse encore 2 degrés et le centre du lac reste libre de glaces ainsi que l'indiquent les frémissements de la surface au moindre vent; la neige commence alors à blanchir le sol et ces chutes refroidissent les eaux qui franchissent le seuil de 2 degrés. Le deuxième épisode de froid, rarement le troisième, est le bon; il survient de 10 à 20 jours (Fig. 2) après le premier coup de semonce. Désormais les eaux de l'exutoire avoisinent 1 degré; les ruisseaux ont disparu sous la neige et l'hiver a commencé.

La prise en glace définitive n'est donc pas le résultat direct d'une baisse régulière des températures; elle s'effectue en deux ou trois étapes étalées sur près d'un mois, marquées par une alternance d'anticyclones froids et de redoux qui amènent verglas et neige, qui eux-mêmes refroidissent le lac. La saison hivernale débute avec la formation rapide d'une dizaine de cm de glace vive (noire); cette couche va grossir rapidement après la chute d'une vingtaine de cm de neige et son ennoyage; cette glace «blanche», née aux dépens de neige inondée et refroidie, double l'épaisseur totale de glace en quelques semaines.

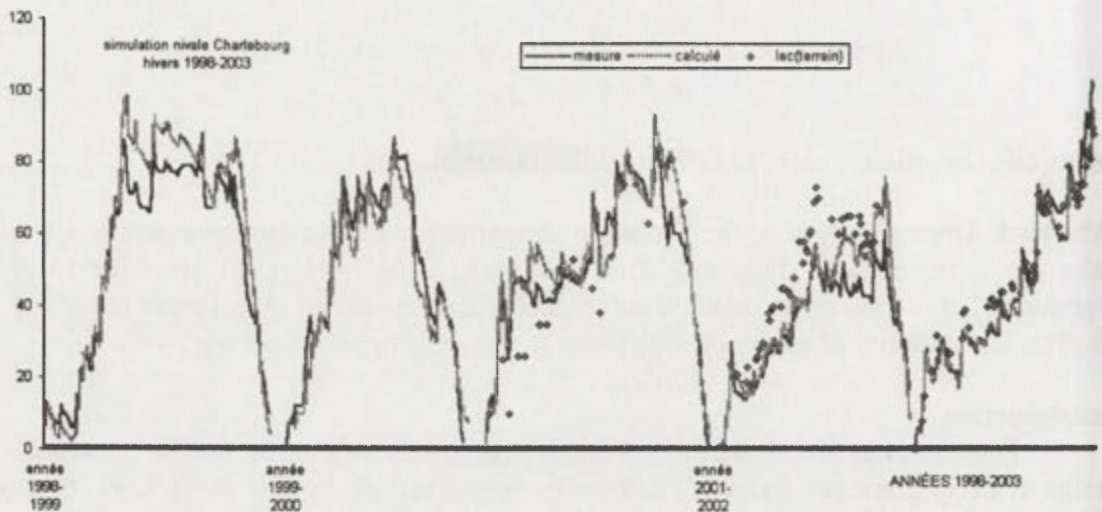


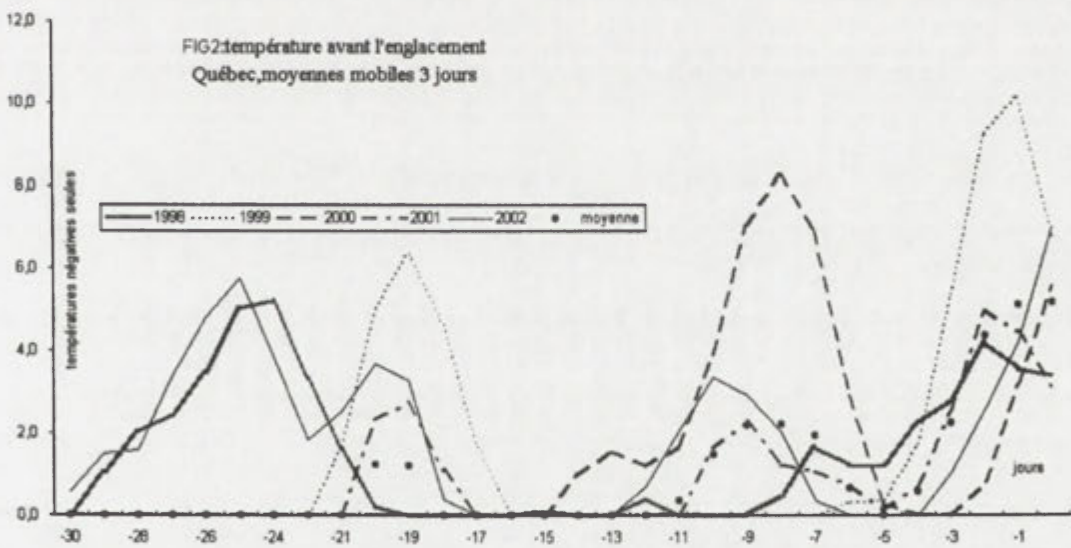
Fig. 1. Simulation de la neige à Charlebourg

Le coeur de l'hiver va voir augmenter par à-coups une glace qui atteindra entre 50 et 70 cm à la fin de mars. Il ne faut pas songer à une superposition simple et uniforme des couches ni à des hauteurs constantes; même quand le lac est calme et tout blanc, les épaisseurs nivales varient et de l'eau peut avoir envahi les bordures là où la neige s'accumule à l'abri du vent (voir aussi Adams et Roulet); le lac a ses traîtrises et une nouvelle chute de neige bien blanche mais trop lourde masque souvent la présence d'eau qui remonte par les cassures, déborde au-dessus de la glace et engendre la bouillie dont naîtra la glace future. Pendant les journées claires et froides, la glace de fond augmente, surtout au centre moins protégé par la neige, aux dépens de l'eau du lac; mais elle est aussi grugée par un flux de chaleur faible et constant venu des profondeurs plus chaudes qui finira par l'emporter au printemps, aidé par des courants probablement accélérés lors des crues mais mal connus faute de mesures. Ces périodes calmes sont souvent interrompues; le vent crée des petites dunes et durcit la neige qui se tasse rapidement après sa chute; la pluie (entre 10 et 30 pourcents des précipitations), surtout si elle est verglaçante, est à l'origine d'horizons de glace dans la neige qui compliquent les estimations de densité ou de diffusivité; il arrive exceptionnellement qu'une tranche d'eau de pluie recouvre le lac et que des vagues créent l'illusion que la glace a disparu; le plus souvent cependant, on voit simplement apparaître des lambeaux grisâtres sans neige au milieu du lac.

Le tableau 1 nous montre l'absence de lien entre les hauteurs de la glace et la rigueur des hivers correspondants; il semble illusoire, contrairement à l'opinion de Stephan et Fang (1997) de vouloir déterminer ainsi les effets d'un changement climatique sur l'épaisseur des glaces. Certes l'arrivée plus ou moins tardive de l'hiver influence la durée de l'englacement mais l'importance de ce dernier est tributaire du style de la saison, de la succession de masses d'air arctique qui augmentent la glace vive s'il y a peu de neige et du passage de fronts chauds accompagnés de lourdes bordées de neige qui finiront leur vie en glace blanche. La simulation future doit prendre en compte les changements éventuels du rythme météorologique, ce que ne peuvent pas encore fournir les modèles actuels. Ajoutons qu'il est fort difficile de modéliser ce qui est réellement observé. Il faudrait d'abord disposer de bonnes mesures des neiges journalières, de densité et de tassement variables et la glace elle-même n'est pas régulière, les trous sont nombreux dans la glace blanche, ce qui ne semble pas empêcher la transmission de frigories vers le bas, probablement par des ponts thermiques déjà gelés.

Tableau 1. Caractéristiques de cinq hivers

Élément	1998-99	1999-2000	2000-2001	2001-2002	2002-2003
Glace:					
épaisseur moyenne:	46	35	38	44	
blanche	29	20	14	32	
noire(vive)	17	15	24	12	
épaisseur maximale	75	53	57	61	
durée (en jours)	142	120	149	124	
début	10/12	19/12	1/12	17/12	27/11
fin	30/04	21/04	28/04	19/04	
degrés-jours <0°C avant englacement	46	53	44	29	59
Neige:					
épaisseur moyenne	51	50	51	34	
épaisseur maximale	85	87	84	61	103
neige tombée (cm)	292	253	283	215	≈235
pluie tombée (mm)	141	73	110	111	
durée (en jours)	140	102	132	118	
début	26/11	16/12	5/12	13/12	17/11
fin	15/04	27/03	15/04	15/04	
Température moyenne de l'hiver	-5,2	-7,4	-7,8	-6,6	



Avec l'arrivée du printemps, les mesures directes deviennent impossibles. Des fractures dessinent la surface et l'eau libre réapparaît en bordure. Puis des trous percent le centre du lac dont l'aspect est de plus en plus grisâtre; quand ils se rejoignent la fonte s'accélère: le rapport augmente rapidement entre la surface qui reçoit un bilan thermique positif et le volume qui fond. Vers la fin avril, des blocs de glace taillés en biseau partent à la dérive au gré des vents et, un beau matin, très vite, le lac «cale»; toute glace a disparu. Malgré de fréquents regels, les eaux de bordure ou de l'exutoire dont le débit augmente se réchauffent à 3 ou 4 degrés, pendant que celles des ruisseaux qui gonflent le lac avec la fonte des neiges restent fraîches, autour de 1 degré.

Conclusion

Cinq années de pratique nous ont prouvé la robustesse du modèle et la pertinence de considérer au moins deux couches de glace;il permet un bon accord réciproque entre les calculs et les observations. Cependant sa sensibilité reste grande vis-à-vis des données nivales, particulièrement le tassement journalier du manteau et sa densité;de plus il faut ajuster les conditions initiales de chaque année: ce type de modèle repose sur l'équilibre vertical moyen de la transmission thermique,en un endroit fictif et il devrait être couplé avec une simulation de la progression du gel à partir des rives du lac, du balayage différentiel de la neige par le vent etc. Il sera probablement difficile de créer un modèle prévisionnel à deux couches des changements d'englacement à cause de l'importance de la succession des conditions météorologiques et de la nécessité de disposer des données régionales et locales de neige.

Bibliographie

- ADAMS, W.P, ROULET, N.T., 1980: Illustration of the role of snow in the evolution of the winter cover of a lake. *Artic*, 33, 1:100-116.
- HUFTY, A., 1999: L'englacement hivernal du lac Delage (Québec), *Publications de l'A.I.C.*,12: 352-358.
- POMEROY, J.W, GRAY, D.M. et al.,1998: An evaluation of snow accumulation and ablation processes for land surface modeling. *Hydrological Processes*, 12: 2339-2367.
- STEPHAN, N. H., FANG, X., 1997: Simulated climate change effects on ice and snow covers on lakes in a temperate region. *Cold Regions Science and Technology*, 25: 137-152.

INTERPOLATION SPATIALE DES CHAMPS THERMIQUES A MAILLE FINE (APPLICATION AU DEPARTEMENT DU VAUCLUSE)

D. JOLY*, P. ROSSELLO**, L. GARCIA DE CORTAZAR ATAURI **

B. SEGUIN **, X.F. GU **, C. RIOU ***, C. SIPP ***

* CNRS, Université de Franche-Comté, Besançon

** Unité AgroClim, INRA, Avignon

*** Institut Rhodanien, Orange

Mots clés: agroclimatologie, interpolation, télédétection, vigne, Vaucluse.

Abstract: This study compares thermic fields obtained by two different ways. First, remote sensing provides surface temperatures. Second, punctual climatological data recorded at 2 meters above the ground are interpolated. Links between these both fields are shown through correlations and analysis of residues spatial distribution. The study is applied to a vine yard country (Vaucluse area, South of France).

Introduction

L'application de la climatologie aux domaines relevant de l'agriculture est depuis longtemps une des importantes préoccupations des climatologues. La connaissance de la répartition spatiale des champs thermiques ou pluviométriques est essentielle pour évaluer le bilan d'énergie et les flux de surface, caractériser les microclimats et les terroirs, adapter les systèmes de culture (choix des productions et des variétés, ajustement des techniques culturales telles que la date de semis, l'irrigation et la fertilisation, la lutte contre le gel et les maladies, etc.) et plus généralement évaluer les risques naturels en terme d'aménagement... De nombreuses disciplines sont concernées par cette problématique. Deux voies sont généralement suivies pour acquérir les données nécessaires à de telles études. Il s'agit d'une part de l'imagerie satellitaire qui restitue des températures de surface et d'autre part de l'interpolation des données enregistrées ponctuellement par des capteurs situés à deux mètres au-dessus de la surface du sol. On pressent que les champs thermiques issus de l'une et l'autre source sont fortement corrélés. La présente communication se propose d'exposer les résultats d'une étude portant sur l'utilisation conjointe d'un modèle d'interpolation des champs thermiques (MITEF) et de données satellitaires à haute résolution spatiale pour évaluer les relations entre température de l'air et température de surface radiométrique respectivement fournies par ces deux sources d'information.

Dans le cadre d'une étude récente concernant la variation spatiale des champs thermiques sur les domaines viticoles des Côtes-du-Rhône méridionales, une cartographie des températures de l'air (T_a) et des températures de surface (T_s) à l'échelle du département du Vaucluse a été réalisée par l'unité AgroClim de l'INRA d'Avignon, en partenariat avec le CNRS de l'université de Franche-Comté, à la demande de l'Institut Rhodanien. L'objectif principal est de déterminer un zonage climatique dans la perspective de caractériser les terroirs viticoles d'appellation d'origine contrôlée. La climatologie joue un rôle fondamental sur la vigne. Par exemple, la température de l'air intervient directement sur les différentes phases de développement de la plante. Les interactions sol-plante-atmosphère sont ainsi mises en évidence pour mieux comprendre les processus de croissance de la plante et de maturité du raisin. Une présentation des résultats cartographiques de l'étude et de l'analyse de corrélation entre la température de l'air et de surface est proposée dans cette communication.

1. L'interpolation spatiale des températures de l'air à échelle fine (MITEF)

La méthode d'interpolation spatiale (MITEF) développée par D. Joly, CNRS de l'université de Franche-Comté et R. Fury, Centre Départemental de Météorologie du Doubs, est utilisée pour reconstituer les champs thermiques journaliers à une résolution de 50 mètres

(Fury et Joly, 1995). La méthode consiste à construire des modèles d'interpolation qui décomposent la variance globale des températures en une variance régionale et une variance d'échelle locale, puis, suivant un raisonnement déductif, à appliquer à l'ensemble du territoire étudié les règles et modèles statistiques mis en évidence (Joly, Fury, 1996). Les données sont mesurées sur le terrain en 37 postes ou stations automatiques appartenant au réseau climatique géré par le Centre d'Information AgroMétéorologique Régional (CIRAME). L'échantillon des postes est représentatif de l'espace du Vaucluse. Les résultats prennent en compte les facteurs environnementaux régionaux et locaux qui jouent un rôle déterminant sur la répartition spatiale de la température de l'air. Pour se rapprocher des heures de passage des satellites, les modèles ont été produits à partir de données climatiques horaires (10h00 et 11h00).

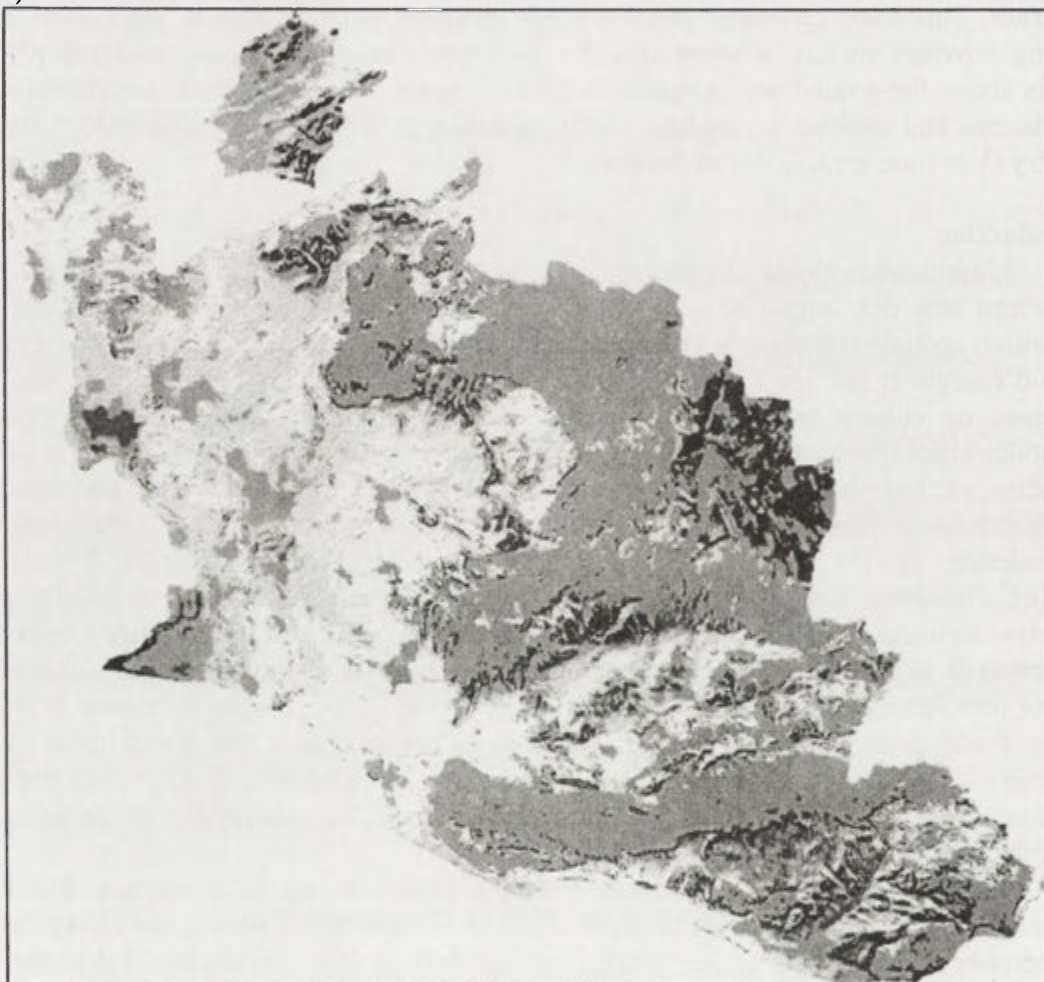


Fig. 1. Température de l'air le 18/07/00 à 10h00 estimée par le modèle MITEF

Le modèle MITEF génère une estimation des températures de l'air, T_a (Figure 1). La valeur des résidus en référence aux observations relevées démontre que l'interpolation spatiale est de bonne qualité.

2. L'estimation de la température de surface à partir de données satellitaires à haute résolution

La télédétection (Fig. 2) intervient en complément du modèle MITEF. La température de surface est estimée à partir de traitements d'images satellites à haute résolution spatiale prises par Landsat 7 et Terra. La résolution varie en fonction des capteurs (60 m pour Landsat 7- ETM et 90 m pour ASTER). Les capteurs mesurent une luminance spectrale qui est liée à la température de surface par la loi de Planck (Courault et al, 1994). Le paramètre T_s est introduit dans de nombreuses études pour évaluer le bilan énergétique ou l'évapotranspiration.

Par exemple, les différences entre T_s et T_a cumulées dans le temps sont significatives des stress hydriques subis par les cultures et permettent de distinguer les variations climatiques régionales (Courault et al, 1994).

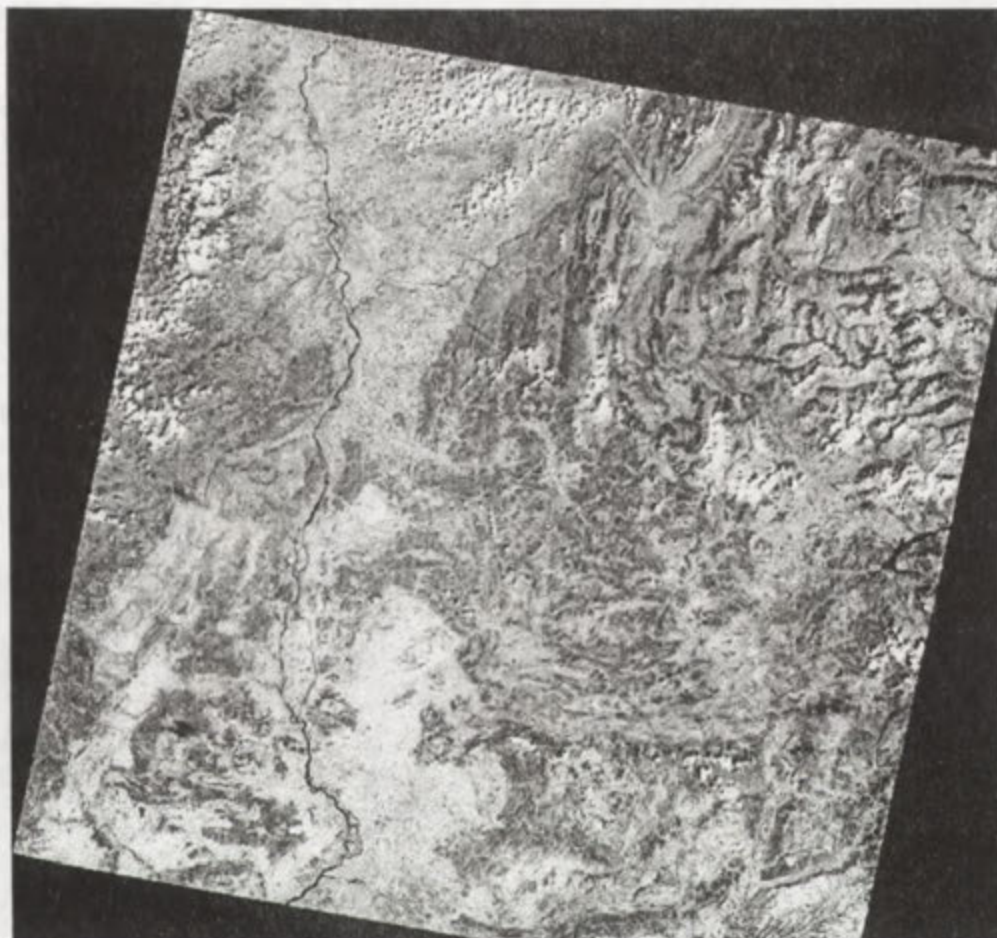


Fig. 2. Photographie prise le 18/07/00 à 9h30 (capteur ETM); l'heure de prise de vue est 9h30

3. Utilisation conjointe du modèle MITEF et de données satellitaires à haute résolution pour évaluer la relation entre T_a et T_s

La température de surface estimée à l'échelle du département est à mettre en relation avec les résultats de l'interpolation spatiale de la température de l'air. L'objectif est de déterminer l'influence de la température de surface sur la distribution spatiale de la température de l'air en fonction de la végétation, de l'état hydrique, du calendrier phénologique. L'intensité de la liaison entre les deux paramètres climatiques est mise en évidence et les résidus font l'objet d'une attention particulière. Des variables explicatives comme l'indice de végétation, le type de sol sont ainsi mises en jeu pour mieux comprendre les interactions sol-plante-atmosphère, affiner les résultats et évaluer la précision des données.

Conclusion

La cartographie des champs thermiques à maille fine requiert des données fiables et un modèle d'interpolation qui prenne en compte à la fois des tendances régionales et locales. Une résolution comprise entre 50 et 100 mètres est particulièrement adaptée au parcellaire méditerranéen, à la topographie locale et à la problématique de caractérisation des terroirs viticoles. La qualité des résultats cartographiques donne des espoirs quant à la réalisation d'un zonage climatique précis basé sur la composante thermique. La corrélation entre la température de surface et la température de l'air permet d'identifier les zones où la nature du sol a une faible ou forte influence sur la température de l'air. Cette étude est une approche préalable en vue d'une éventuelle modélisation du couple T_a et T_s .

Bibliographie

- CHAMPEAUX, J.-L., et TAMBURINI, A., 1996: Zonage climatique de la France à partir des séries de précipitations (1971-1990) du réseau climatologique d'Etat, *La Météorologie*, 8^{ème} série, n°14, 44-55.
- COURAULT, D., CAUCHI, P., CLASTRE, P., et BLÖSER, B., 1996: Analyse des variations spatiales de la température de l'air en fonction de l'occupation de surface, *Photo-Interprétation* n°3-4, éditions Eska, 19-30.
- COURAULT, D., CLASTRE, P., GUINOT, J.-P., et SEGUIN, B., 1994: Analyse des sécheresses de 1988 à 1990 en France à partir de l'analyse combinée de données satellitaires NOAA-AVHRR et d'un modèle agrométéorologique, *Agronomie*, 14, 41-56.
- COURAULT, D., MONESTIEZ, P., 199: Spatial interpolation of air temperature according to atmospheric circulation patterns in southeast France, *International Journal of Climatology*, n°19, 365-378.
- COURAULT, D., MONESTIEZ, P., ARMAND, C., MABIT, D. et DELECOLLE, R., 1998: Interpolation spatiale de la température de l'air par type de temps, *La Météorologie*, 8^{ème} série, n°23, 53-68.
- FURY, R., et JOLY, D., 1995: Interpolation spatiale à maille fine des températures journalières, *La Météorologie*, 8^{ème} série, n°11, 36-43.
- HUARD, F., 1993: *Approches théoriques de la spatialisation de variables climatiques à partir de la discrétisation du relief français*, thèse de doctorat, U.F.R. des Sciences de la Terre et de l'Aménagement Régional, Université de Caen.
- JOLY, D., FURY, R., 1996: Modélisations à grande échelle de la variation spatiale des températures, *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, vol. 9.
- MONESTIEZ, P., COURAULT, D., ALLARD, D., RUGET, F., 200: Spatial interpolation of air temperature using environmental context: application to a crop model, *Environmental and Ecological Statistics*, 8, 297-309.
- ROUX, C., 1997: *Estimation des effets de l'environnement sur les variations spatiales et temporelles de la température de l'air journalière*, Mémoire de DEA Structures et Dynamiques Spatiales, Université de Provence, Institut de Géographie, Aix-en-Provence.

EFFET DE SERRE ET CHANGEMENT CLIMATIQUE DE LA SCIENCE A LA NEGOCIATION INTERNATIONALE

Régis JUVANON du VACHAT
Mission Interministérielle de l'Effet de Serre
35 rue St Dominique 75700 Paris Cedex 07
Météo-France, 1, Quai Branly 75340 Paris Cedex 07
Regis.Juvanon-du-Vachat@meteo.fr

Mots clés: GIEC, convention climat, changement climatique, Protocole de Kyoto

Abstract: We present the main features of the international agreements on the climate change: the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) created in 1988 and the United Nations Framework Convention on Climate Change (Rio, 1992). Recent developments of these institutions are highlighted from Kyoto Protocol (1997) up to now.

Introduction

Depuis la création du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat GIEC (IPCC en anglais) en 1988 sous l'égide de l'OMM et du PNUE l'agenda international a été très riche avec la signature de la convention climat à Rio en 1992, puis la parution du rapport du GIEC en 1995 mettant l'accent sur la probable responsabilité humaine dans l'augmentation de l'effet de serre, dû au rejet de gaz carbonique du fait de l'utilisation des combustibles fossiles. Cette prise de conscience n'a cessé de se conforter rendant plus urgente la réponse politique avec la conférence de Kyoto en 1997, qui a pris des objectifs quantifiés de réduction des gaz à effet de serre (GES). Le dernier rapport d'évaluation du GIEC en 2001 a confirmé de manière plus nette cette responsabilité humaine, tandis que le processus de ratification du Protocole de Kyoto entrainé dans une phase décisive l'année 2002 de la conférence internationale sur le Développement Durable (DD) à Johannesburg, dix ans après Rio.

Voici les éléments qui vont être présentés dans cet article qui réfléchira à cette association originale de la Science et de la Politique telle qu'on la trouve dans la nébuleuse associée au Changement Climatique (CC). Après une présentation rapide de l'effet de serre, les différents éléments du puzzle tels que le GIEC et la Convention Climat sont introduits depuis leur création, puis le mouvement alternatif de la science vers la politique est dessiné, lors des événements plus récents depuis l'adoption du Protocole de Kyoto (1997) jusqu'à aujourd'hui. En conclusion, on dresse les perspectives de cette lutte contre les effets négatifs du CC.

Effet de serre et CC

L'effet de serre devenant de plus en plus un sujet de vulgarisation, nous renvoyons à de Félice (2001) et Kandel (2002) qui font le point sur ce phénomène physique naturel, qui est un piégeage du rayonnement infra-rouge émis par la surface terrestre par la vapeur d'eau, le gaz carbonique et les gaz à effet de serre. Il est connu depuis Fourier (1824), qui le premier a utilisé l'image de la vitre d'une serre. Insistons sur le fait qu'il est directement responsable de la vie sur terre et que c'est l'augmentation des rejets de gaz carbonique due à l'utilisation de combustibles fossiles qui est en question dans le réchauffement climatique observé. D'autres GES sont en jeu: le méthane, produit des activités agricoles, l'oxyde nitreux dans les applications industrielles, enfin les composés fluorés (HFC, PFC, SF6), qui constituent le panier de Kyoto au pouvoir de réchauffement global croissant dans cet ordre (MIES, 2003).

Le GIEC: la Science du CC

Le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC, en anglais IPCC), a été mis en place en 1988 sous l'égide conjointe de l'OMM et du PNUE avec trois groupes thématiques. Il a essentiellement pour but de faire la synthèse des connaissances scientifiques à un moment donné et pour cela produit régulièrement des rapports d'évaluation: le second en 1995, le 3^{ème} en 2001, le 4^{ème} est en préparation pour sortir en 2007. Ces rapports d'évaluation pour chaque thème comprennent en plus d'un résumé technique, un résumé pour décideurs, qui est « revu » par des scientifiques puis par des représentants des gouvernements jusqu'à obtenir un consensus à la fois scientifique et politique. Ainsi pour le 3^{ème} rapport d'évaluation les trois groupes abordent les thèmes suivants. Le groupe I) a pour titre «La Science du changement climatique», pour évaluer les données scientifiques sur l'évolution du climat. Le groupe II) «Impacts, adaptation et vulnérabilité», pour évaluer les impacts (écologie, santé,...) et les implications socio-économiques de cette évolution. Enfin le groupe III) «Mitigation» étudie comment atténuer les effets du CC, en formulant des stratégies de parade. Un rapport de synthèse a également été rédigé en 2001 sous forme de réponses à neuf questions transversales, qui couvrent les trois thèmes, et qui représente une synthèse abordable des trois volumes spécialisés (700 à 1000 pages chacun).

Bien sûr, ces trois thèmes spécialisés ne sont pas indépendants et il y a une hiérarchie entre eux. Le groupe I qui concerne la science du CC commande tous les autres et se rattache à la science « pure et dure », ce qui lui confère une légitimité scientifique, qui assure la crédibilité du GIEC. Le second travaille sur les impacts et la vulnérabilité dépend des résultats énoncés par le groupe I. Quant au troisième groupe qui englobe tous les aspects économiques de la vulnérabilité (estimation du coût des dommages, mais aussi évaluation économique des stratégies de réduction des émissions) il dépend non seulement des résultats scientifiques des groupes I et II mais aussi des scénarios socio-économiques choisis, qui peuvent être plutôt environnementaux ou de développement économique, d'aspect régional ou global.

Un volume de synthèse regroupe à la fois le rapport de synthèse avec ses 9 questions et pour chaque thème les résumés techniques et les résumés pour décideurs. Ce volume est disponible dans les 6 langues de l'ONU, donc en français. A noter qu'en 1995 lors du second exercice, le rapport du 3^{ème} groupe a été traduit en français sous le titre: «Le Changement Climatique - Dimensions économique et sociales» (Hourcade et Mousel, 1996). Il reste toujours utile, dans la mesure où les thématiques traitées peuvent changer d'un rapport d'évaluation à l'autre! Il contient aussi un lexique français-anglais des termes techniques utilisés, qui rendra service pour se familiariser avec les concepts mis en jeu dans le rapport.

Il faut aussi souligner qu'un soin particulier est apporté pour la formulation des questions et la rédaction en général, pour permettre une communication sans ambiguïté de la part des décideurs. Et tous les documents sont disponibles sur le site du GIEC: www.ipcc.ch.

Outre ces rapports classiques, le GIEC peut demander des rapports sur des sujets spécifiques, qui servent ensuite de référence. C'est le cas pour les inventaires d'émission de GES (Lignes directrices en 1996 et Bonnes pratiques en 2000), pour les Scénarios économiques d'émissions (2000), pour les émissions dues à l'aviation (L'aviation et l'atmosphère planétaire, 1999), enfin pour l'utilisation des terres, les changements d'affectation des terres et la foresterie (2000).

Environ 1000 spécialistes du monde entier participent directement à la rédaction des rapports du GIEC, tandis que 2500 prennent part au processus d'examen. Il s'agit d'un réseau d'envergure mondiale, où la plupart des régions géographiques sont représentées, en même temps que l'ensemble des points de vue et des compétences scientifiques et techniques.

Pour conclure voici quelques faits de l'actualité récente. La réunion plénière de Genève en avril 2002 a mis fin au mandat de l'américain R. Watson (Banque Mondiale) comme président du GIEC et l'a remplacé par l'indien R. Pachauri, président de l'Institut Tata de recherche sur l'énergie; un nouveau bureau a été constitué à cette occasion, où la France est

représentée par Jean Jouzel (directeur de l'Institut Pierre Simon Laplace) au groupe I, où les anglais dirigent l'unité d'appui technique du groupe II, et les Pays-Bas celle du groupe III. Une réunion à Paris (17-19 février 2003) du bureau du GIEC a défini les grandes lignes du 4^{ème} rapport d'évaluation qui paraîtra en 2007.

Historique de la négociation internationale

Vers la Convention Climat (Rio, 1992)

Une première conférence mondiale sur le climat à Genève en 1979 lance le PNUE, puis le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) est créé en 1988 sous l'égide du PNUE et de l'OMM. Suit une seconde conférence mondiale sur le climat (La Haye, 1989) où se réunissent 137 Etats plus la Communauté européenne, dont les 12 membres s'engagent à stabiliser leurs émissions de CO₂ au niveau de 1990 en l'an 2000. La déclaration finale préconise l'instauration d'une convention internationale sur les CC, qui verra le jour grâce à un Comité intergouvernemental de négociations, présidé par le français Jean Ripert, récemment décédé. Ce comité prépare l'élaboration d'une Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC, en anglais UNFCC). Signée à Rio en juin 1992 dans le cadre du Sommet de la Terre, elle constitue la pièce maîtresse de la lutte mondiale contre le CC. Entrée en vigueur en mars 1994, son article 2 précise son objectif ultime: stabiliser les concentrations de GES dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique. Les pays développés, les pays en transition vers une économie de marché et l'Union européenne, figurant à l'Annexe I de la Convention, s'engagent à stabiliser leurs émissions de GES d'ici à l'an 2000 au niveau de leurs émissions en 1990. Enfin les pays développés et l'Union Européenne s'engagent à aider les pays en développement à respecter leurs engagements, notamment en fournissant des ressources financières et en facilitant les transferts de technologie. On trouvera les détails sur le site de la Convention Climat (www.unfccc.int), dont le secrétariat est à Bonn.

Le Protocole de Kyoto (1997)

Par la suite l'activité internationale a repris de la vigueur lors du Mandat de Berlin (1995), qui conduira au Protocole de Kyoto à la Convention. Ce Protocole assigne aux pays de l'Annexe I des objectifs quantitatifs de réduction: l'Union Européenne s'est engagée à une réduction de 8% de ses émissions pour 2010 (la France devra revenir au niveau de 1990 en 2010). L'engagement de réduction des pays de l'Annexe I à Kyoto est de 5,2%. L'Annexe I comprend 24 pays de l'OCDE, l'Union Européenne, et 14 pays à l'économie en transition (Europe centrale). A côté des engagements quantifiés obligatoires des pays de l'Annexe I, trois **mécanismes de flexibilité** sont associés au Protocole de Kyoto pour faciliter la mise en oeuvre: Permis d'émissions négociables, Mise en œuvre conjointe, Mécanisme de développement propre. Ce dernier s'effectue entre pays de l'Annexe I et pays hors Annexe I, à partir de 2000, tandis que les deux autres (correspondant à des projets) s'effectuent entre pays de l'Annexe I et démarreront en 2008. Le fameux permis d'émissions, qui donne lieu à un commerce de droits d'émissions, existe aux USA pour les émissions de SO₂, mais ne doit pas faire du climat un véritable marché. Pour l'usage de ces trois mécanismes un plafond a été instauré à 50% par l'Union Européenne (mesures domestiques de réduction d'abord).

On assiste par la suite à une mobilisation internationale importante avec les conférences: Buenos Aires (1998), Bonn (1999), Lyon (2000), La Haye (2000) qui préparent celle de Bonn (2001) qui a décidé la ratification du Protocole de Kyoto (avec quelques aménagements) sans les américains (voir le détail des accords sur le site de la MIES). En conclusion le Protocole de Kyoto représente une avancée politique dans la bonne direction, même si les engagements quantitatifs de réduction sont insuffisants pour maîtriser les effets négatifs du CC (voir Guesnerie, 2003, pour une analyse économique détaillée du Protocole de Kyoto).

Conclusion: vers le long terme

De là la nécessité de se pencher sur le long terme, à l'horizon de 20 à 50 ans, pour examiner quel niveau de réduction sera nécessaire si l'on veut éviter des changements brutaux du climat, comme la fonte de la banquise ou la disparition du Gulf stream. C'est à cet objectif que l'UE s'est attelée: il correspond à une stabilisation des concentrations à 450 ppm, pour obtenir un retour à un niveau d'émissions raisonnable (actuel) pour 2050. En raisonnant sur l'émission globale de CO₂, on obtient une division en moyenne par deux au niveau mondial, et à partir de là une division par 4 des émissions actuelles pour la France. C'est un objectif ambitieux, auquel la France a souscrit dans une déclaration du Premier Ministre. On trouvera un état des lieux récent de cette lutte contre le CC au niveau français dans (MIES, 2003).

Enfin, un processus d'envergure a été lancé depuis la conférence de Rio (1992), qui même s'il a pris les formes lentes et difficiles de la négociation internationale (ONU) constitue maintenant un enjeu politique obligatoire, en face duquel l'autorité politique doit rendre des comptes sous peine d'être exclus de cette citoyenneté planétaire que constitue l'environnement aujourd'hui.

Bibliographie

- FELICE de, P., 2001: L'effet de serre. Un changement climatique annoncé. *L'Harmattan*.
- GUESNERIE, R., 2003: Kyoto et l'économie de l'effet de serre. Rapport du Conseil d'Analyse Economique. *La Documentation française*.
- HOURCADE, J-C., et MOUSEL, M., 1996: Le Changement Climatique - Dimensions économique et sociales. *La Documentation française*.
- KANDEL, R., 2002: Le réchauffement climatique. *Que sais-je N° 3650. Presses Universitaires de France*.
- MIES, 2003: Mémento des décideurs. 2^{ème} Edition. *MIES, 35 rue St Dominique 75700 Paris*

Sigles et acronymes

CC: Changement Climatique

CCNUCC: Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques

DD: Développement Durable

GES: Gaz à Effet de Serre

GIEC: Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat

IPCC: Intergouvernemental Panel on Climate Change (site www.ipcc.ch)

MIES: Mission Interministérielle de l'Effet de Serre (site www.effet-de-serre.gouv.fr)

OCDE: Organisation de Coopération et de Développement Economique

OMM: Organisation Météorologique Mondiale

ONU: Organisation des Nations Unies

PNUE: Programme des Nations Unies pour l'Environnement

UNFCC: United Nations Framework convention on Climate Change (site www.unfccc.int)

SUIVI PAR TELEDETECTION DU DEFICIT HYDRIQUE DANS LES PERIMETRES AGRICOLES DE L'ORANIE (Algérie)

Halima KADI *, Vincent DUBREUIL **

* Université des Sciences et de la Technologie Mohamed Boudiaf d'Oran, Algérie

** COSTEL, UMR 6554 CNRS (LETG), Université Rennes 2, France

Mots clés: bilan hydrique, agriculture, télédétection, Algérie

Abstract: We used NOAA images to monitor the development of irrigated and non-irrigated crops in the area of Tlélat near Oran from 1997 to 2001. The results showed that NDVI values are very dependant to the climatic water stress (P-ETP). These satellite data are also a good indicator for cereal yields.

1. Introduction: présentation des périmètres agricoles de l'Oranie

La région de l'Oranie est située dans le nord-ouest Algérien au climat méditerranéen marqué par un fort déficit hydrique estival. Ce déficit est persistant car il a été observé à partir de 1970 (Meddi, Humbert, 2000): pour l'année 1982/83 le déficit pluviométrique a atteint 208,9 mm. Cette région s'étend sur une superficie de 15000 km² environ, avec une chaîne montagneuse (l'Atlas Tellien) et des vastes étendues de plaines et périmètres agricoles dont les plus importants sont montrés sur la figure 1. L'étude en cours porte sur six périmètres (Sarno, Tlélat, Sig, Habra, Mostagenem, Mascara) dont les sols sont généralement constitués par des dépôts d'alluvions où alternent sables et limons, avec un problème de salinité plus accrue dans le périmètre de Habra à cause des formations géologiques salines. Dans cet article, seuls les résultats concernant le périmètre de Tlélat sont présentés.

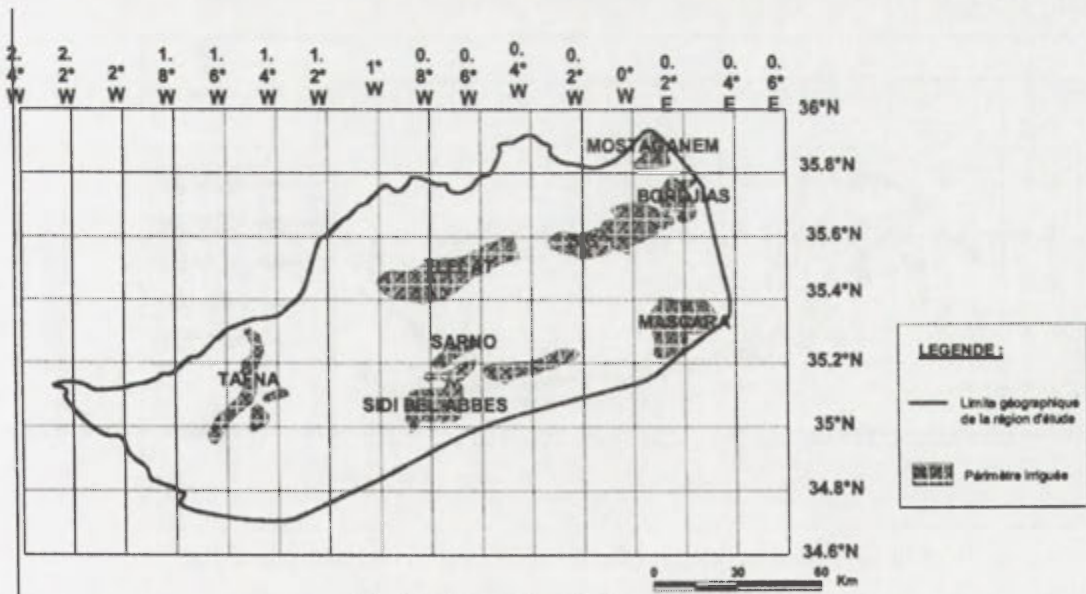


Fig.1. Présentation de la région d'étude

Le périmètre de Tlélat est situé à 30 km environ au sud d'Oran; il est caractérisé par un sol à texture fine ou très fine (plus de 40% d'argile) et s'accompagne très souvent d'une structure massive ou en gros prismes séparés par des fentes de retrait quant le sol est sec (Bensaid et al, 1974). Il s'agit d'une région agricole où dominent la culture de céréales (généralement non irriguées), les cultures maraîchères et l'arboriculture, ces dernières productions étant le plus souvent irriguées. L'évolution des productions annuelles dans la Wilaya d'Oran montre que cette agriculture est particulièrement sensible aux conditions climatiques: ainsi la production de céréales est passée de 332000 quintaux en 1999 (année bien arrosée) à 34233 quintaux en 2000 (année sèche). Pour mettre en évidence le déficit

observé dans les grands périmètres cultivés de l'Oranie, nous avons choisi de travailler sur celui de Tlalat (25000 hectares), dont les données sont facilement disponibles.

2- Données et méthodes

Pour le périmètre de Tlalat nous disposons des données météorologiques des stations d'Oran (ONM et ANRH) pour la période 1997-2001. Le déficit hydrique a été déterminé en calculant tout d'abord l'évapotranspiration par la méthode de Thornthwaite, préconisée pour les études régionales (Brochet, Gerbier, 1968). En comparant les valeurs de l'ETP et la valeur des précipitations pour le même mois, on met en évidence l'intensité du déficit dommageable pour les cultures.

Le suivi des conditions climatiques à échelle fine est limité par le faible nombre de stations et, de ce fait, le recours à l'imagerie satellitaire est nécessaire. Pour la détermination du déficit hydrique par télédétection au niveau de ces périmètres, nous avons utilisé les données NOAA-AVHRR à un kilomètre de résolution. Le paramètre retenu est l'indice de végétation NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) dérivé des canaux 1 et 2 de NOAA. Les données décennales pour la période de 1997 à 2001 ont été fournies par le SATMOS (CMS, Lannion). Les données ont été traitées par la méthode du «maximum value»: pour chaque pixel n'est conservée que la valeur maximale du NDVI au cours de la période considérée (décade ou mois). Ceci permet d'éliminer les «pixels nuageux» et de limiter l'effet atmosphérique résiduel (absorption, diffusion). Pour chaque mois, nous avons fait le calcul de la moyenne du NDVI sur chaque périmètre afin d'obtenir une meilleure représentativité spatiale de la valeur de l'indice (Fig. 2). Ces données sont comparées aux données météorologiques (précipitations, températures, évapotranspiration, déficit) de terrain pour chacun des périmètres selon une méthode déjà utilisée dans la France de l'Ouest (Dubreuil, 1994).

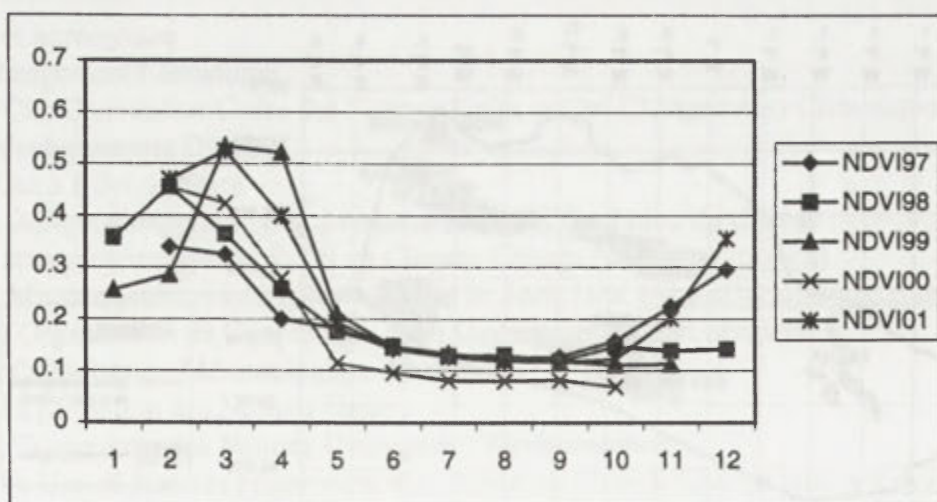


Fig. 2. Variations mensuelles du NDVI sur le périmètre de Tlalat

3- Résultats et Commentaires

L'indice de végétation est maximum en hiver (0,4/0,5) et montre chaque année une baisse à partir du mois de mars ou avril qui correspond à l'augmentation du déficit (P-ETP): à partir du mois de mai l'indice est inférieur à 0,2 et il le reste jusqu'au mois de novembre. Les résultats montrent que les deux années 1997 et 2000 sont les plus touchées par le déficit hydrique mais d'une façon différente: en 1997 (Fig. 3) l'ampleur du déficit hydrique se fait ressentir dès le début de l'année à cause d'un hiver peu pluvieux (41 mm de septembre à décembre 1996). Par contre en 2000 (Fig. 4), le déficit est survenu en fin de printemps, l'absence de précipitation s'étant poursuivie tout au long de l'année (50 mm de janvier à août !). Le déficit (P-ETP) cumulé sur l'année a donc atteint 656 mm en 2000 contre 490 mm en 1999.

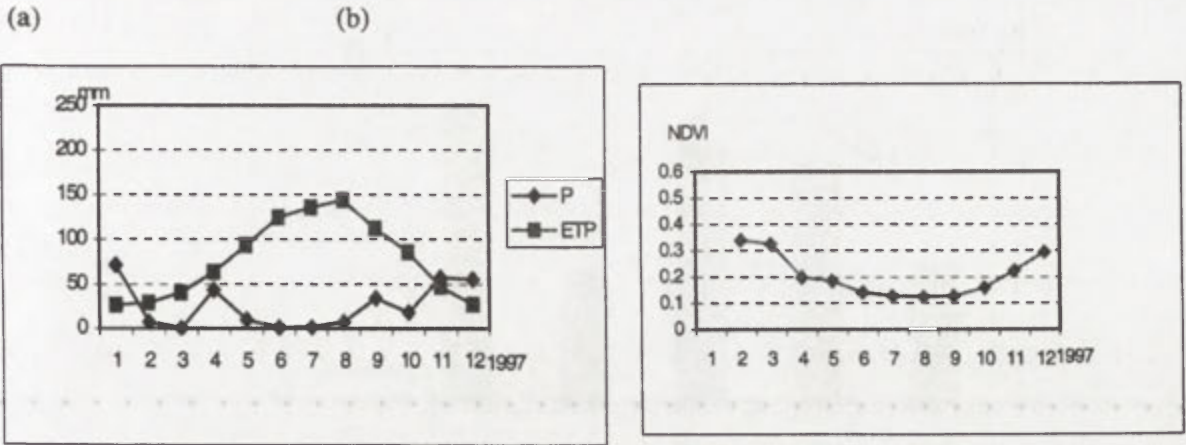


Fig. 3. Suivi des conditions climatiques et du NDVI sur le périmètre de Tlélat en 1997

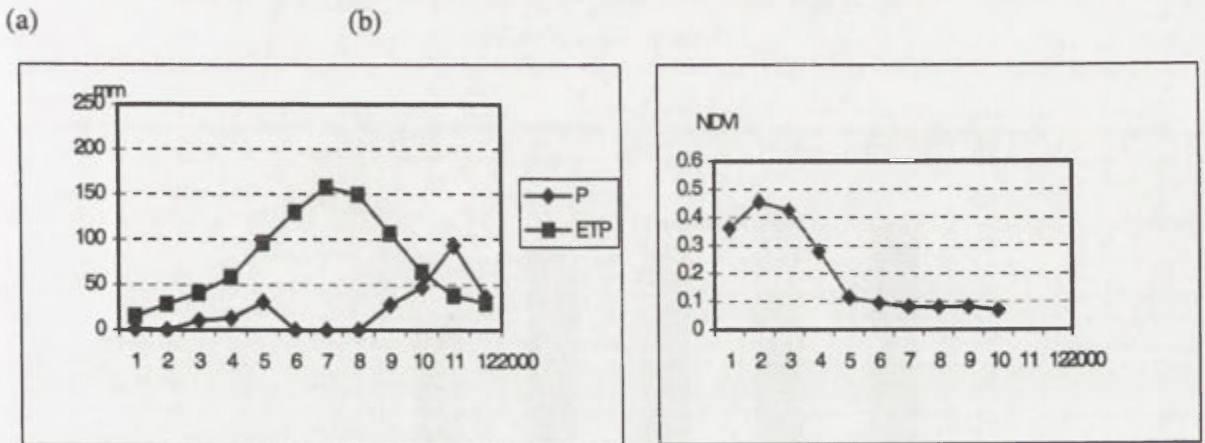


Fig. 4. Suivi des conditions climatiques et du NDVI sur le périmètre de Tlélat en 2000

La comparaison des données climatiques et satellitaires avec les rendements agricoles montre que le NDVI peut également être un indicateur intéressant pour l'estimation des rendements de céréales. La figure 5 montre bien que les valeurs de NDVI ont la même tendance que les rendements agricoles de la production céréalière (qui couvre des grandes surfaces ce qui correspond à la résolution spatiale du satellite NOAA/AVHRR). L'indice le plus élevé (0,25 en 2001) correspond bien aux rendements les plus forts (7,8 quintaux/ha) alors que les années sèches de 1997 et 2000 présentent des rendements faibles (3,75 et 3,57 quintaux par hectare) et des NDVI moyens peu élevés (0,19 et 0,20). Par contre, pour les cultures maraîchères, souvent irriguées, le NDVI n'est pas un bon indicateur du rendement agricole: la figure n°6 montre que l'on a un rendement quasiment constant de 1997 à 2000. Pour l'année 2001, le rendement est relativement faible alors que le NDVI est élevé, ce qui peut être expliqué par une augmentation soudaine des surfaces d'exploitation: 800 hectares supplémentaires ont été mis en culture entre 2000 et 2001 mais sans une préparation préalable du terrain (irrigation).

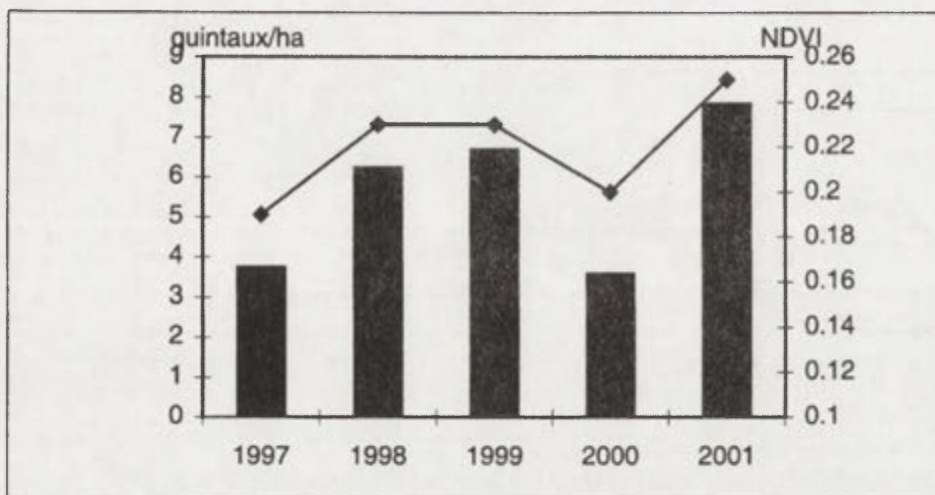


Fig. 5. Comparaison des rendements céréaliers avec les valeurs de NDVI (source: DSA d'Oran)

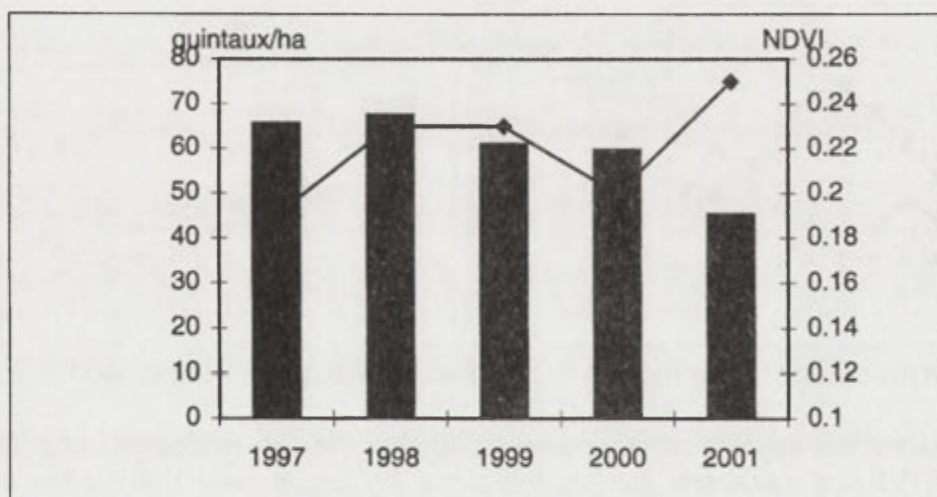


Fig. 6. Comparaison des rendements des cultures maraîchères avec les valeurs de NDVI (source: DSA d'Oran)

Conclusion

L'indice NDVI calculé à partir des données NOAA-AVHRR est un bon indicateur de l'état des couverts végétaux dans la région agricole de l'Oranie. Les fluctuations mensuelles de l'indice dépendent de la variabilité pluviométrique et du déficit hydrique qui conditionnent également le rendement des cultures céréalières.

Bibliographie

- BENSAID, A., MALEVANCHOUK, A. et TREA BENYAMINA, K., 1974: *Etude Agropédologique au 1/50 000 e de la plaine de M'leta-Tlélat.*, Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH), Algérie.
- BROCHET, P., GERBIER, N., 1968: L'Evapotranspiration, *Monographie de la Météorologie Nationale*, 65, Paris.
- DUBREUIL, V., 1994: *La Sécheresse dans La France de L'Ouest: Etude d'après les bilans Hydriques et les données des satellites NOAA-AVHRR*, Thèse de Doctorat, Université Rennes 2.
- MEDDI, M., HUMBERT, J., 2000: Variabilité Pluviométrique dans l'Ouest Algérien Durant Les Cinq Dernières Décennies, *Publ. de l'AIC*, Vol. 13, 266-274.

PATHOLOGIES RESPIRATOIRES ET POLLUTION ATMOSPHERIQUE DANS L'AGGLOMERATION CAENNAISE

S. KERMADI*, D. WILLIAMS*, V. HAMON POUPINEL**

* UMR-CNRS 6590, Université du Mans

** CHRU de la ville de Caen

Mots clés: pollution atmosphérique, pathologies respiratoires, répartition spatiale et répartition temporelle

Abstract: The paper concerns of spatial and temporal distribution of respiratory diseases in urbanised areas. Medical data from the period 1993-2000 are used for the agglomeration of Caen. Seasonal variation of aerosanitary conditions is studied.

INTRODUCTION

Des études récentes ont démontré que la population, essentiellement, urbaine inhalait plus de 10 milliards de particules étrangères de nature diverses, et est soumise constamment à une pollution diffuse. Parallèlement, des hospitalisations pour des problèmes respiratoires (Bronchites chroniques, Asthmes...) se sont accrues ces dernières décennies. Pour ces raisons, de nombreux spécialistes (épidémiologistes, médecins, géographes,...) cherchent à examiner les liens entre la pollution atmosphérique et les pathologies respiratoires. Si les résultats des effets des pics de pollution sur la santé, nombreux, montrent un lien direct sur la santé, ceux à long terme, moins nombreux, restent encore flous compte tenu l'intervention de plusieurs facteurs exogènes (épidémies de gripes, facteurs météorologiques, ..). Toutefois, plusieurs études nationales et internationales telle que celle réalisée par l'institut de vielle sanitaire sur neuf agglomérations françaises a permis d'attribuer à la pollution atmosphérique un nombre important de maladies respiratoires (Erpurs, 1995). Dans cet objectif, notre étude dans l'agglomération caennaise consiste à l'analyse des pathologies respiratoires et de la pollution atmosphérique pour une période de huit années.

L'objectif de cette étude est double. Il consiste, dans un premier temps, à observer les variations temporelles d'un indicateur sanitaire du C.H.U de Caen ; la fréquentation hospitalière. Une analyse approfondie de cet indicateur permettra de mettre en évidence les périodes de fortes ou de faibles fréquentations ainsi que leur liens avec certains paramètres météorologiques. La deuxième partie de notre étude consiste à une analyse spatiale des hospitalisations qui permettrait de mettre en évidence les communes à forte fréquentation.

1. DONNEES ET METHODOLOGIE

Beaucoup de ces études ce sont basées sur des principes méthodologiques reposant sur le schéma des études épidémiologiques de « type temporelle ». Ils étudient les relations entre un indicateur de santé et des indicateurs environnementaux (pollution, paramètres météorologiques, ...). En reprenant cette démarche méthodologique, nous chercherons à déterminer les relations « temporelles » entre les principaux indicateurs environnementaux et les pathologies respiratoires. L'indicateur sanitaire choisi dans cette étude est la fréquentation hospitalière. La sélection et la construction de cet indicateur a été conditionnée par la possibilité d'obtenir des données d'admissions dans un établissement hospitalier de la zone d'étude. Le C.H.U de Caen dispose d'un service, le Département d'Information Médicale (D.I.M), qui recueille et traite les données hospitalières relatives à chaque patient malade (adresse, dates d'entrée, période d'hospitalisation...). Ces données d'admissions hospitalières ont été recueillies sur une période rétrospective d'environ 8 ans (1993-2001). Le deuxième type de données de l'analyse temporelle a été recueillies sur trois ans (1998 - 2000) et concerne NO₂ et O₃ principaux polluants de la zone d'étude. Ces indicateurs de pollution fournis par le réseau de surveillance de la qualité de l'air Air C.O.M. permettent de construire un indicateur d'exposition ambiant. Enfin, le troisième type de données porte sur quelques paramètres météorologiques (température, pression atmosphérique). Ces données de 8 années

(1993 – 2000) obtenues auprès de l’Air C.O.M et de Météo-France, ont permis d’examiner les relations entre le temps et les fréquentations hospitalières.

En ce qui concerne l’analyse spatiale, seule le code postal de la commune (anonymat d’information) a servi d’adresse pour les admissions hospitalières. Une première analyse spatiale a permis de dégager les communes les plus touchées, alors qu’une deuxième plus approfondie s’est limitée à comparer les deux indicateurs (santé et pollution) aux communes disposant de capteurs de mesure de la qualité de l’air.

2. RESULTATS

2.1 - Analyse temporelle

Le principal objectif est d’observer et d’analyser les variations temporelles des principaux indicateurs environnementaux et sanitaires en l’occurrence la fréquentation hospitalière. La figure 1 présente l’évolution mensuelle des admissions, pour motifs respiratoires, entre l’année 1993 et 2001. Il présente une variation cyclique avec une fréquentation hospitalière intense de 85 hospitalisations/mois pendant la saison froide (octobre à mars) et une fréquentation moyenne de 56 personnes/mois d’avril à septembre. Cette variation cyclique est généralement centrée autour du pic de décembre et/ou janvier.

De mars 1993 à mars 2001, 6746 personnes hospitalisées au C.H.U de Caen ont été comptabilisées, ce qui nous fait une moyenne annuelle d’environ 843 hospitalisations et une moyenne mensuelle de 70 hospitalisations. Toutefois, l’analyse des données sanitaires par années a mis en évidence des années avec des admissions contrastées. Si l’année 1996 enregistre une fréquentation faible (784), les années 1997 et 2000 ont connu les plus fortes fréquentations ; 955 et 988 admissions respectives. Ces fortes admissions sont essentiellement localisées aux mois de décembre (114) et janvier (98). Les autres mois ne dépassent pas les 80 entrées, juillet et août totalisent à peine les 40 entrées.

L’analyse temporelle des données sanitaires a permis de dégager une variation cyclique influencée notamment par la pression atmosphérique et la température de l’air. Plus les températures baissent et la pression augmente et se stabilise plus les fréquentations sont importantes ; 58 % des admission correspondent à des situation anticycloniques et 100 entrées en moyenne correspondant à des températures comprises entre 4 et 8°C. Ces types de temps de haute pression et de températures froides sont favorables à l’augmentation des niveaux de pollution essentiellement le NO₂. Ils empêchent la dispersion verticale des polluants et favorisent la dégradation de la qualité de l’air.

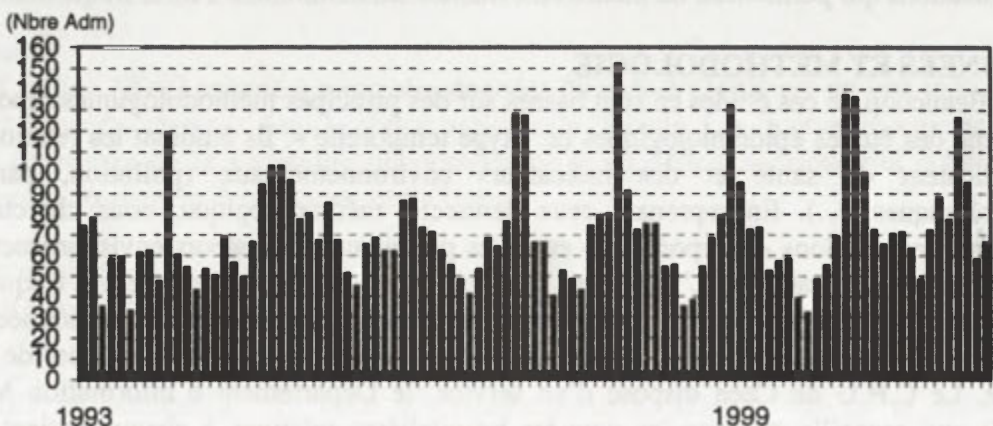


Fig. 1. Evolution mensuelle des admissions hospitalières (Mars 1993 – Mars 2001)
(Source: Williams David)

2.1 - Analyse cartographique

Cette deuxième analyse a pour objectif de spatialiser les pathologies respiratoires en se basant sur le code postal des communes des patients. Notre zone d'étude regroupant 159 communes a une superficie totale de 1006 km² et une population d'environ 335 969 habitants en 1999. Globalement, elle se découpe en trois unités distinctes ; l'unité urbaine caennaise (~ 200 000 habitants), la zone littorale au nord (40 000 habitants), et la « plaine » de Caen (secteur rural).

Il ressort de cette analyse une « géographie » très inégale des admissions (Fig. 2). Ces dernières se concentrent essentiellement sur deux espaces géographiques à savoir ; l'agglomération caennaise (71%) et la zone littorale (16%). Les communes rurales n'enregistrent que 8%. La majorité des personnes hospitalisées habitent, donc, dans des secteurs urbanisés et avec une population âgée supérieure à la moyenne. La principale commune exposée, Caen, concentre à elle seule 38% des admissions. Peut on attribuer cette concentration des admissions à la pollution urbaine ? Une part de responsabilité peut être octroyée à la pollution automobile ; 20 000 véhicules traversent chaque jours le centre ville et plus de 30 000 véhicules/jours empruntent le périphérique de l'agglomération. D'autre part, nous avons comparé la répartition géographique des admissions de l'agglomération caennaise avec la pollution urbaine. Les résultats montrent une répartition très inégale sur l'agglomération caennaise. En effet, à l'exception de la commune de Caen, une large majorité des patients (~ 80%) habitent l'est de l'agglomération. Cela confirme bien la cartographique du NO₂ de 1998 mettant en évidence la concentration de la pollution dans la partie orientale de l'agglomération. Les principales sources de pollution fixes s'y trouvent également (Cimenterie Calcia de Ranville, usine d'incinération de Colombelles...).

Toutefois, l'interprétation des résultats nécessite beaucoup de précautions. Si la répartition globale mis en évidence ces deux zones, celle comparant les admissions à la population totale de la commune présente une autre configuration. Elle met en évidence les communes, plutôt, périphériques de l'agglomération. Ces communes correspondent le plus souvent à des communes dortoirs habitées par une population active, travaillant la plupart du temps dans l'agglomération caennaise. Ce qui pourrait sous-estimer leur exposition à la pollution de l'agglomération et surestimer le risque imputable à la pollution diffuse dans ces communes (Fig. 3).

Enfin, le dernier aspect de notre étude a été de comparer la fréquentation hospitalière et la pollution atmosphérique. Pour cela, nous avons sélectionné les communes disposant d'un capteur de mesure de la qualité de l'air. Cela nous a permis de comparer les différents niveaux de pollution sur ces communes avec celle des admissions. Les résultats de cette analyse spatio-temporelle montrent des profils d'admissions différents suivants les communes. Celui de la commune de Caen montre une fréquentation très intense l'hiver (décembre, janvier). La pollution urbaine sur cette commune a pour origine les transports. Ce type de pollution est notamment plus élevé pendant la saison hivernale (chauffage, trafic routier, conditions météorologiques défavorables...). Les autres communes étudiées Hérouville, Ifs, à l'exception de Ranville, présentent un profil dans l'ensemble similaire. Toutefois, il arrive qu'elles voient leurs profils légèrement augmentés pendant la saison « chaude ». Cette situation peut elle être due à la pollution photochimique ? Même si cette dernière est en quantité supérieure dans les zones périurbaines et accrue pendant la saison « chaude », il paraît difficile de répondre à cette question. Une étude plus approfondie pourrait permettre de mieux mesurer un impact géographique de la pollution photochimique sur les admissions hospitalières des communes périurbaines.



Fig. 2. Admissions totales/commune



Fig. 3. Coefficient d'admission/commune

CONCLUSION

Cette étude a permis de mettre en évidence la variation spatio-temporelle des admissions hospitalières pour les pathologies respiratoires. Elle a confirmé la tendance saisonnière déjà mise en évidence par plusieurs chercheurs ; une forte fréquentation en saison froide favorisée essentiellement par des types de temps anticycloniques à centre continentaux. L'analyse spatiale a montré, quant à elle, une répartition géographique inégale des admissions. Les secteurs les plus touchés concernent l'agglomération caennaise (essentiellement son centre oriental) et le littoral. Ces deux zones correspondent le plus souvent aux espaces les plus peuplés, les urbanisés et les plus industrialisés. Elles sont également le plus touchées par la pollution NO₂. Néanmoins, ces résultats méritent d'être approfondis par des critères socioprofessionnels (âge, activité professionnelle, lieu de résidence, lieu de travail, ...). D'autre part, la spatialisation des admissions n'a pris en compte que les hospitalisations. Les consultations dans les autres structures n'ont pas été prises en compte. De plus, les pathologies respiratoires ont été étudiées globalement ; quelques épidémies (grippes) de la saison d'hiver peuvent influencer la relation étudiée.

BIBLIOGRAPHIE

- MEDINA, S., LE TERTRE, A., DUSSEUX, E., et al. Observatoire Régional de Santé d'Ile de France. (O.R.S.I.F). Paris. FRA. Conseil régional d'Ile de France. Paris, Préfecture d'Ile de France. Paris.
- ERPURS, 1999, *Evaluation des Risques de la Pollution Urbaine sur la Santé. Analyse des liens à court terme entre la pollution atmosphérique et santé. Résultats 1991-1995.*
- TROUVE M., 1996, *La pollution atmosphérique en milieu urbain, Exemple de l'agglomération caennaise*, Thèse, Université du Maine, Le Mans.

CONDITIONS BIOCLIMATIQUES DU COTE SUD DE LA MER BALTIQUE EN ETE

Lucyna KOWALKOWSKA, Krzysztof BŁAŻEJCZYK, Hanna KYRCZ
Institut de Géographie, Université de Bydgoszcz, Minska 15, Bydgoszcz, Pologne
k-blaz@ab-byd.edu.pl

Mots clés: bioclimate, classification biothermique du temps, mer Baltique

Abstract: In the paper bioclimatic differentiation of the Polish coast of the Baltic Sea is discussed. Bioclimatic conditions were assessed with the use of new biothermal-and-meteorological weather classification. Significant differences between west, central and east parts of the Baltic seashore were observed.

Introduction

L'analyse du temps actuel est un élément très important pour l'évaluation des conditions bioclimatiques (de Freitas, 2001). En bioclimatologie humaine plusieurs classifications de types temps sont utilisées (Cubukov, Nevraev, 1960; Danilova, 1988; Blazejczyk, 1979). Les méthodes énumérées n'illustrent pas les relations réelles entre les conditions météorologiques et l'organisme humain. Ils ne sont pas adaptés pour servir de bases digitalisées des données météorologiques.

La nouvelle classification de types de temps proposée par K. Blazejczyk (2001) se base sur l'analyse de bilan thermique de l'organisme humain. Il prend également en compte quelques informations météorologiques. Ainsi cette classification peut être considérée comme une typologie biothermique du temps.

La but de cette communication est la présentation d'études comparatives des conditions bioclimatiques de la côte sud de la mer Baltique.

Méthode

La typologie du temps consiste en trois niveaux d'informations: type, sous-type et classe de temps. Les informations concernant le temps sont chiffrées numériquement. Le type de temps est défini en utilisant l'indice de la température ressentie de la manière suivante:

<u>Premier chiffre du temps</u>	<u>Type de temps:</u>
-3	- très froid
-2	- froid
-1	- frais
0	- confortable
1	- chaud
2	- très chaud
3	- caniculaire

Les sous-types de temps sont définis par les caractéristiques suivantes: intensité des stimulants radiatifs, type du stress thermophysologique et intensité de la suffocation.

<u>Deuxième chiffre du temps</u>	<u>Stimulants radiatifs:</u>
1	- faibles
2	- modérés
3	- forts

Troisième chiffre du temps Stress thermophysologique:

H	- stress du chaud
T	- conditions neutre
C	- stress du froid

Quatrième chiffre du temps Intensité de la suffocation de l'air:

0	- air pas suffocant
1	- modéré
2	- grande

Les classes du temps sont définies par les contrastes thermiques journaliers et par l'occurrence de précipitations.

Cinquième chiffre du temps Contrastes thermiques journaliers:

0	- faibles
1	- élevés

Sixième chiffre du temps Jour:

0	- sans précipitations
1	- avec précipitation

Finalement, toute notation codé du temps est constituée par six chiffres. Par exemple, une notation -2_2C0_01 signale le temps froid avec stimulants radiatifs modérés, stress thermophysologiques du froid, pas suffocant et aussi avec faibles contrastes thermiques journaliers et précipitation. Une notation 2_3T1_10 signale un temps très chaud avec stimulants radiatifs forts, neutre pour un appareil de la thermorégulation, modéré au niveau de la suffocation, élevés contrastes thermiques journaliers et sans précipitations.

Les données journalières météorologiques pour les stations: Swinoujście, Ustka, Leba et Gdynia et pour la période 1971-1990 ont été utilisées. Le modèle de bilan thermique de l'homme MENEX_2002 (Blazejczyk, 2003) a été utilisé pour calculer les composantes du bilan d'énergie. Tous les calculs des caractéristiques du temps ont été faits en utilisant le logiciel BioKlima© 2.2.

Résultats

Les types de temps

La période entre juin et août sur les côtes de la mer Baltique, en Pologne se caractérise par la diversité des conditions météorologiques allant, du temps frais à caniculaire (Tabl. 1). Pendant les mois d'été sur ce territoire, seuls les temps très froid et froid ne sont pas observés. Evidemment, dans toutes les quatre villes Swinoujście, Ustka, Leba et Gdynia, le temps chaud est dominant (environ 40% des jours). Le plus souvent, ce type de temps apparaît en août à Gdynia: 46% de jours. On observe aussi un temps confortable. Dans la période d'été, celui-ci représente environ 20 à 28% de jours. Il y a plus de jours de ce type à Ustka et à Gdynia (23 à 31%) qu'à Swinoujście et Leba (19 à 26%). Souvent, dans les villes situées au bord de la mer, on observe aussi un temps chaud. En juillet et en août, il y a en moyenne 20% de tels jours. Les jours chauds sont relativement moins nombreux en juin (16 à 19%). Pendant les autres jours, dans toutes les localités, on observe un temps frais ou caniculaire. Le temps frais est rencontré le plus souvent à Leba en juin: 10% de jours. A Gdynia en juillet, de tels jours sont les plus rares: moins de 1%. Les jours se caractérisant par un temps caniculaire constituent environ 5 à 9%. A Ustka et Leba, en juin, il y a moins de jours de ce type: 2,5 à 3,5%.

Tableau 1. Fréquence (%) des types de temps

Types de temps	Swinoujście			Ustka			Gdynia			Leba		
	juin	juillet	août	juin	juillet	août	juin	juillet	août	juin	juillet	août
Très froid	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Froid	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Frais	10,8	2,8	5,8	10,2	3,4	5,0	6,2	0,7	5,8	16,0	6,1	9,4
Confortable	24,0	22,4	19,2	27,7	27,4	22,6	28,8	31,6	23,4	24,7	26,3	22,1
Chaud	38,2	41,1	41,3	40,0	38,9	40,4	39,5	40,8	46,1	39,0	39,0	39,2
Très chaud	20,3	24,5	24,3	19,5	25,3	24,4	18,8	20,7	20,0	16,5	21,6	21,3
Caniculaire	6,7	9,2	9,4	2,6	5,0	7,6	6,7	6,2	4,7	3,8	6,9	8,1

Les soustypes de temps

a) Les stimulants radiatifs

Sur le territoire analysé, on n'observe pas de grande variabilité des stimulants radiatifs. Dans la période d'été les stimulants modérés sont dominants: 60 à 70% des jours. Pourtant, le mois de juin à Gdynia constitue une exception, puisqu'il y a à près de 50% de jours de ce soustype. Pendant les autres jours d'été, on observe des stimulants radiatifs faibles : 30 à 40% des jours. De juin à août au bord de la mer Baltique, on ne rencontre presque jamais de jours avec des stimulants forts. De la même manière, juin à Gdynia, est une exception, avec plus de 14% de jours de ce soustype (Tabl. 2).

b) Le stress thermophysique.

Le stress du froid apparaît, la plupart des jours de la période estivale, dans les villes situées au bord de la mer Baltique (85 à 95%). Le stress du chaud est rencontré évidemment moins souvent: 10 à 15%. Il apparaît plus fréquemment en août et le moins en juin.

c) L'intensité de la suffocation de l'air

Dans toutes les localités domine un soustype de temps se caractérisant par un manque de suffocation de l'air (90 à 95%). Evidemment, on observe moins souvent un état de suffocation de l'air modérée (5 à 10%). Les jours avec un sentiment fort de suffocation de l'air sur le territoire maritime apparaissent sporadiquement ou jamais.

Tableau 2. Fréquence (%) de soustypes de temps

Soustype de temps	Swinoujście			Ustka			Gdynia			Leba		
	juin	juillet	août	juin	juillet	août	juin	juillet	août	juin	juillet	août
Stimulants radiatifs												
faibles	34,3	28,4	25,7	38,0	34,4	28,5	35,7	33,1	29,5	37,8	32,9	31,1
modérés	65,7	71,6	74,3	62,0	65,6	71,5	49,8	66,9	70,5	62,2	67,1	68,9
forts	.	.	.	.	.	.	14,5	.	.	.	.	.
Stress thermophysique												
du froid	89,5	86,1	81,3	93,2	90,3	84,0	95,5	89,0	87,1	93,2	89,2	86,0
du chaud	10,5	13,9	18,7	6,8	9,7	16,0	4,5	11,0	12,9	6,8	10,8	14,0
Intensité de suffocation de l'air												
pas suffocant	96,1	95,5	95,0	95,4	89,2	87	95,7	92,6	92,4	98,3	97,1	96,3
modérée	3,7	4,5	4,8	4,5	10,8	12,5	3,8	6,3	6,3	1,7	2,9	3,5
forte	0,2	.	0,2	.	.	0,5	0,5	1,1	1,3	.	.	0,2

Les classes de temps

a) Les contrastes thermiques journaliers

Dans les localités examinées il y a autant de grands contrastes thermiques que de petits. Dans toutes les villes, on observe une prédominance des jours à faibles contrastes. Cette différence est estimée à environ 20%. Gdynia constitue ici une exception puisque, les jours se caractérisant par des contrastes élevés y sont considérablement moins nombreux (environ 19%).

b) Les précipitations

De juin à août sur le territoire maritime de la mer Baltique il y a environ 20 à 30% de jours avec des précipitations. Il pleut le plus souvent à Swinoujście (30% de jours d'été), le plus rarement à Ustka en juin et en août: 17 à 19%. Le plus grand nombre de jours pluvieux est observé en juillet (de 30% à Gdynia à 33% à Leba) (Tabl. 3).

Tableau. 3. La fréquence (%) de classes de temps

Classes de temps	Swinoujście			Ustka			Gdynia			Leba		
	juin	juillet	août	juin	juillet	août	juin	juillet	août	juin	juillet	août
Contrastes thermiques journaliers												
faibles	59,3	58,2	55,5	66,0	66,6	58,4	82,2	88,2	82,6	57,2	60,2	54,5
élevés	40,7	41,8	44,5	44,0	43,4	41,6	17,8	11,8	17,4	42,8	39,8	45,5
Précipitations												
sans	68,7	69,0	72,2	82,8	69,0	81,1	73,3	70,5	74,4	74,3	66,9	71,6
avec	31,3	31,0	27,8	17,2	31,0	18,9	26,7	29,5	25,6	25,7	33,1	28,4

Conclusions

Les conditions bioclimatiques, sur les côtes de la mer Baltique en Pologne se caractérisent par la diversité des conditions météorologiques, du temps frais à caniculaire. Dans toutes les parties de la côte le temps chaud est dominant (environ 40% des jours). Les jours se caractérisant par un temps caniculaire constituent environ 3 à 9%.

Sur le territoire analysé, on n'observe pas de grande variabilité des stimulants radiatifs. En été les stimulants modérés sont dominants: 60 à 70% des jours. Au bord de la mer Baltique, le stress du froid est présent pendant la plupart des jours de la période estivale (85 à 95% des jours). Evidemment, dans toutes les localités domine un sous-type de temps pas suffocant (90 à 95% des jours).

Dans toutes les villes, on observe une prédominance des jours à faibles contrastes sur ceux à contrastes élevés. Gdynia constitue ici une exception. Sur le territoire maritime de la mer Baltique il y a environ 20 à 30% de jours avec des précipitations.

Bibliographie

BioKlima© 2.2, logiciel, www.igipz.pan.pl/klima/blaz/bioklima.html

BŁAŻEJCZYK, K., 1979: Typologia pogody na potrzeby klimatoterapii (Typologie de temps pour bioclimatologie). *Dokumentacja Geograficzna*, 2: 12-24.

BŁAŻEJCZYK, K., 2001: Assessment of recreational potential of bioclimate based on the human heat balance. [Dans:] A. MATZARAKIS, C.R. de FREITAS (ed.), *Proc. of the 1st Intern. Workshop on Climate, Tourism and Recreation*, Intern. Soc. Biometeor., Comm. Climate, Tourism and Recreation, WP11, www.uni-freiburg.de/isb.

BŁAŻEJCZYK, K., 2003, MENEX_2002: www.igipz.pan.pl/klima/blaz/menex.html.

CUBUKOV, L.A. et NEVRAEV, G.A., 1960, Klimatoterapevticeskie znacenie vaznejsich klassov mestnoj pogody (Typologie de temps pour traitement climatique). *Voprosy Kurortnoj Fizioterapii i Lecebnoj Fiziceskoj Kultury*, 3: 193-202.

DANILOVA, N.A., 1988, *Przyroda i nasze zdrowie*. (Nature et notre santé), Wiedza Powszechna, Warszawa.

de FREITAS, C.R., 2001: Theory, concepts and methods in tourism climate research. [Dans:] A. MATZARAKIS, C.R. de FREITAS (ed.), *Proc. of the 1st Intern. Workshop on Climate, Tourism and Recreation*, Intern.Soc.Biometeor., Comm. Climate, Tourism and Recreation, WP1, www.uni-freiburg.de/isb.

APPROCHONS-NOUS A LA FIN DU HOLOCENE?

*Joseph LITYNSKI, Claude GENEST et François BELLEMARE
Laboratoire de climatologie, Université du Québec à Trois-Rivières
C.P. 500 Trois-Rivières, Canada, G9A 5H7; litynski @total.net*

Mots clés: holocène, température, refroidissement, glaciation

Abstract: Harmonic analysis of the mean temperature of Central Greenland and Vostok (Antarctic) for past 160 ky (160 000 years) gives dominant periods: 118 ky, 62 ky, 41 ky, 24 ky and 12,5 ky. The extrapolation of this curve suggests the possibility of cooling temperature of about 1°C by 1 000 years with a new glacier era starting in 5 000 years.

1. Introduction

La récente théorie du réchauffement global domine entièrement le débat sur les changements climatiques, surtout à cause de sa médiatisation. Cependant, il y a beaucoup d'indications qui suggèrent que le climat continue à évoluer selon les rythmes existants depuis des millions d'années.

La question fondamentale concernant l'évolution du climat est la suivante: *L'activité de l'homme va-t-elle arrêter complètement les cycles naturelles qui régissent les changements climatiques pour les remplacer par une augmentation plus ou moins linéaire de la température ?* La réponse positive à cette question présente un scénario catastrophique: fonte des glaces polaires, inondation des basses terres, phénomènes météorologiques violents, nouvelles maladies. Le GIEC (IPCC) considère le réchauffement global comme une certitude scientifique. Et pourtant ce n'est qu'une hypothèse. Le fait qu'elle est appuyée par la majorité des modèles ne change rien, parce que les modèles ne représentent pas une réalité stricte, ils sont une approximation dont la probabilité de réalisation n'est pas connue. D'ailleurs, il y a aussi des modèles couplés atmosphère-océan qui donnent les résultats opposés: le refroidissement au lieu du réchauffement (Rahmstorf, 2002).

Dans ce travail nous présentons les arguments indiquant que l'hypothèse du réchauffement global ne se réalise pas. En ce cas, il est logique que les fluctuations climatiques poursuivront leur schéma millénaire.

2. Considérations théoriques

La théorie du réchauffement global est basée sur le fait que l'homme produit une quantité importante du gaz carbonique qui change le bilans de rayonnement de la surface terrestre (effet de serre anthropique). Ce phénomène c'est accru à partir des années 1940, quand la puissance industrielle et le nombre de voitures et d'avions a fait un bond presque partout dans le monde. La valeur de cet effet est estimé à +2,5 W/m². Mais il faut prendre aussi en considération deux autres facteurs qui contribuent au changement du bilans radiatif: la nébulosité et les paramètres de l'orbite terrestre. Pendant le XX-e siècle la nébulosité a augmentée de 2% (OMM, 2003). La contribution au bilans de ce changement est de -1,6 W/m².

Il y a trois paramètres orbitaux qui influencent le bilans radiatif: l'excentricité de l'orbite, l'oscillation axiale (précession des équinoxes) et le mouvement de bascule (changement de l'angle de l'axe terrestre). C'est la théorie de Milankovicz (1930) qui décrit les fluctuations périodiques de ces paramètres et leur influence sur le bilans radiatif (Imbrie, 1980). D'après cette théorie le dernier minimum de rayonnement se trouvait il y a 18 000 ans (-18 ky) et le plus récent maximum il y a 6 000 ans (-6 ky). Le prochain minimum arrivera dans 23 000 (+23 ky).

Tableau 1. Facteurs contribuant au forçage climatique

Facteur	Changement du bilan radiatif à la surface (W/m ²)
Effet de serre anthropique	2,5
Augmentation de la nébulosité moyenne de 2%	-1,6
Changement des paramètres orbitaux de la terre par rapport à l'optimum climatique du holocène	-1,5

Somme = -0,6

Ce tableau indique que par rapport à l'optimum climatique du holocène (-6 ky) le forçage climatique actuel est négatif (-0,6 W/m²). Nous nous trouvons donc dans une période de refroidissement qui est pour le moment léger, mais qui serait plus rapide, s'il n'y avait pas de l'effet de serre anthropique. Les fluctuations de la température observées dans le dernier millénaire sont d'un ordre différent et demandent une analyse séparée.

3. Température observée

Nous avons des données assez complètes pour deux périodes climatologiques: 1931-1960 et 1961-1990 pour tous les continents. En rejetant les stations se trouvant à l'intérieur des grandes villes, nous avons sélectionné 1195 stations terrestres. En faisant la comparaison entre 2 périodes climatologiques consécutives, nous avons constaté que tous les continents, sauf l'Australie, se sont légèrement refroidis (Litynski, 1999). Le tableau 2 donne le résumé de ce changement.

Tableau 2. Changements de la température de surface entre deux périodes: 1931-1960 et 1961-1990

Région du monde	Superficie en millions km ²	ΔT en °C	Nombre de stations
Europe	10,2	- 0,08	226
Amérique du Nord avec Groenland	24,3	- 0,12	228
Amérique du Sud	17,8	- 0,07	190
Asie du Nord	19,1	- 0,05	145
Asie du Sud	22,8	- 0,08	146
Afrique	30,3	- 0,03	186
Australie avec les îles du Pacifique Sud	10,8	+0,09	70
Antarctique	13,2	- 0,04	4
Tous les continents	148,5	- 0,055	1195

Le changement de la température moyenne des continents est de -0,06°C/30ans et cette valeur est statistiquement significative. En ce qui concerne la décade 1991-2000, nous ne possédons pas de données complètes, mais avec les stations dont les observations sont disponibles, nous pouvons tirer les conclusions suivantes: la décade était chaude, mais moins chaude que la décade 1950-1960 et elle était très diversifiée. En Amérique du Nord nous avons eu pendant cette décade l'hiver le plus froid depuis 70 ans (1993/94) et l'année la plus chaude (1998). En Europe on a aussi observé très grandes fluctuations de la température.

Les modèles qui donnent comme résultat le réchauffement global indiquent que les régions polaires devraient se réchauffer plus vite que les latitudes moyennes. Il est donc important de voir comment se comportent en réalité ces deux régions: Arctique et Antarctique. Les fluctuations de la température en Arctique sont présentées sur la figure 1 (Litynski et al, 2003). On y voit qu'il n'y a pas d'une tendance homogène dans les changements de la température; on observe par contre les fluctuations cycliques assez régulières. Il n'y a donc pas de réchauffement en Arctique.

En ce qui concerne l'Antarctique, les derniers travaux (Dolan et al, 2002) démontrent que le continent de l'Antarctique s'est refroidi. Ce refroidissement est particulièrement marqué dans la région appelée Dry Valleys (-0,7°C par décade). La seule région qui s'est réchauffée est la Péninsule Palmer (+0,4°C par décade). Le tableau 3 donne le résumé du changement de la température des deux régions polaires en procédant par les périodes climatologiques de 30 ans.

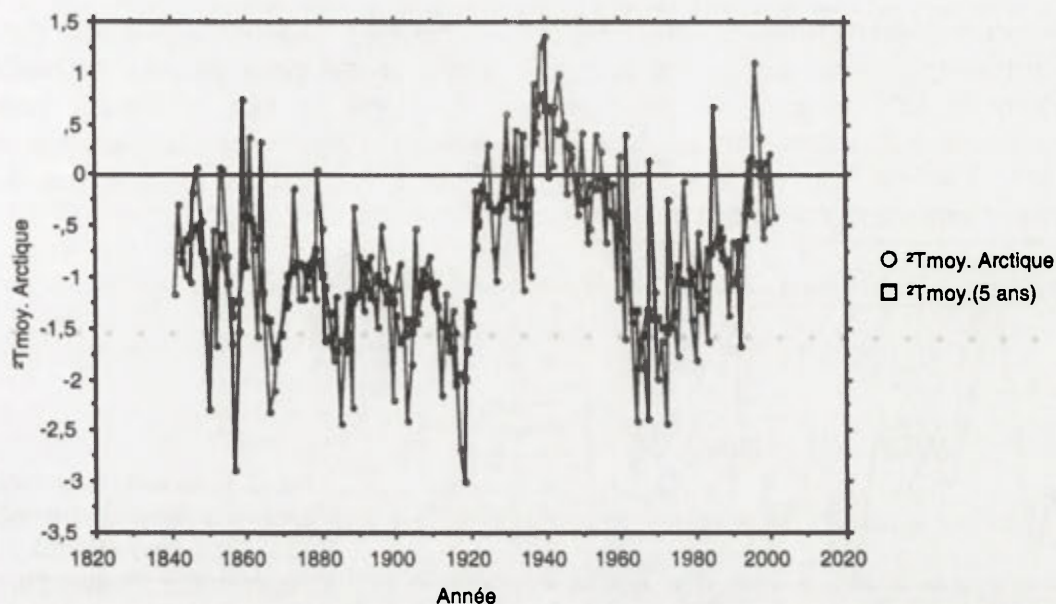


Fig. 1. Température moyenne de l'Arctique (°C) par rapport à la normale de la période 1931-1960

Tableau 3. Changements de la température dans deux régions polaires: Arctique et Antarctique

Région	$\Delta T1 = T_{1961-1990} - T_{1931-1960}$ (°C)	$\Delta T2 = T_{1971-2000} - T_{1941-1970}$ (°C)
Arctique	-0,46	-0,28
Antarctique	-0,04	-0,15

La figure 1 et le tableau 3 indiquent clairement que les deux régions polaires se sont refroidies dans la deuxième moitié du XX-e siècle. L'hypothèse du réchauffement global ne se vérifie donc pas jusqu'à présent. Pour décrire le futur climat il faut analyser les rythmes propres aux fluctuations climatiques dans le passé et les utiliser pour l'extrapolation.

4. Analyse harmonique et l'extrapolation de la température pour la période de -160 ky à +40 ky basée sur les données de forage au Groenland et à Vostok

Nous avons construit la courbe moyenne des températures passées obtenues par le forage dans les glaciers de Groenland et de l'Antarctique (Vostok) pour 160 000 ans et procéder ensuite à l'analyse harmonique. Cette courbe est présentée sur la figure 2 (courbe pâle) et les résultats de l'analyse dans le tableau 4.

Tableau 4. Périodes dominantes trouvées par l'analyse harmonique

Période (ky)	Amplitude mathématique (°C)	Phase (position de maximum le plus récent)
118	2,1	-8 ky
62	1,1	-6 ky
41	2,0	-5 ky
24	1,0	-3 ky
2,5	0,7	-2 y
constante = -4,73 °C		

Le coefficient de corrélation entre la courbe observée et la courbe composée de 5 harmoniques est très élevé, $R=0,86$, ce qui donne une bonne chance pour la prévision. Le refroidissement prévu devrait être de 1°C par 1000 ans, mais la présence de l'effet de serre anthropique peut diminuer cette valeur. La nouvelle glaciation va commencer dans 5 000 ans environ, mais son début dépend aussi d'un autre phénomène, celui-ci dû à l'océan. Il s'agit de la diminution substantielle ou de l'arrêt du «tapis roulant», comme on appelle le Golfstream et son

contre-courant profond (Broecker, 1991). Ce courant apporte à l'Atlantique Nordique (latitude $>50^\circ$) une énergie thermique énorme (env. 30 W/m^2), ce qui provoque une différence de température de 12°C entre la côte norvégienne et l'Archipel Arctique du Canada, pour les endroits placés à la même latitude. L'arrêt du Golfstream provoquera la glaciation de la Scandinavie dans un laps de temps très court (mois que 100 ans). Il est probable que chaque glaciation commence de cette manière.

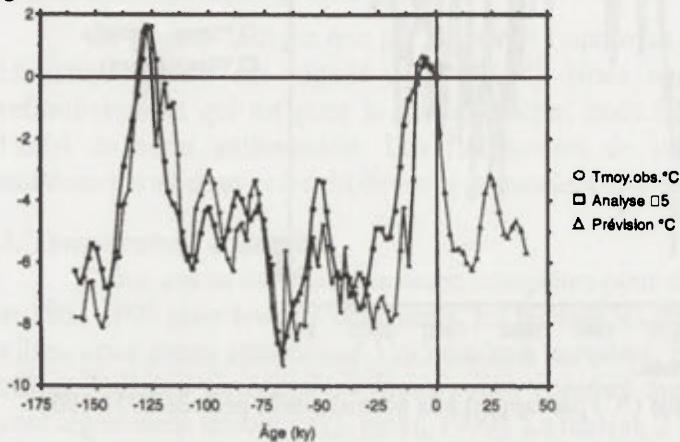


Fig. 2. Ecart entre la température observée dans le passé (moy. de Groenland + Vostok/2) et la température d'aujourd'hui ($^\circ\text{C}$) ainsi que la courbe composée

Conclusion

Étant donné que l'hypothèse du réchauffement global anthropique ne se vérifie pas jusqu'à présent, il est probable que l'évolution du climat poursuivra son rythme naturel (peut-être un peu modifié par l'effet de serre anthropique) et nous pouvons prévoir le climat future en analysant le climat passé. Dans ce travail nous avons fait ce type d'essai et nous avons obtenu comme résultat le refroidissement d'ordre de 1°C par 1000 ans et le début de la nouvelle ère glaciaire dans 5 000 ans environ, s'il n'y a pas d'arrêt du Golfstream avant. Un minimum de température (-6°C par rapport à aujourd'hui) est prévu dans 18 000 ans.

Il est étonnant que la corrélation entre la courbe observée et celle composée de 5 harmoniques dominantes est tellement élevée ($R=0,86$). Deux périodes trouvées sont les mêmes que celles dans les modèles de Milankovicz (24 et 41 ky) et une est proche (118 ky au lieu de 100 ky). Deux autres (62 et 12,5 ky) sont probablement propres à la circulation des eaux océaniques.

Bibliographie

- BROECKER, W.S., 1991: The Great Ocean Conveyor; *Oceanography*, vol. 4, No 2: 79-89.
- DOLAN, P.T. et 12 co-auteurs, 2002: Antarctic climate cooling and terrestrial ecosystem response; *Nature*, vol. 415: 517-520.
- IMBRIE, J. et IMBRIE, J.Z., 1980: Modeling the Climatic Response to Orbital Variations; *Science*, vol. 207 : 943-953.
- LITYNSKI, J., 1999: Changement de la température terrestre pendant la période 1931-1990; *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, vol. 12 : 289-297.
- LITYNSKI, J., GENEST, C. et BELLEMARE, F., 2003: Fluctuations du climat dans l'Arctique durant le XX siècle; *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, Vol. 15 (sous presse).
- MILANKOVICZ, M., 1930: [Dans:] *Handbuch der Klimatologie*, W. Köppen und R. Geiger; Borntraeger, Berlin.
- Organisation Météorologique Mondiale, 2003: *Le climat de demain*; OMM No 952, Genève, Suisse.
- RAHMSTORF, S., 2002: Ocean circulation and climate during the past 120,000 years; *NATURE*, vol. 419: 207-214.

APPORTS DES SIG DANS L'ETUDE DU CLIMAT URBAIN: CAS DE MARSEILLE PENDANT LA CAMPAGNE ESCOMPTE (ETE 2001)

Nathalie LONG ⁽¹⁾⁽⁵⁾, *Saïda KERMADI* ⁽²⁾, *Alain TREBOUET* ⁽²⁾

Jean-Pierre LAGOUARDE ⁽³⁾, *Claude KERGOMARD* ⁽⁴⁾

⁽¹⁾ *Lab. Mécanique des Fluides, École Centrale de Nantes, Nantes, France,*
nathalie.long@ec-nantes.fr;

⁽²⁾ *Espace Géographiques et Sociétés, Univ. du Maine, Le Mans, France;* ⁽³⁾ *Unité de Bioclimatologie INRA, Domaine de la Grande Ferrade Villenave d'Ornon, France;* ⁽⁴⁾ *Lab. Géographie des Milieux Anthropisés, Univ. Sciences et Technologies de Lille, Villeneuve d'Ascq, France;* ⁽⁵⁾ *SIRIATECH, 59650 Villeneuve d'Ascq, France*

Mots clés: climat urbain, îlot de chaleur, télédétection, pollution atmosphérique

Abstract: A city has a complex structure and its urban fabric appears often very heterogeneous. However, relatively homogeneous quarters are delimited with classification methods from two information sources: BDTopo database produced by National Geographic Institute and images of SPOT 4 satellite.

Introduction

La ville a une structure complexe et se compose de divers éléments qui constituent le tissu urbain (bâtiments, parcs, routes,...). Les villes se sont formées et agrandies au cours des siècles, par la création de quartiers successifs, du centre historique vers la périphérie.

Par cet étalement urbain, la ville engendre des transformations non seulement des états de surface naturels, mais également de la climatologie locale. En effet, la variété des propriétés thermiques des matériaux comme la structure de la canopée urbaine induisent des modifications du bilan d'énergie. Un îlot de chaleur se forme la nuit (Oke, 1982, 1987), dû à la restitution par les différents composants de la ville de la chaleur stockée pendant la journée. L'hétérogénéité spatiale de la ville induit à son tour des variations locales de la climatologie urbaine. Des études ont été menées sur ce thème afin d'analyser la relation entre la température de surface, la morphologie et les modes d'occupation du sol (MOS) des villes (Elliasson, 1991, Voogt, Oke, 1997).

L'objectif de cette étude est d'utiliser un SIG pour améliorer la caractérisation des différents éléments constituant le tissu urbain et entraînant une modification de la climatologie locale. Le travail consiste dans un premier temps à déterminer des quartiers relativement homogènes dans leur structure morphologique et dans leurs MOS. La température de surface de trois quartiers spécifiques (Fig. 1) est ensuite étudiée. Il s'agit des quartiers centre-ville (CV), St Barnabé (SB) et La Rose (LR).

1. Données et méthodologie

Étudier l'influence de la structure de la ville sur la climatologie locale nécessite une connaissance précise de la ville et des éléments la composant. Trois types de données ont été retenus: des données topographiques (BDTopo) produites par l'IGN (Institut Géographique National), des images satellite SPOT et des données thermiques (capteur aéroporté).

- La BDTopo se compose de différentes couches d'informations; celles utilisées pour cette étude sont la végétation, les bâtiments, le réseau hydrographique, le réseau routier et la topographie. Les informations sont géoréférencées dans le système de projection Lambert III. Chaque élément est défini par une ligne constituée de points auxquels sont associés des attributs comme l'altitude du point par exemple. Le logiciel DFMap a été développé et validé en collaboration avec la société SIRIATECH pour transposer une information vectorielle au format raster et calculer des variables à partir de la BDTopo. Parmi celles-ci:

-des variables décrivant la morphologie moyenne des bâtiments dans une maille: hauteur, volume, périmètre et compacité des bâtiments (la compacité est calculée par le rapport entre la surface et le périmètre d'un bâtiment, ramené à celui d'un cercle)

-des variables pour les différents MOS (les densités sont calculées pour chaque maille, elle résulte du rapport entre la surface de la zone en question et la surface de la maille): densité bâtie, densité de végétation, densité des zones en eau et nombre de bâtiments par cellule.

Ces informations sont calculées pour une grille de 14x18 km avec des mailles de 200 m et alimentent un SIG. Des classifications du tissu urbain ont été réalisées par Theureur, 1999 et Cianco et al., 1998, en utilisant des paramètres morphologiques, afin de mettre en évidence les différents types de quartiers de la ville. Dans notre cas, la méthode de classification automatique par nuées dynamiques a été appliquée sur Marseille afin de déterminer des zones homogènes. Cette méthode construit dans un premier temps une partition initiale des données puis modifie ensuite les membres des classes pour obtenir une nouvelle partition afin de diminuer l'inertie intra-classe.

- Deux images Spot, du 17 juin 2000 et 18 avril 1995, ont été utilisées. L'image Panchromatique du 17 juin 2000 a été utilisée pour le ré-échantillonnage des images multispectrales aux 2 dates. A l'issue de cette combinaison des données, plusieurs classifications ont été réalisées sur la ville. Un masque numérique sur les éléments perturbateurs (eau, ...) a été construit. Deux classifications supervisées, basées sur les plans XS et sur les indices de végétation (NDVI et SAVI), ont ensuite été générées. La première fut limitée à la détermination des classes des surfaces minéralisées (bâti à sol nu), la deuxième concernant les surfaces végétalisées. Les deux classifications ont été fusionnées, fournissant ainsi l'occupation du sol de la ville. Cette dernière a été vectorisée et intégrée dans un SIG.

- Le troisième type de données concerne des températures de brillance réalisées pendant la campagne ESCOMPTE sur Marseille à l'aide d'une caméra infra rouge thermique, embarquée sur un avion. Les images ont été acquises avec un objectif grand angulaire dans le but initial de caractériser les effets directionnels selon un protocole développé par Lagouarde et al., 2000. Des imagerie autour du nadir (visée verticale $\pm 20^\circ$) en ont été extraites. Celles-ci ont été rectifiées en géométrie et corrigées des effets perturbateurs de l'atmosphère. De nombreux survols ont été répétés selon des directions (caps) différentes, à diverses dates (26/06, 29/06, 10/07 et 12/07) et à diverses heures de la journée, sur plusieurs quartiers spécifiques de Marseille: CV, SB (quartier constitué de maisons individuelles de densité assez importante) et sur LR (quartier d'habitat collectif).

2. Resultats

2.1. Délimitation et description de quartiers à Marseille

Sept classes ont été créées par cette méthode de classification. Chaque classe peut être rattachée à un quartier spécifique de Marseille. Seules les classes incluant les quartiers CV, SB, et LR seront décrites ici (Fig. 1). Le centre-ville (classe 1); il se caractérise par une densité bâtie élevée (0.44), des îlots de bâtiments assez hauts (13 m) et d'une taille assez importante. Les rues sont étroites ou au contraire très larges, ont un tracé assez rectiligne et se coupent perpendiculairement. La densité de la végétation reste très faible avec seulement 2% de la surface occupée par de la végétation. La classe 4 regroupe les bâtiments collectifs et industriels (LR). La densité bâtie n'est que de 0.15 mais la zone est constituée de bâtiments d'une taille intermédiaire entre les 'blocs' de bâtiments du centre-ville et ceux des zones d'habitat individuel, de par leur hauteur (11 m), périmètre et volume. Ces immeubles sont entourés de zones de végétation plus ou moins entretenues, de vastes parkings. La classe (SB) est un type de quartier formé de maisons individuelles d'une densité bâtie de 0.21 en moyenne. La hauteur des bâtiments correspond à des maisons d'un à deux étages (~ 6m). Le périmètre et volume moyen est inférieur aux deux quartiers cités précédemment. Enfin, la densité de végétation est de 0.06 en moyenne, car chaque maison est devancée d'un jardin privé dans la majorité des cas.



Fig. 1. Marseille, les 3 quartiers étudiés, trajet des mesures de températures de surface et emplacement des imagettes étudiées

2. 2. Comparaison des résultats des MOS des deux méthodes

Les résultats des deux méthodes sont comparés pour les trois quartiers (CV, SB, LR) de Marseille et pour les variables définissant les MOS. Deux résultats sur les surfaces recouvertes de végétation ont été fournis par l'analyse des images SPOT prises à deux époques différentes de l'année. L'image d'avril 1995 donne un pourcentage de végétation de 18% dans SB et celle de juin 2000 de 67%. D'après la BDTopo, seulement 7.5% de la surface est recouverte par de la végétation. Les écarts entre les résultats des deux images sont relativement moins importants pour les deux autres quartiers ; la végétation recouvre entre 21% et 5.3% de la surface dans LR et entre 3.9 et 2.6% dans CV. Pour ces quartiers, les surfaces de végétation données par la BDTopo sont respectivement de 2.8% et 0.13%.

L'écart important entre les résultats des images satellite SPOT et la BDTopo peut s'expliquer par le fait que toutes les surfaces de végétation ne sont pas représentées dans la BDTopo qui ne recense que les zones dont la superficie est supérieure à 3 ha et dont la plus petite dimension est supérieure à 25 m. La végétation dans les cours intérieures des îlots du centre-ville ou le long des rues n'est donc pas prise en compte ou très peu. Les jardins de l'habitat individuel représentent également des surfaces trop petites pour être recensées dans la BDTopo. De même, la végétation de type herbe rase voire sèche en période estivale n'est pas recensée dans la BDTopo, ce qui explique le faible pourcentage de végétation dans LR.

Il est à noter, également, que l'importance de la part de végétation à partir des images Spot est conditionnée par la date de prise vue et par les espèces végétales. Saint Barnabé où la végétation arborée est dense a un écart beaucoup plus important en juin où l'activité chlorophyllienne et le taux de recouvrement sont très importants.

Pour les surfaces dites «minérales» il n'est pas évident de comparer les résultats obtenus à partir de ces deux sources d'information car dans la BDTopo, seules les surfaces des bâtiments et des axes routiers sont représentées. De plus les risques de confusion dans l'interprétation des images satellites sont nombreux. On peut citer par exemple le cas de surfaces de végétation herbacée sèche et/ou peu dense qui peut apparaître comme des sols nus sur les images satellite. En revanche, pour le CV où le minéral est plus dense, ancien et plus stable, sa part est relativement proche entre les différents types de données (Tabl. 1).

Tableau 1. Pourcentage de surface «minérale» d'après la BDTopo et les images SPOT

	Minéral BDTopo	Minéral Spot 1995	Minéral Spot 2000
Saint Barnabé	31	72	33
La Rose	25	79	94,7
Centre	72	96,1	97,4

3. Influence de la structure de la ville sur les températures de surface

La température de surface varie selon les propriétés thermiques des corps qui reçoivent un rayonnement, mais est aussi conditionnée par la structure de la canopée urbaine qui agit à la fois sur la rugosité (et les transferts turbulents) et sur le 'piégeage' du rayonnement. On peut donc s'attendre à des variations de température de surface selon le MOS et la morphologie des bâtiments. La différence principale apparaît entre les surfaces minérales (bâtiments, chaussée ...) et les surfaces végétales. Les mesures réalisées par la caméra infra rouge thermique aéroportée ont été réalisées sur un trajet allant de l'ouest du centre-ville vers SB (Fig. 1). La figure 2 montre la température moyenne et l'écart type mesurés sur ce transect. La température de surface de 33.7° au début du parcours augmente rapidement au-dessus du CV où elle varie entre 35° et 35.5°. Elle diminue ensuite sur SB où elle reste proche de 34°. Les écarts types présentent une évolution inverse. Le caractère densément bâti et de structure homogène du CV explique à la fois les fortes températures de surface et le faible écart type, tandis que la présence de végétation et la variabilité spatiale du mélange pavillons/jardins contribuent aux tendances inverses sur SB. La figure 3 présente des températures d'une imagerie du CV (17) et d'une imagerie SB (64). On remarque que la majorité des pixels de l'imagerie 17 ont une température de surface supérieure à 35° alors que pour l'imagerie 64, le maximum de pixel enregistre une température de seulement 32°. Cette différence entre les deux histogrammes de températures de surface confirme bien l'influence de l'occupation du sol et de la structure du quartier, évoquées ci-dessus.

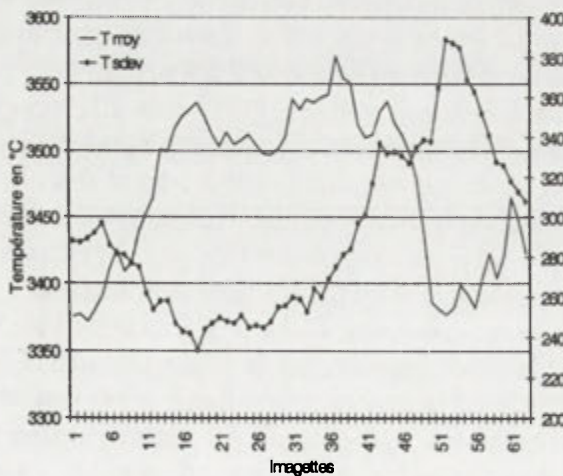


Fig. 2. Moyennes et écarts types des températures de brillance le long du trajet

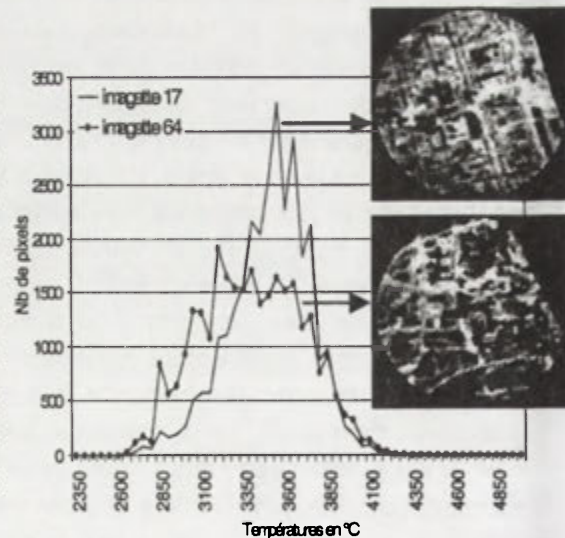


Fig. 3. Histogramme et imageries des températures de brillance (17 et 64)

Conclusion

L'étude des trois quartiers de Marseille a permis de mettre en évidence l'apport des données satellitales dans la détection de la végétation urbaine. Les surfaces végétalisées sont beaucoup plus importantes à partir des images satellitales que dans la BD-Topo. Ces surfaces varient en fonction de la date de prise de vue et des espèces végétales. Si la part de la végétation du centre dense et ancien varie peu entre les deux saisons, celle des quartiers desserrés, à végétation arborée, est beaucoup plus importante en début de l'été qu'au mois

d'avril. L'importance de ces surfaces végétalisées intervient, entre autre, dans la variation spatiale de la température de surface. Le centre dense à une température beaucoup plus élevée que les quartiers desserrés. Ce qui pourrait favoriser l'installation des écoulements de l'air entre le centre chaud et les quartiers desserrés environnants voir le développement de circulations plus complexes, (brises marines et brises de montagne).

Bibliographie

- CIANCO, R.M. et ELLEFSEN, R., 1998: High resolution urban morphology data for urban wind flow modeling. *Atmospheric Environment*, 32: 7-17.
- ELLIASSON, I., 1991: Urban Geometry, surface temperature and air temperature. *Energy and Buildings*, 15:141-145.
- LAGOUARDE, J.P. et BALLANS, H. et MOREAU, P. et GUYON, D. et CORABOEUF, D.: 2000: Experimental study of brightness surface temperature angular variations of Maritime Pine (*Pinus Pinaster*) stands. *Remote Sens. Environ.*, 72: 17-34.
- MARTI EZPELETA, A. et KERMADI, S., 2002: Apports des données géographiques et satellitales dans l'étude de la température dans la ville de Vigo, *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, Séville: 335-342.
- OKE, T.R., 1982: The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108: 1-24.
- OKE, T.R., 1987: *Boundary layer climates*, 2nd edition, Edition Methuen, London.
- THEURER, W., 1999: Typical building arrangement for urban air pollution modelling. *Atmospheric Environment*, 33: 4057-4066.
- VOOGT, J.A. et OKE, T., 1998: Effects of surface geometry on remotely-sensed surface temperature. *Int. J. Remote Sensing*, 19, b: 895-920.

VARIABILITE SPATIALE DU VENT AU PRINTEMPS DANS LE VIGNOLE MARNAIS

Malika MADELIN^{1,2}, Gérard BELTRANDO^{1,3}, François LANGELLIER⁴

¹ Université Paris VII, 2 place Jussieu, 75251 Paris Cedex 05

² UMR Géographie-cités – Equipe P.A.R.I.S., 13 rue de Four, 75006 Paris

³ UMR PRODIG – Equipe Dynamique des Milieux et des Risques (CC7001), 2 place Jussieu,
75251 Paris Cedex 05

⁴ Comité Interprofessionnel du Vin de Champagne (C.I.V.C.), 5 rue Henri-Martin, BP 135, 51204
Epernay Cedex, malika.madelin@parisgeo.cnrs.fr

Mots clés: topoclimatologie, vent, variabilité spatiale, vignoble de Champagne

Abstract: This article presents a study of the wind spatial variability. The studied area is the Marne vineyard, where a better knowledge of the wind field can allow an improvement of the frost risk forecast.

Introduction

Depuis plus de dix ans, un système opérationnel de prévision des gelées printanières est utilisé par le Centre Départemental de Météo-France de la Marne (Choisnel et al., 1993; Madelin et al., 2002)¹. Basé sur une analyse statistique d'écart thermique moyen, il fournit une estimation, à court terme, des températures en indice actinothermique² pour quatre stations du vignoble, à partir de la température minimale et des caractéristiques de la masse d'air (nébulosité et vent) prévues à Reims-Courcy pour la nuit. Dans l'initialisation de ce modèle, la direction et la vitesse du vent pris en compte sont relevées à 0 h U.T.C. à Reims-Courcy, station située au nord et hors du vignoble marnais. Dans cette étude, nous examinons la pertinence de l'utilisation de cette donnée ponctuelle (à une heure donnée et pour une station). Est-elle représentative pour la nuit et sur l'ensemble du vignoble marnais s'étendant sur plus de 40 km d'est en ouest et 60 km du nord au sud? Plus généralement, l'objet de cette communication est l'étude de la variabilité spatiale et temporelle du paramètre climatique vent.

Données et méthodes

A partir de 1992, le C.I.V.C. et Météo-France, en collaboration avec des climatologues de l'Université Paris VII, ont installé un réseau dense de stations météorologiques dans le vignoble champenois et à sa proche périphérie (Beltrando, 1998). Les postes sont situés à différentes hauteurs sur les coteaux viticoles, entre la plaine à 80 m et les plateaux à 200 m (Montagne de Reims). L'étude présentée ici repose sur neuf stations météorologiques mesurant la variable vent: mesures tri-horaires de direction et de vitesse du vent moyen pendant la nuit (21 h – 6 h) et pour huit printemps (du 15 mars au 31 mai, 1995-2002). Il existe une différence de hauteur des capteurs de mesure du vent entre les stations du CIVC (à 2 m du sol) et celle de Météo-France (ici Reims: à 10 m). Afin d'harmoniser les données, nous avons donc utilisé un facteur de correction de la vitesse du vent pour la station de Reims-Courcy.

La première étape du travail a eu pour objectif de caractériser le vent au printemps dans le vignoble marnais et notamment sa répartition spatiale, en calculant direction et vitesse moyennes pour l'ensemble des stations et pour chacune d'entre elles. Les données de directions étant angulaires, nous les avons transformées en vecteurs, pour obtenir la direction de la résultante

¹ Mumm Perrier-Jouët / O. BRUN ont lancé le projet en 1988.

² Thermomètres à l'air libre, à 10-50 cm du sol, assez proches de la température des bourgeons.

vectorielle des observations, la « direction moyenne ». Ensuite, la mesure des fréquences des directions de vent selon des classes de vitesse a permis d'affiner l'étude et de réaliser des roses des vents.

Dans une seconde étape, nous nous sommes intéressés à la pertinence de l'utilisation du vent de Reims-Courcy à 0 h dans l'initialisation du modèle de Météo-France Marne. Est-ce que cette donnée est représentative? Cette partie repose sur des études de relation entre la direction et la vitesse du vent à Reims et celles des autres stations (test du χ^2 après partition en huit grandes directions et une classe «vent nul»; relation linéaire sur les vitesses). Puis, afin d'évaluer la stabilité de la direction du vent au cours de la nuit, nous avons repris la méthode de Wisdorff et al. (1999), qui permet de définir un paramètre³ journalier variant de 0 (répartition des vents tous azimuts) à 100 (direction constante). Cette variable résulte du rapport entre le module de la résultante vectorielle des observations et la moyenne arithmétique des modules des observations.

Résultats

Sur la figure 1, la « direction moyenne » du vent pour l'ensemble des stations, c'est-à-dire la direction de la résultante vectorielle des directions, fait ressortir ce la dominante des flux d'ouest sur la région: le vent résultant est de 265°. La rose des vents précise que la direction sud-ouest est légèrement dominante pour l'ensemble des stations.

L'étude stationnelle du vent montre que ce paramètre climatique est très variable d'une station à une autre (Fig. 1). Par exemple, les roses des vents et la direction moyenne ne sont pas les mêmes pour Ay et Vertus. La première station est située en bas d'un coteau exposé sud, à l'extrémité orientale de la Vallée de la Marne. Elle enregistre principalement des vents de nord-ouest et de nord-est. A l'inverse, les directions prédominantes à Vertus sont nord et sud. Il apparaît que les flux s'organisent dans un axe nord-sud, le long du coteau de la Côte des Blancs. D'une manière générale, les roses des vents observées sur cette carte témoignent fortement de l'influence du relief (Montagne de Reims, Vallée de la Marne, Côte des Blancs). Et l'exemple des stations localisées dans les vallées (Oeuilly, Orbais, ...) reflète assez bien les flux canalisés dans des couloirs.

Le système de prévision du risque de gel (Météo-France Marne) repose sur une adaptation statistique réalisée au préalable: calcul d'écarts thermiques moyens selon la nébulosité et le vent à Reims. La variabilité spatiale du champ de vent observée précédemment pose la question de la représentativité de l'utilisation de la donnée vent à Reims à 0 h dans l'initialisation du modèle.

Même si les directions dominantes ne sont pas les mêmes d'une station à une autre, pour l'ensemble des dates, il existe des relations significatives entre les classes de vent (huit directions et une de vent nul) à Reims et celles des autres stations (χ^2 significatifs à moins de 0,1%). Les relations sont également très significatives pour les vitesses de vent (coefficients de corrélation significatifs à moins de 0,1%). Cependant, en observant des nuits particulières, il apparaît des configurations différentes entre les stations, ce qui peut expliquer une variabilité des températures minimales (Sarmir, 1995).

La stabilité de la direction du vent pendant la nuit est assez bonne: le paramètre *STAB* journalier moyen (cf. Note de bas de page 3) est de 84% et supérieur à 94,5% pour la moitié des nuits. Néanmoins, pour certaines dates, la donnée à 0 h n'était pas représentative de la nuit (31/03/97, 10/05/01).

³ Le calcul est le suivant: $STAB=100.FFR/FFM$, où *FFR* est le module de la résultante vectorielle des observations et *FFM* la moyenne arithmétique des modules des observations (Wisdorff et al., 1999).

Conclusion

L'analyse spatiale du vent dans le vignoble marnais met en évidence que des configurations spatiales différentes apparaissent entre les stations, liées à des effets locaux et en particulier à la topographie régionale. Dans l'ensemble, les données références dans le modèle de Météo-France (vent à Reims à 0 h) sont assez représentatives pour la nuit et pour l'ensemble des stations. Cependant, une analyse journalière plus détaillée fait ressortir de différences notables pour certaines dates. L'utilisation du modèle MESO-NH pour quelques matinées froides du printemps 2003 va nous permettre d'obtenir une information plus détaillée du champ de vent, ce qui pourra affiner la prévision de l'aléa gélif dans le vignoble marnais.

Références

- BELTRANDO, G., 1998: Températures minimales du printemps en Champagne viticole: Quelques résultats à partir d'un nouveau réseau de stations automatiques. *La Météorologie*, 8, 21: 30-44.
- CHOISNEL, E., JOURDAIN, S., CAMBLAN, M., KLIS-LILIENTHAL, I. et McVEIGH, J.P., 1993: Un système de prévision des gelées de printemps à échelle fine dans le vignoble champenois. *La Météorologie*, 8, 2: 8-18.
- MADÉLIN, M., BELTRANDO, G., CAMBLAN, M. et LANGELLIER, F., 2002: Amélioration de la prévision des gelées printanières dans le vignoble de la Marne en Champagne. *Hommes et Terres du Nord*, 1: 53-62.
- SARMIR, I., 1995: *Variabilité spatio-temporelle des températures minimales et dégâts du gel printanier dans le vignoble champenois*. Thèse de doctorat de l'Université Denis Diderot (Paris VII).
- VESSELLE, G., 1993: Incidence économique des gelées en viticulture. *Actes de séminaires de la Com. d'agrométéo de l'INRA « Le gel en agriculture »*: 45-50.
- WISDORFF, D., BEUCHER, F., SALVAYRE, L., THOUMIEUX, F. et DOUERIN, J.-P., 1999: Climatologie saisonnière de la Charente-Maritime par classes de direction de vent. *La Météorologie*, 8, 25: 29-37.

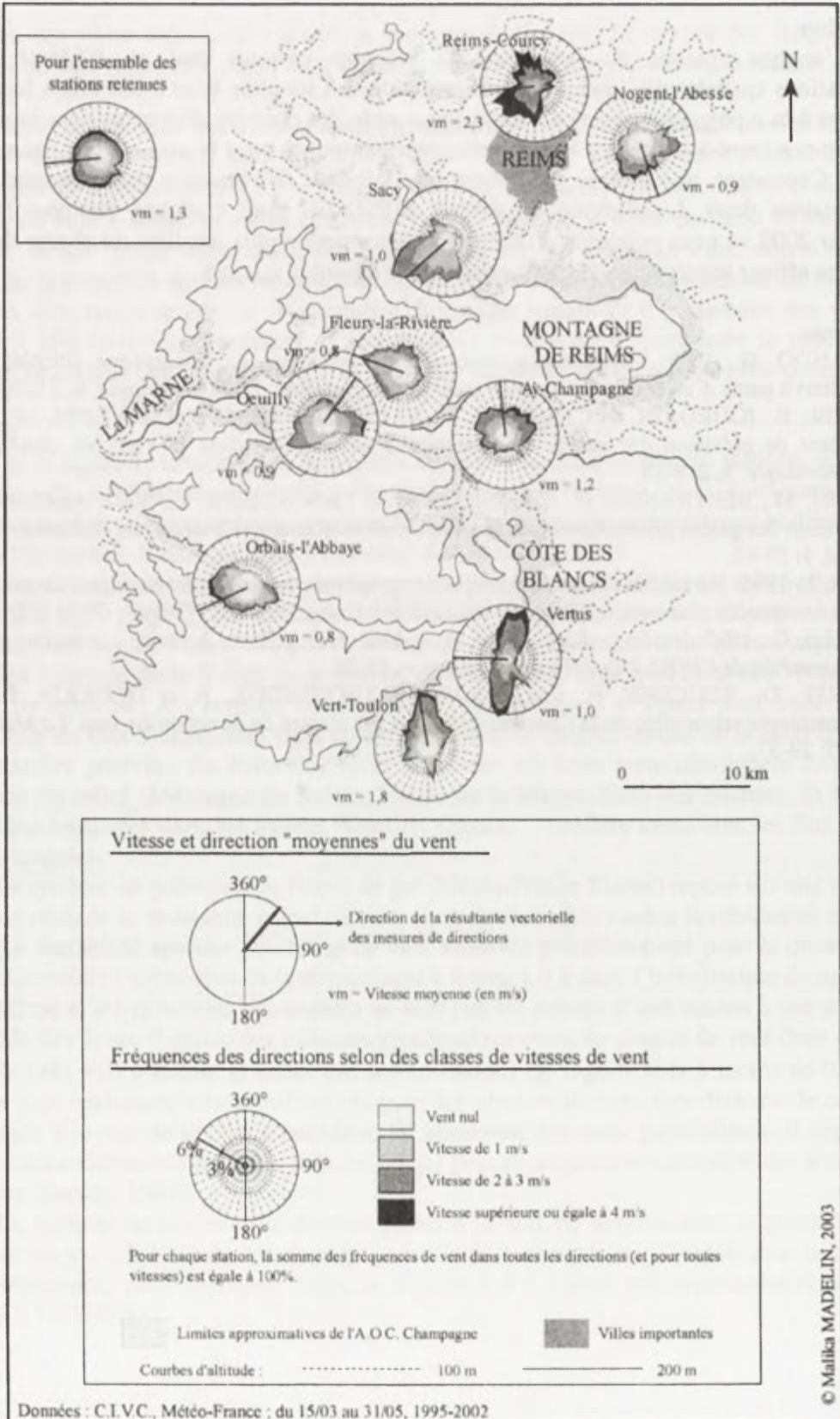


Fig. 1. Répartition spatiale des directions et des vitesses de vent nocturne (21 H, 0 H, 3 H et H) au printemps dans le vignoble marnais

ANALYSE DES MAXIMA D'ARIDITE POUR DES PERIODES PREDETERMINEES DANS L'OLTREPO DE PAVIE ET DE PLAISANCE (1951 – 1991)

Irene MAGGI, Claudia MEISINA, Claudia OTTONE, Alessandra VENTRICE
Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Pavia, Via Ferrata, 1, 27100 PAVIA
(Italie) cottone@manhattan.unipv.it, Cmeisina@manhattan.unipv.it

Mots-clés: précipitations, maxima d'aridité, Italie septentrionale, Apennins de Pavie et de Plaisance, retrait-gonflement des terrains argileux

Abstract: It is highlighted that the 1980-1991 period has been characterized from conditions of diffuse aridity, with presence of minimums both in summer and in autumn; condition, the last, of absolute exceptionality.

Introduction

Le retrait-gonflement est une spécificité des terrains argileux, c'est-à-dire des terrains constitués par plus de 30 % de particules ayant des dimensions inférieures à 2 μ m. L'absorption d'eau due à des causes naturelles (précipitations, remontée de la nappe phréatique, etc.) ou artificielles (irrigation, ruptures de conduites) provoque une augmentation de volume ; en revanche, son enlèvement en cause une diminution (retrait) (Mouroux et al., 1988). Les variations de volume sont à l'origine d'affaissements et/ou de soulèvements du terrain qui endommagent les routes, les life-lines et, surtout, les édifices, tout particulièrement ceux dont les fondations se trouvent dans la zone active (zone dans laquelle les conditions climatiques ont des répercussions sur le contenu en eau).

L'Oltrepo de Pavie et de Plaisance se distingue par de nombreuses unités litostratigraphiques à dominante argileuse (Braga et al, 1985), ainsi que par des dépôts alluviaux et des loess colluvionnés caractérisés par un potentiel de retrait-gonflement important, voire très important. L'apparition cyclique du phénomène – dans l'aire étudiée -, a partir de 1980, est également documentée par la signalisation récurrente de dommages occasionnés à de nombreuses constructions et par les demandes de financement adressées aux Bureaux Régionaux et destinées à des interventions de remise en état. D'une façon générale, on a pu remarquer une concentration particulière des dégradations durant la période 1989-1992 (Meisina, 2003).

Le retrait-gonflement des terrains argileux était, jusqu'à il y a peu de temps, principalement le fait des pays au climat aride, caractérisés par des périodes sèches suivies de fortes précipitations. Dernièrement, ce phénomène a été remarqué dans les pays au climat plus tempéré comme le nôtre, où les variations de volume du terrain sont liées aux variations climatiques saisonnières. Dans le cas de périodes de sécheresse exceptionnelles suivies de périodes de précipitations intenses, les effets du phénomène sont accrus. Le facteur déclencheur le plus important, aux latitudes tempérées, est donc constitué par des événements météorologiques exceptionnels, tels que des sécheresses prolongées. Dans nos climats tempérés, les sols se trouvent dans des conditions de saturation ou de quasi-saturation. Par conséquent, les variations de volume qui se produisent sont surtout représentées par le retrait. Celui-ci est dû à la dessiccation du sol, suite à des périodes de sécheresse. La profondeur du terrain affectée par les variations saisonnières de teneur en eau (*zone active*) ne dépasse guère 1 à 2 m sous nos climats tempérés, mais peut atteindre 3 à 5 m lors d'une sécheresse exceptionnelle ou dans un environnement défavorable (végétation proche).

La gravité du retrait/gonflement du terrain, mise en évidence par ses conséquences économiques (dans les Apennins de Pavie, le coût de remise en état des édifices endommagés a eu une incidence – pouvant être estimée entre 15 et 25 % – sur la valeur commerciale des bâtiments), rend nécessaire l'adoption de méthodes d'étude et de prévention, avec une attention toute particulière pour le repérage et la caractérisation des épisodes de sécheresse.

Cet article entend offrir sa propre contribution à l'étude de l'aridité, dans le but de déterminer d'éventuelles situations exceptionnelles caractéristiques de la période 80-91.

Méthode et Résultats

L'analyse a été effectuée à partir des données quotidiennes de pluies enregistrées par 14 stations distribuées de façon homogène sur le territoire en question (Fig. 1), disposant de séries continues de 1951 à 1991, publiées par le Service Hydrographique Italien.

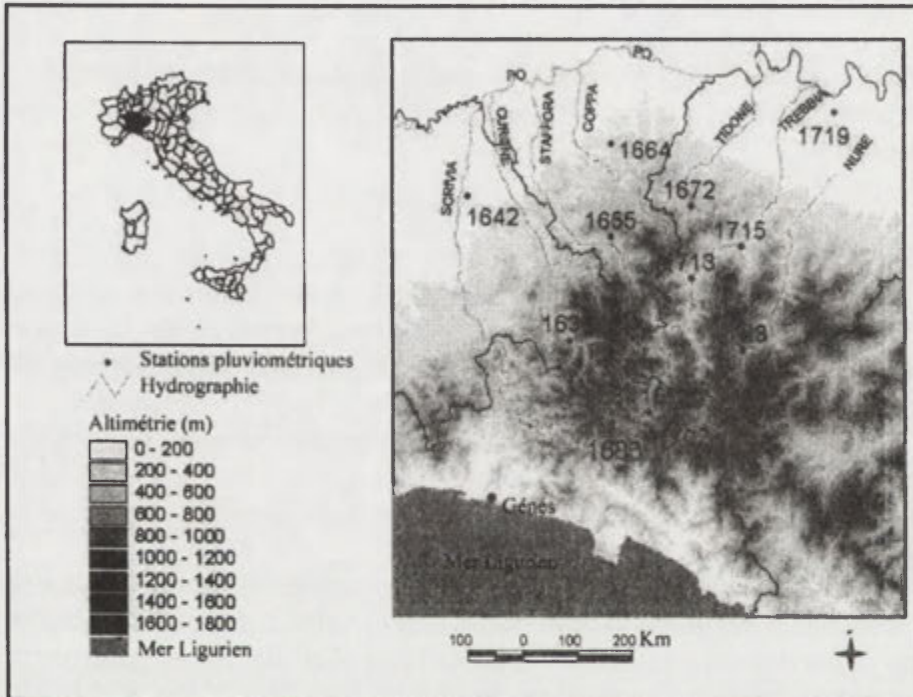


Fig. 1. Zone étudiée et localisation des stations utilisées: les numéros de code sont repris par la numérotation progressive utilisée par le Service Hydrographique Italien

On a en premier lieu déterminé les totaux annuels de précipitation et, au sein de chaque année, les totaux de pluies cumulés en 30, 60, 180 jours. Ceci a permis d'identifier, pour chacune des durées prédéfinies, les années caractérisées par des maxima absolus de sécheresse. Prenant en considération les 5 premiers cas "critiques" reportés dans le tableau 1, on peut remarquer une répétition assez généralisée des années 80-91; dans le même temps, on observe aussi la présence de minima durant la période 50-60, pour laquelle aucune signalisation de dommage aux édifices n'est connue. On a alors, pour chacune des durées prévues, déterminé la moyenne générale 51/91, la moyenne relative aux années sèches uniquement (avec des valeurs inférieures à la moyenne générale - 10 %), la moyenne 80/91 et la moyenne des années sèches 80/91 uniquement. Leur comparaison (Tabl. 2), qui ne met en évidence aucun écart pouvant justifier le caractère exceptionnel des années 90, suggère d'effectuer une enquête sur la distribution saisonnière des minima de pluie qui pourraient s'être présentés durant cette période dans des conditions thermiques en mesure de provoquer de fortes évapo-transpirations.

1634 - Cabella Ligure			
30 j	60 j	180 j	365 j
1953	1953	1955	1952
1954	1955	1969	1955
1955	1969	1953	1969
1956	1984	1958	1954
1958	1988	1991	1991

1691 - Loco Crachelli			
30 j	60 j	180 j	365 j
1968	1953	1983	1955
1971	1979	1976	1991
1974	1962	1978	1983
1978	1957	1962	1986
1981	1972	1955	1990

1642 - Tortona			
30 j	60 j	180 j	365 j
1952	1984	1955	1989
1953	1953	1971	1955
1955	1952	1983	1952
1957	1971	1991	1967
1958	1958	1976	1953

1702 - Cabanne			
30 j	60 j	180 j	365 j
1955	1962	1962	1990
1960	1961	1988	1991
1961	1981	1989	1983
1962	1991	1976	1978
1964	1988	1991	1988

1655 - Varzi			
30 j	60 j	180 j	365 j
1958	1959	1958	1986
1959	1973	1959	1991
1962	1986	1976	1956
1964	1984	1956	1989
1973	1990	1986	1967

1707 - Boschi d'Aveto			
30 j	60 j	180 j	365 j
1956	1953	1983	1983
1974	1984	1985	1955
1978	1971	1970	1991
1981	1985	1953	1985
1982	1981	1962	1967

1664 - Montalto Pavese			
30 j	60 j	180 j	365 j
1953	1962	1983	1952
1955	1971	1971	1967
1959	1953	1952	1991
1960	1981	1976	1989
1961	1988	1986	1983

1713 - Bobbio			
30 j	60 j	180 j	365 j
1978	1981	1955	1955
1979	1984	1952	1952
1981	1959	1983	1983
1982	1988	1985	1985
1985	1955	1976	1967

1672 - Pecorara			
30 j	60 j	180 j	365 j
1951	1962	1986	1952
1953	1951	1991	1967
1955	1988	1985	1991
1956	1991	1955	1985
1959	1953	1971	1989

1715 - Perino			
30 j	60 j	180 j	365 j
1953	1962	1952	1959
1955	1981	1955	1952
1956	1984	1971	1991
1957	1958	1986	1955
1958	1959	1985	1967

1684 - Giardino Rondanina			
30 j	60 j	180 j	365 j
1958	1953	1953	1973
1964	1979	1962	1983
1969	1962	1983	1986
1972	1957	1955	1955
1973	1972	1989	1991

1719 - S.Lazzaro Alberoni			
30 j	60 j	180 j	365 j
1955	1984	1952	1952
1953	1981	1971	1991
1961	1953	1962	1989
1962	1959	1964	1981
1974	1955	1988	1956

1686 - Diga del Brugnato			
30 j	60 j	180 j	365 j
1964	1961	1985	1973
1971	1984	1983	1983
1974	1979	1971	1985
1978	1981	1989	1980
1982	1971	1976	1967

1723 - Ferriere			
30 j	60 j	180 j	365 j
1953	1984	1985	1967
1973	1981	1962	1955
1978	1955	1976	1953
1981	1953	1981	1954
1982	1962	1967	1991

Tableau 1. Années durant lesquelles se sont présentés les 5 premiers cas minimum pour des pluies cumulées en 30, 60, 180 et 365 jours

À partir, donc, des minima annuels pour les durées cumulées de 30 et 60 jours, on a déterminé (Tabl. 3) les caractères saisonniers (en prenant en considération la saison la plus concernée par la période) prédominants des années sèches – aussi bien de toute la période que de l'intervalle 81-90. Leur examen comparé montre à quel point, par rapport à ce dernier, les conditions de sécheresse estivale de 60 jours consécutifs ont été renforcées par la sécheresse principalement automnale des 30 jours.

Conclusions

L'analyse des maxima de sécheresse, financée avec des fonds F.A.R. – dont le responsable est le Pr. P. Boni -, visant à étoffer le tableau des informations (Maggi I. et Ottone C., 2002 – Maggi I. et Ottone C., 2003) mis en place par ces mêmes auteurs pour servir de support à des usages applicatifs, a permis d'identifier les années 80/91 comme étant celles caractérisées par de faibles totaux annuels de

précipitation, avec des minima absolus de pluies concentrées durant la période estivale (60 jours consécutifs) et automnale (30 jours). Ceci pourrait justifier la concentration particulière des édifices endommagés au cours de la période d'observation, mais apparaît en discordance tant avec ce qui s'est produit durant les années de "sécheresse" de 1950 à 1960 qu'avec le régime pluviométrique de la zone, caractérisée par de fortes pluies automnales.

Tableau 2. Moyennes calculées sur les totaux annuels et sur les minima de pluies cumulées en 30, 60, 180 et 365 jours, relatives à toute la période d'observation (m. 51/91), aux années 80/91 (m. 80/91), sur toutes les années "sèches" (m.s. 51/91, sur les années "sèches" de la période 80/91 (m.s. 80/91).

Valeurs exprimées en mm

365 j	1634	1642	1655	1664	1672	1684	1686	1691	1702	1707	1713	1715	1719	1723
m. 80-91	1082,2	687,0	694,6	749,1	793,7	1496,3	1633,5	1322,7	1761,5	1203,3	860,7	770,8	728,1	979,1
m. 51-91	1165,7	728,2	793,9	826,9	937,5	1775,2	1833,2	1581,8	2062,0	1374,9	935,6	870,6	817,1	1109,0
m.s. 80-91	892,3	575,0	588,2	653,3	727,8	1351,6	1478,6	1216,0	1541,9	1079,0	742,7	688,9	604,8	904,1
m.s. 51-91	851,2	584,6	599,7	653,7	712,1	1392,9	1457,7	1242,0	1579,3	1108,1	743,2	653,9	615,4	881,7
180 j	1634	1642	1655	1664	1672	1684	1686	1691	1702	1707	1713	1715	1719	1723
m. 80-91	323,1	209,9	247,6	248,6	268,4	470,9	479,9	395,4	459,1	372,2	296,3	261,6	250,5	307,6
m. 51-91	341,6	217,0	265,4	263,4	315,6	511,9	514,5	456,6	547,2	431,0	303,7	297,6	272,5	356,3
m.s. 80-91	260,0	159,0	189,0	204,6	213,5	361,0	378,1	349,2	390,4	323,6	231,4	215,6	217,2	279,5
m.s. 51-91	239,1	154,7	180,9	200,4	356,0	368,7	384,0	345,5	414,7	329,4	223,7	219,4	210,6	287,7
60	1634	1642	1655	1664	1672	1684	1686	1691	1702	1707	1713	1715	1719	1723
m. 80-91	29,9	20,3	23,0	28,0	33,4	54,5	59,7	42,6	47,5	47,7	36,9	30,2	22,0	31,7
m. 51-91	40,3	25,5	31,2	32,3	36,0	63,9	65,2	57,2	71,6	60,2	40,1	38,2	32,2	46,8
m.s. 80-91	19,8	8,0	12,9	19,9	20,8	38,2	41,7	27,1	33,3	24,9	17,0	14,1	16,0	21,9
m.s. 51-91	17,3	8,7	14,1	17,7	19,9	37,2	39,6	34,2	40,1	34,2	19,9	17,9	16,4	26,7
30 j	1634	1642	1655	1664	1672	1684	1686	1691	1702	1707	1713	1715	1719	1723
m. 80-91	1,0	0,5	0,9	0,7	0,8	5,3	4,1	2,2	3,7	2,2	1,2	0,9	0,9	1,1
m. 51-91	2,5	1,3	2,4	2,4	1,8	6,8	5,8	5,6	6,2	6,3	4,1	3,0	2,8	4,8
m.s. 80-91	0,4	0,2	0,2	0,5	0,4	1,8	1,1	0,6	1,5	0,7	0,5	0,5	0,6	0,5
m.s. 51-91	0,2	0,1	0,4	0,4	0,4	1,5	1,3	1,2	1,3	1,0	1,3	0,4	0,7	0,9

Tableau 3. Caractère saisonnier prédominant des minima de pluie pour 30 et 60 jours: comparaison entre la période 51/91 et 80/91. (e= estival, a = automnal, h = d'hiver)

Stations	1634	1642	1655	1664	1672	1684	1686	1691	1702	1707	1713	1715	1719	1723
51/91	30 j	e	e	e	a	e	e	e	e	e	a	e,a	e,a,h	a
	60 j	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e,h	e
80/91	30 j	e	e	a	a	e	e,a	a	a	a	a	a,h	e	a
	60 j	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e

Bibliographie

- BRAGA, G. et al, 1985: I fenomeni franosi nell'Oltrepo Pavese tipologia e cause. *Geologia Applicata e Idrogeologia*, 20: 621-666.
- MAGGI, I. et OTTONE, C., 2003: Spatial – temporal precipitation analysis in the area between Scrvia T. and Nure T. (Northern Italy), *Quaternary International*, 101-102 (2003): 149-156.
- MAGGI I. et OTTONE C., 2002: Evénements pluviométriques critiques et graves éboulements: l'exemple de l'Oltrepo de Pavie et de Plaisance, *Publications de l'A. I. C.*, 14: 228-235.
- MEISINA, C., 2003: *Studio del fenomeno di ritiro-rigonfiamento dei terreni argillosi a supporto degli strumenti urbanistici*. 1° Convegno Nazionale AIGA, 519-530, Chieti.
- MOUROUX, P., MARGOM, P. et PINTE, J.C., 1988: *La construction économique sur sols gonflant*. Bureau de Recherches Géologiques et Minières – Manuels et méthodes, 14, Orléans.
- SERVIZIO IDROGRAFICO, Ministero LL. PP., Ufficio Idrografico del Po, Parma *Annali Idrologici*, Parte I, vol. 1951 – 1991.

LES DEPOTS DE GLACE DANS LES MONTAGNES DE BIHOR ET DE VLADEASA ET LEUR INFLUENCE SUR L'ENVIRONNEMENT

Gheorghe MĂHĂRA, Ovidiu GACEU
Faculté d'Histoire et de Géographie
Université d'Oradea
5, rue Armatei Române, Oradea, Roumanie
mahara@uoradea.ro gaceu@yahoo.com

Mots clés: dépôt de glace, influence négative, l'environnement, dates d'observation météorologiques, sommet, Monts de Bihor – Vlădeasa.

Abstract: The paper presents the ice deposits if the Bihor – Vlădeasa Mountains in terms of their frequency and the probability of this phenomenon's production. There are also care studies concerning the consequences of these deposits on the air conductors and the forest vegetation.

Approche introductive

Les formes différentes de glace qui se déposent sur le sol ou sur les conducteurs aériens/ de surface influencent négativement, évidemment, l'environnement et les activités économiques. À titre d'exemple, le verglas qui pose des difficultés concernant le transport terrestre (les routes et les voies ferrées), produit des dégâts aux paturâges, en agriculture, en sylviculture, en arboriculture.

La glace déposée sur les conducteurs aériens ou de surface, sur les pilons et sur les isolants imprime un surplus de poids qui engendre des vibrations, des torsions, des paramètres modifiant le passage du courant électrique. Tous ces types de déformations produisent sans doute la rupture des conducteurs.

La méthode de la recherche

La méthode que nous avons choisie, retrouvée aussi dans la littérature de spécialité, consiste à définir le terme de dépôt de glace, à présenter les causes intrinsèques et les traits caractéristiques, leur influence sur l'environnement y comprise.

Nous avons défini et identifié les causes de ces dépôts à partir des dates d'observation retrouvées dans le livre de Bălescu, 1962, Neagu et Popa, 1976, Bogdan et Niculescu, 1999; les paramètres qui caractérisent les dépôts de glace poursuivent les dates d'observation météorologique à partir de l'année 1961 jusqu'en 2000, dates fournies par onze stations météorologiques situées aux altitudes différentes, tout en haut des montagnes, tout comme en bas, à leurs périphéries Vlădeasa Vârf, Vlădeasa Cabană, Stâna de Vale, Bistra-Câmpeni, Băișoara, Huedin, Borod, Holod, Ștei, Gurahonț și Turda.

Voilà les paramètres en question:

- la date moyenne du premier et du dernier dépôt de glace
- l'intervalle moyen annuel favorable à la formation des dépôts de glace
- la date extrême du premier et du dernier dépôt de glace
- le nombre moyen et maximal des jours par an et par mois
- la période maximale d'un dépôt
- son diamètre maximal.

Les résultats de la recherche

En prenant en considération le relief terrassé des régions en discussion (les monts de Vlădeasa et de Bihor) et leur fonction de barrage orographique, les causes des dépôts de glace et les influences extérieures et locales du climat sont caractérisées des répartitions temporelles et spatiales inégales.

Dans les régions situées en bas des montagnes le premier dépôt de glace se forme pendant la seconde quinzaine (prise pour date moyenne) du mois de novembre (entre le 19 et le 21 nov. à Huédin, Borod, Turda, ou pendant la première quinzaine du mois de décembre (à partir de 5 jusqu'au 17 décembre à Holod, Ştei, Gurahonţ).

Au fur et à mesure que l'altitude croît les premiers dépôts de glace se formeent pendant la première moitié du mois de novembre (prise pour date moyenne, environ 6 novembre à Băișoara). Aux sommets les dépôts se produisent en mois d'octobre (la première décade, entre 8 et 10 octobre à Vlădeasa Vârf et à Vlădeasa Cabană).

Le dernier dépôt se forme pendant la première moitié du mois de février pour la plupart des zones situées à l'ouest des montagnes de Bihor et de Vlădeasa (entre 8 et 11 février à Huedin, Borod, Holod, Ştei) et la date monte temporellement vers le 14 avril pour la région de Bistra – Câmpeni, jusqu'au 5 juin même pour le cimes (Vlădeasa Vârf). L'intervalle moyen annuel favorable aux dépôts de glace varie entre 60 et 80 jours dans les zones basses des monts de Bihor et de Vlădeasa; aux altitudes moyennes, entre 120-150 jours par an; aux sommet l'intervalle moyen atteint même 240 jours par an.

La date extrême du première et du dernier dépôt de glace s'installe plus tôt ou plus tard de 3 jusqu'aux 4 semaines vis-à-vis de la date considérée moyenne.

Le nombre moyen des jours par an ou par mois, varie selon la répartition altitudinale. Les jours avec du verglas (le nombre moyen des jour avec du verglas par mois se situe entre 0,1 et 0,6 dans les régions basses (d'en bas) et il va croissant vers 1 – 1,7 aux cimes. Son correspondant annuel croît de 0,5 ou de 1,5 jours (par an) dans les régions périphériques, à 8 jours aux sommets (Vlădeasa Vârf).

Le nombre maximal des jours avec du verglas/par mois varie entre 6 jours (pour les altitudes basses) et 29 jours au sommet de Vlădeasa.

Le nombre maximal des jours avec du verglas/par an enrégistre une oscillation entre 3 et 6 jours dans les périphéries des montagnes, jusqu'à 52 jours aux cimes (Vlădeasa Vârf).

Conclusions:

Les dépôts de glace varient selon la repartition altitudinale.

Les régions les plus affectées (endommagées) sont les cimes où les conditions défavorable (l'humidité élevée de l'air, le brouillard dense et persistent, les températures basses, la nébulosité accentuée, les vents humides d'ouest et de nord – ouest à grande vitesse qui atteignent 10 m/s) les maintiennent pour longtemps.

Leurs proportions qui sont impressionantes et leurs poids se trouvent à la base des ruptures des câbles électriques, téléphoniques, des branches d'arbres.

Bibliographie

- BALESCU, I. O., 1956: Depunerile de gheață. *Revista Transp.*, III, 1, București.
- BALESCU, I. O., 1957: Depunerile de gheață. *Meteorologia și hidrologia*, II, 4, București.
- BALESCU, I. O., 1962: *Condițiile sinoptice care favorizează depunerile de gheață în R.P.R.* M.H.G.A., VII, 4, București: 250-254.
- BALESCU, I. O., 1962: *Depunerile de gheață pe conductorii aeriene*. M.H.G.A., București: 108-122.
- BERINDEI, O. I., MĂHĂRA, GH., POP, I., POSEA, A., 1977: *Câmpia Crișurilor, Crișul Repede, Țara Beiușului*. Editura Științifică și Enciclopedică, București.
- BOGDAN, O., ILIESCU, M., 1971: *Condițiile climatice din masivele Bihor-Vlădeasa și Gilău în sprijinul desfășurării activităților turistice*. Lucrările celui de al II-lea Colocviu Național de Geografie Turistică, Institutul de Geografie, București: 119-129.
- BOGDAN, O., NICULESCU, E., 1999: *Riscurile climatice din România*. Sega International, București.
- NEAGU, E., POPA, A., 1976: Depunerile de gheață pe conductorii aeriene, în intervalul 1 iulie 1972 – 30 iunie 1973 pe teritoriul României. *Studii și Cercetări*, 1/2, Meteorologie, I.M.H., București: 585-597.

VARIABILITE ET TENDANCES DU NOMBRE MAXIMAL DES SEQUENCES SECHES ET HUMIDES EN GRECE DURANT LA PERIODE 1958-2000

Panagiotis MAHERAS *, Christina ANAGNOSTOPOULOU *, Konstantia TOLIKA *
Margaritis VAFIADIS **

* Département de Météorologie et de Climatologie, Université de Thessaloniki, Grèce

** Division d'Hydraulique, Faculté de Technologie, Université de Thessaloniki, Grèce

Mots clés: séquences sèches, séquences humides, tendances, Grèce

Abstract: The data set of this study is composed by daily precipitation values from 22 stations uniformly distributed within the Greek region; the time series extend from 1958-2000. The objective is to calculate and to analyze the maximum number of dry and wet spells as well as the observed trends of these maximum spells. The significance of the trends has been verified by the Spearman correlation coefficient with a level of significance $\alpha = 0.05$.

Introduction

Les analyses modernes, de la sécheresse ou de la pluviosité, qui utilisent le jour comme unité de temps, ont pour objectif fondamental le calcul de l'apparition d'une séquence d'un certain nombre de jours successifs sans ou avec précipitations. On se trouve alors en présence de séquences sèches (Anagnostopoulou et al., 2003) et de séquences humides (Tolika, Maheras, 2003) dont le calcul des fréquences de durée différente ainsi que le calcul de durée maximale de ces séquences sur une longue période, permettent de préciser la structure de la sécheresse ou de la pluviosité en fournissant des données utiles à la prévision et à la planification de diverses activités concernant la régulation et la fourniture de l'eau.

Dans cette étude, on fait le calcul des séquences sèches et humides maximales à l'échelle saisonnière et annuelle et on a ensuite calculé et cartographié les tendances des chiffres obtenus.

Données et Méthodes

On utilise les données journalières des précipitations de 22 stations helléniques distribuées de façon uniforme sur le territoire pendant une période de 43 ans (1958-2000). On calcule pour toutes les stations les longueurs des séquences sèches (seuil ≤ 1 mm) et des séquences humides (seuil ≥ 1 mm) à l'échelle annuelle et saisonnière. On a ensuite évalué les séquences sèches et humides de durée maximale par année en calculant les tendances et en cartographiant les chiffres obtenus. La signification statistique des tendances a été faite en appliquant le test de Spearman.

Résultats

Distribution géographique des séquences sèches de durée maximale

D'après la figure 1.1, on constate que des périodes de trente jours consécutifs sans aucun enregistrement de pluie sont fréquentes même en hiver, la durée maximale à échelle annuelle varie entre 100 jours au nord et 200 jours au sud. De même en règle générale, tant à l'échelle saisonnière (excepté l'été) qu'à l'échelle annuelle, le minimum de durée apparaît toujours à l'ouest et le maximum soit au sud ou à l'est soit au nord (hiver). Au contraire, en été, le minimum de durée maximale apparaît au nord et le maximum au sud-ouest.

Distribution géographique des séquences humides de durée maximale

Evidemment, les séquences humides sont nettement plus courtes en comparaison avec les séquences sèches, même en hiver, la durée maximale varie entre 8 et 15 jours (Fig. 1.2).

(1)

(2)

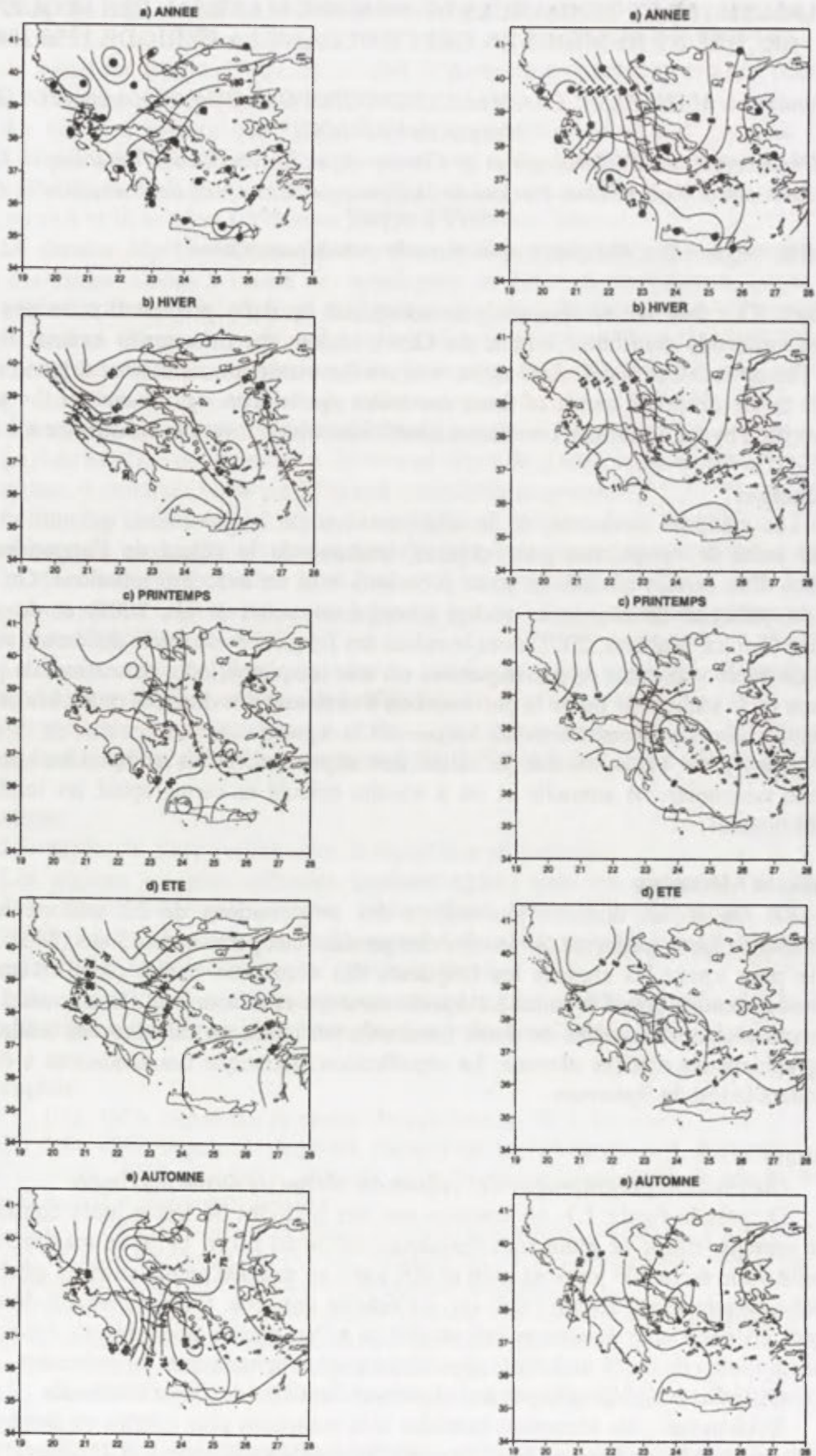


Fig. 1. Distribution géographique du nombre maximal des séquences sèches (à gauche) et des séquences humides (à droite), période 1958-2000

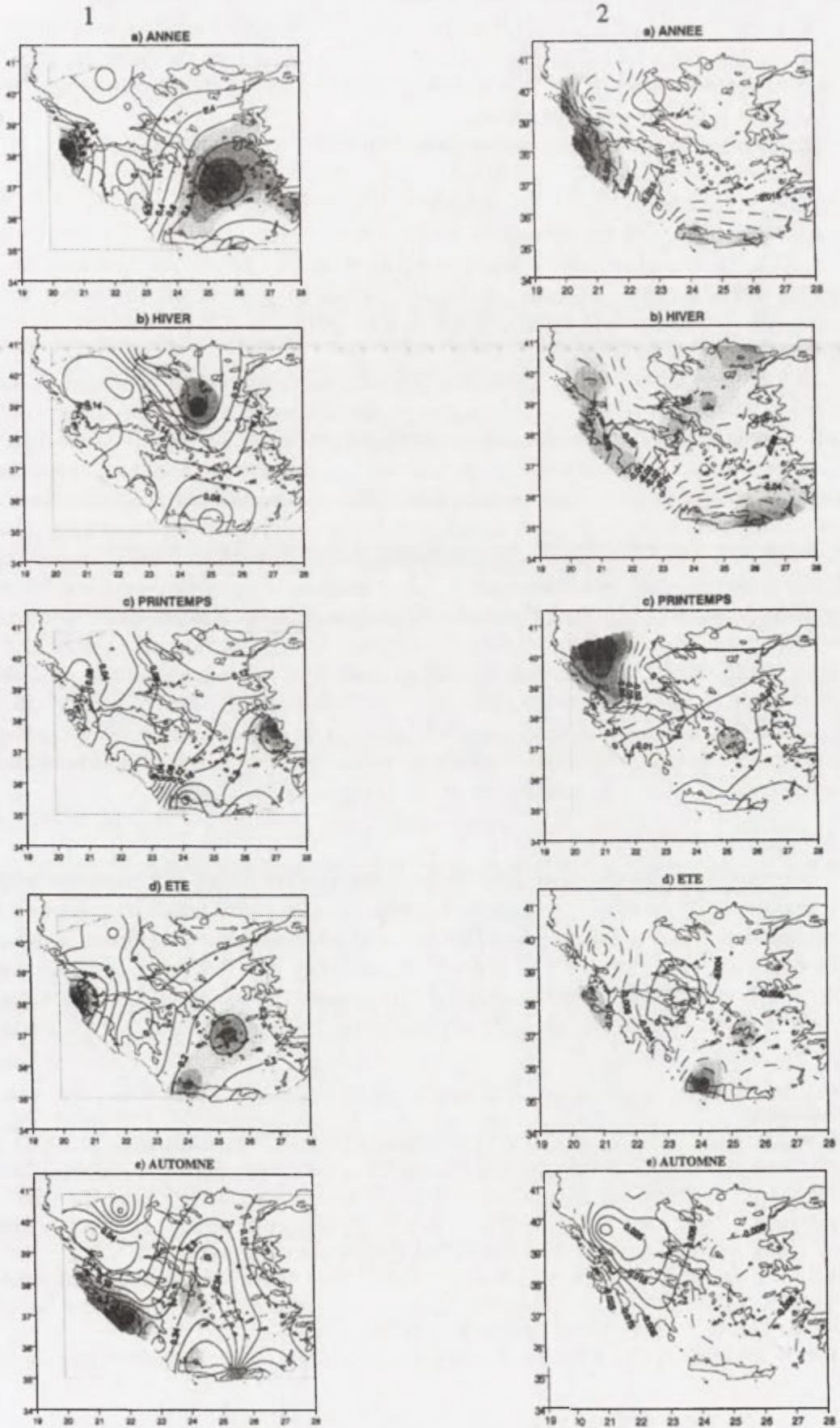


Fig. 2. Tendances des séquences sèches (humides) maximales en Grèce à gauche (à droite), période 1958-2000. Les tendances positives (négatives) significatives au seuil de 0.05 figurent en gris foncé

Comme l'on pouvait s'y attendre, le maximum de durée des séquences humides tant pour l'année que pour les saisons, apparaît à l'ouest, le minimum de durée est observé soit dans la mer Egée septentrionale (année, hiver) soit dans les Cyclades (printemps, été), soit enfin dans la mer Egée centrale (automne).

Les tendances du nombre maximal des séquences sèches et humides

D'après la figure 2.1, on constate qu'à l'échelle annuelle, les séquences sèches maximales présentent en Grèce des tendances positives significatives au seuil 0.05, dans plusieurs stations maritimes et insulaires des deux mers Ionienne et Egée. Ce sont les stations des Cyclades qui connaissent les tendances positives les plus fortes. Au contraire, les durées maximales des séquences humides (Fig. 2.2) connaissent partout en Grèce des tendances négatives. Ces tendances sont significatives au seuil 0.05 uniquement dans les stations de la mer Ionienne ainsi qu'en Crète.

A l'échelle saisonnière, les résultats apparaissent relativement différents. C'est ainsi qu'en hiver les tendances des séquences sèches maximales sont partout positives (Fig. 2.1) mais elles apparaissent significatives uniquement dans la station de Skyros située dans la mer Egée septentrionale. Au contraire, les tendances des séquences humides maximales sont partout négatives (Fig. 2.2). Presque la moitié des stations étudiées et situées dans la mer Ionienne et en Crète présentent des résultats significatifs. Au printemps, ce sont les stations de la Crète qui présentent des résultats significatifs pour les séquences sèches; au contraire, les séquences humides maximales connaissent des tendances significatives dans les stations situées au NW de la Grèce. En été, on trouve presque partout dans les stations insulaires et côtières des tendances positives (excepté les côtes septentrionales de la mer Egée) des séquences maximales sèches. Enfin, en automne, on trouve presque partout en Grèce des tendances positives des séquences maximales sèches, significatives dans plusieurs stations. En ce qui concerne les séquences humides maximales, on trouve dans les stations continentales des tendances positives et au contraire des tendances négatives dans les stations maritimes et insulaires. Aucune station ne présente des résultats significatifs.

Conclusions

Les résultats obtenus dans cette étude, à savoir: tendances positives des séquences sèches maximales et tendances négatives des séquences humides maximales sont en accord avec la tendance à la baisse significative des précipitations en Grèce (Maheras et Anagnostopoulou, 2003) durant la période étudiée. On peut attribuer les causes de ces tendances à l'importance exceptionnelle de l'amplitude des anomalies de hautes pressions ainsi qu'à la persistance remarquable de ces anomalies au-dessus de la Grèce (Maheras et al., 2000).

Bibliographie

- ANAGNOSTOPOULOU, Chr., MAHERAS, P., KARACOSTAS, Th., VAFIADIS, M., 2003: Spatial and Temporal Analysis of Dry Spells in Greece. *Theoretical and Applied Climatology*, 74: 77-91.
- MAHERAS, P., PATRIKAS, I., KARACOSTAS, Th. et ANAGNOSTOPOULOU, Chr., 2000: Automatic Classification of circulation types in Greece: methodology description, frequency, variability and trend analysis, *Theoretical and Applied Climatology*, 67: 205-223.
- MAHERAS, P., et ANAGNOSTOPOULOU, Chr., 2003: Circulation Types and their Influence on the Interannual variability and precipitation changes in Greece, *Mediterranean Climate-Variability and Trends*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 215-239.
- TOLIKA, K., MAHERAS, P., 2002: On the study of wet spells in Greece, submitted for publication.

VARIABILITE CLIMATIQUE ET DEPOSITIONS ATMOSPHERIQUES COURANTES D'AÇÔES ANTROPIQUES DANS L'AMAZONIE, MATO-GROSSO /BRESIL/

Gilda Tomasini MAITELLI, Wilson Salvador NETO***

**Departamento de Geografia/Universidade Federal de Mato Grosso/Brasil*

***Departamento de Física/Universidade Federal de Mato Grosso/Brasil*

maitelli@terra.com.br

Mots clés: le climat, a brûlé, acidité atmosphérique, transport de polluant

Abstract: The objective of this work is to show variations of the air temperature, relative humidity and rains distribution in the north of Mato Grosso /Brazil and to compare the results with burned centers used in these area the human activity used to he/she prepares the soil it goes the agriculture. These results are preliminary and they will be associated with the air pollution in the area.

Introduction

Dans l'État de Mato Grosso, a localisé dans le centre de région de Brésil à l'ouest, les déboisements ont associé à l'a brûlé des ceux, ils ont été intensifiés dans les années dernières, surtout dans la region amazonienne où la grande partie de la végétation a été substituée par entraînements agricoles de soja, coton, maïs, riz et pâturages. Ces activités modifient les interactions entre les caractéristiques climatiques et la composition chimique de l'atmosphère qui produit une variabilité climatique originaire par des actions antrópiques. Les impacts de l'environnement si ils font sentir dans les processus érosifs du sol, dans les formes du soulagement, dans l'hídricos des ressources et dans le comportement du système climatique. Comme courant effets plus spécifiques dans le climat, nous pouvons mentionner: les modifications dans la temperature, humidité relative de l'air et dans la distribution de la precipitation.

Il brûle de biomasse c'est responsable pour l'émission de grands montants de particules et gaz, tel même CO₂, CO, CH₄, CH₃Cl, NO_x et SO₂ qui réagissent réciproquement dans l'atmosphère en étant le principal manifestation de précipitation acide dans les tropiques (Artaxo, 2002).

Ce étude preliminaire cherche pour analyse l'influence des activités antropiques, principalement l'a brûlé des ceux, dans le comportement climatique du nord de Mato Grosso. Les données climatiques sont correspondus avec les centres de chaleur typique de l'automne et l'hiver dans la region.

Méthode

L'État de Mato Grosso situé au centre du Brésil, (Fig. 1), présents caractéristiques climatiques avec présence remarquable de deux stations, il est seche (automne-hiver) et pluvieux (printemps été) avec événement de hautes températures l'année entière. Dans la station sèche l'humidité relative de l'air c'est bas dû aux températures des décharges et la circulation générale de l'atmosphère, qu'il met obstacle à l'entrée d'air plus humide dans la région. Dans ces conditions l'a brûlé des ceux excepté insérer CO₂ dans les particules du jet de l'air qui contribuent à l'acidité atmosphérique nuire à l'agriculture et causer des dégâts à la population.

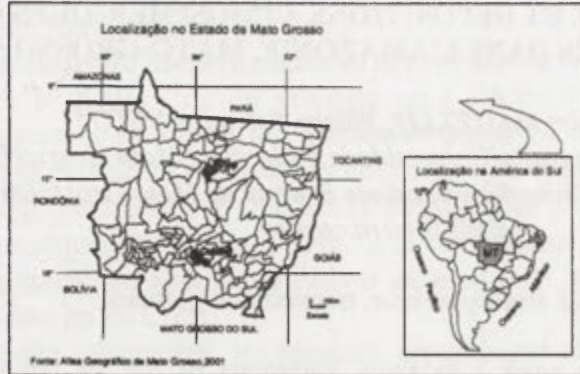


Fig. 1. Localization de la region d'etude

Les collections de données climatiques utilisées dans ce travail qu'ils ont été obtenus dans une tour de 45 mètres de la hauteur installé dans une Forest du Transition, a Sinop/MT. qu'il est une partie, des expériences du Projet LBA (Large Scale Biosphere and Atmosphere Interactions in Amazonia). Il s'agit de chercher les variations thermiques, déterminer de l'humidité et de la distribution de précipitations au nord de Mato Grosso. Ces données ont été associés à l'a brûlé des centres observés dans la région du même période pour la FEMA (Fundação Estadual do Meio Ambiente). Ces données soigne dans vue que les particules ont inséré dans l'air qu'ils sont transportés par les vents et masses d'air à à distances considérables et ainsi qui Sinop a été utilisée comme un exemple.

Résultats

Dans Mato Grosso la température de l'air dans la saison sèche est influencé par les particules et gaz jetés dans l'atmosphère par l'a brûlé des ceux, surtout les grands montants de CO_2 (dióxido de carbone), CH_4 (méthane) cela absorbe de la chaleur terrestre qui contribue à l'effet il cuit en ragoût. La figure 2 montre un exemple du moyen du variations thermiques annuel qui a été observé dans la Foret a Sinop/MT.

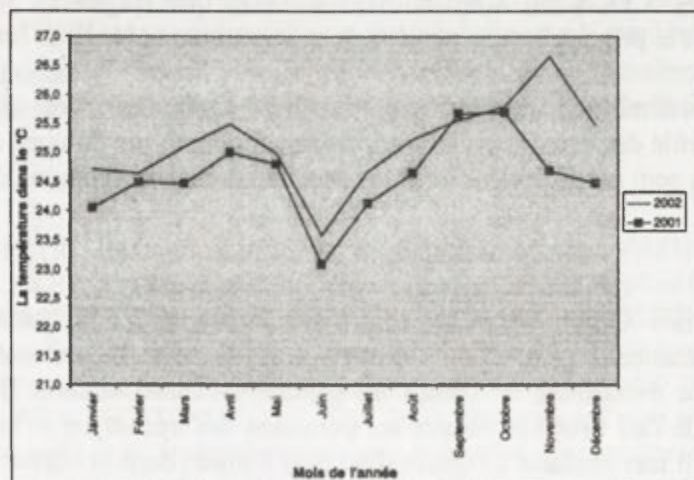


Fig. 2. Variation de température observé a Sinop/MT, 2001 et 2002

De l'autre côté l'humidité relative de l'air paraît être raconté avec l'a brûlé des ceux, en présentant de bas taux dû à élévation de la température et les concentrations des décharges d'aérosols dans l'atmosphère de la région (Fig. 3 et 4).

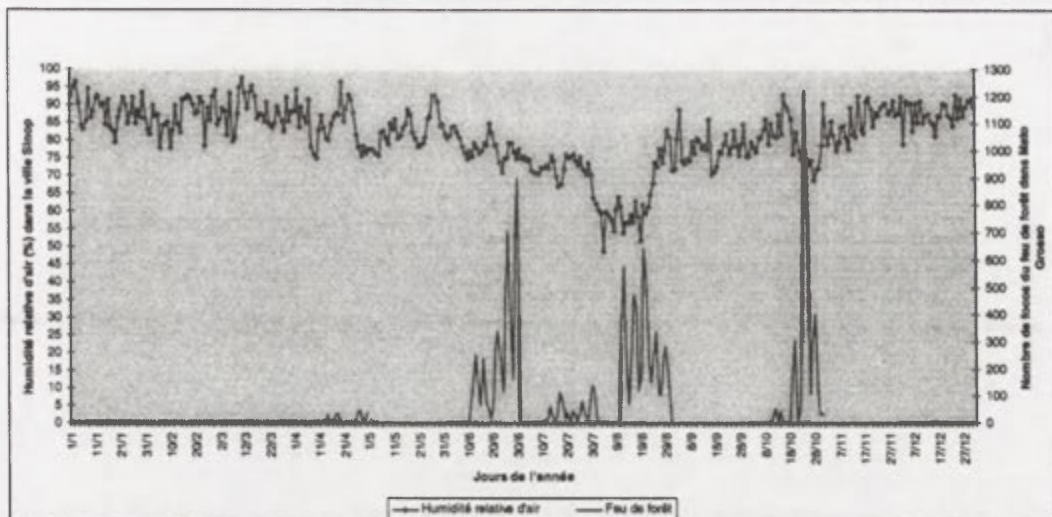


Fig.3. Humidité de l'air a Sinop associé a les centres de feu au Mato Grosso, 2001

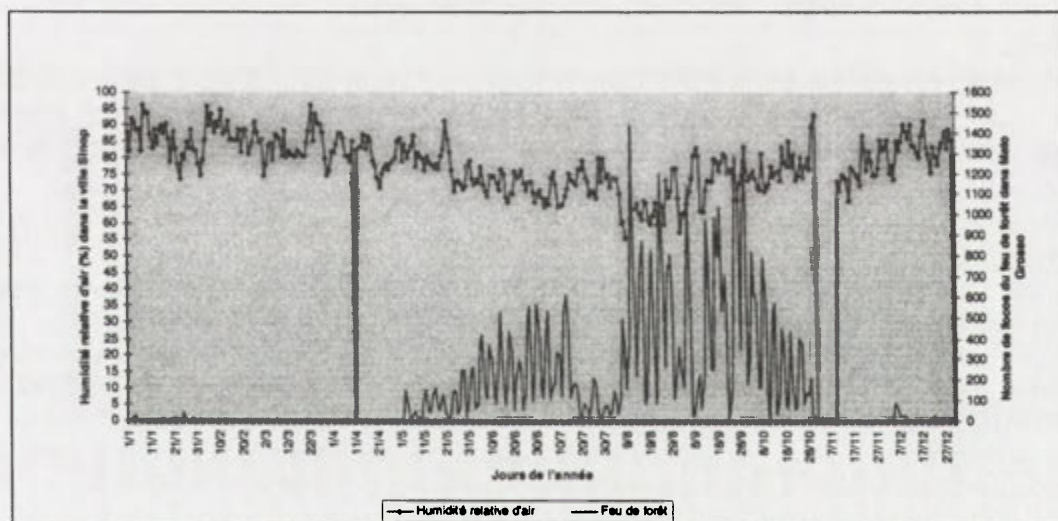


Fig. 4 . Humidité de l'air a Sinop associé a les centres de feu au Mato Grosso, 2002

La Figure 5 montre des précipitations mensuelles qui ont été observé a Sinop. Dans cet vision, études accomplies par Artaxo et al, avec les données obtenu a Alta Floresta, (9°52' et 56°05') où la forêt a été déboisée pour une grande part et l'événement de l'a brûlé des ceux est intense et dans Cuiabá (16°S, 56°W), localisé au sud de la forêt, dans région de la savane, ils ont montré des concentrations des décharges d'aérosols dans l'air atmosphérique de la région que probablement perturbe dans la totalite et la distribution de pluies. (Artaxo et al, 2003 ; Maenhaut et al, 2002; Denis et al, 2002).

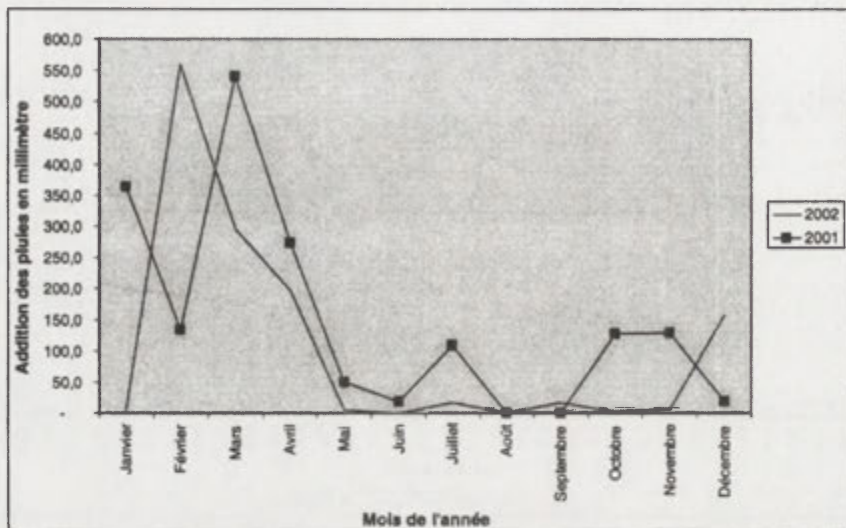


Fig. 5. Variation des précipitations a Sinop, 2001-2002

Conclusions

Les données qui ont été utilisées dans ce travail ont permis de mettre en évidence, dans un approche préliminaire, les variations thermiques, de l'humidité et des précipitations observé au nord de Mato Grosso associée aux brûles. Il s'agit de présenter les résultats obtenus et de mettre en relation avec les déboisements et centres de feu.

Bibliographie

- ARTAXO, P., DIAS, A. F. et DA, S., 2003: O mecanismo da Floresta para fazer chover, *Scientific American Brasil*: 38-45.
- DENNIS, A., FRASER, M., ANDERSON, S. et ALLEN, D. 2002: Air pollutant emissions associated with forest, grassland, and agricultural burning in Texas, *Atmospheric Environment* 36: 3779-3792.
- MAENHAUT, W., FERNANDEZ-JIMENEZ, M.T., RAJTA, I. et ARTAXO, P., 2002: Two-year study of atmospheric aerosols in Alta Floresta, Brazil: Multielemental composition and source apportionment, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 189: 243-248.

**LES CHANGEMENTS DE LA TEMPERATURE
A LA SURFACE DE LA MER BALTIQUE
DANS LA REGION DE LA BAIE ET DE LA FOSSE DE GDAŃSK
ET LEURS RELATIONS AVEC LA TEMPERATURE DE L'AIR (1871-1992)**

Andrzej A. MARSZ, Anna STYSZYŃSKA

*Université Maritime de Gdynia, Faculté de Navigation, Département de Météorologie
et d'Océanographie Nautique, Sędzickiego 19, 81-347 Gdynia, Pologne*

aamarsz@am.gdynia.pl stysa@am.gdynia.pl

Mots clés: la mer Baltique, température – la surface de mer, changements climatiques, XX^{ème} siècle

Abstract: This article has presented the analysis results of the changes in the sea surface temperature (SST) in the Baltic Sea observed in 2°x2° grid with its centre co-ordinates 55°N and 19°E (mean monthly values, data source COADS; Slutz et al. 1985, Woodruff et al. 1987). This sea area covers the Bay of Gdańsk and the area of South-East Baltic (Gdańsk Deep and S part of Gotland Deep) adjacent to it in the north. The analysis of correlation between the SST and the temperature of air made use of a series of monthly air temperatures measured at the stations in Stockholm and Gdańsk-Wrzeszcz (Miętus, 1998). This analysis indicates that the increase in the SST in the said sea area in the 20th century may be estimated around the values of 0.6 – 1.2°C (+0.9 (±0.3)°C). The greatest increase in the SST occurs in the months in which the influence of radiation factor on the thermal balance of this area is not very significant. The influence of the circulation factor may be accountable for the changes in the SST. The increase in the frequency and intensity of advection of the Atlantic air during the winter period results in clearly milder winters in the regions of Polish coasts on the Baltic Sea (Marsz, Styszyńska, 2001).

Introduction

Les changements de la température de l'air qui avaient lieu au XX^{ème} siècle au-dessus des terrains continentaux sont bien connus, tandis qu'on sait beaucoup moins sur les changements de la température – la surface de la mer. Le but de ce travail est de présenter les résultats des analyses des changements de la température la surface de la mer Baltique dans le grille 2x2°, dont les coordonnées du centre sont 55°N, 19°E. Ce plan d'eau comprend la Baie de Gdańsk et la région adjacente du sud-est de la mer Baltique (la Fosse de Gdańsk, le sud de la Fosse de Gothlande). Les moyennes mensuelles de la température venantes du recueil COADS sont la source fondamentale des données. Les valeurs mensuelles de la température de l'eau sont les moyennes des arpentages faits in situ par les navires qui y sont passés. Les arpentages de la température de l'eau dans les plans d'eau côtiers, portuaires, ceux qui se trouvent – côté des ports, dans les estuaires etc. n'étaient pas considérés. L'information plus détaillée sur le caractère des données sur la température – la surface de la mer dans le recueil COADS peut être trouvée dans les travaux de Slutz (1985) et Woodruff (1987).

Les données de ce recueil ont plusieurs manques d'observation, qui sont liés avec la lente popularisation des arpentages de la température de la mer (fin du XIX^{ème} siècle) et au XX^{ème} siècle – surtout avec les périodes des guerres. Les séries font les successions comportantes de 67-77 valeurs mensuelles, qui permettent de former 49 valeurs annuelles. La première moyenne vient de novembre 1871 et la succession se termine en décembre 1992. Dans l'analyse des relations entre les températures de la surface de la mer et de l'air on a utilisé aussi les séries des températures mensuelles mesurées dans les stations Stockholm et – Gdańsk-Wrzeszcz (Miętus, 1998). Dans les recherches on a employé les standardes méthodes statistiques – surtout l'analyse de corrélation et l'analyse de régression.

Resultats

Les plus importants résultats des analyses menées peuvent être conclues dans trois points.

a. Les tendances de la température à la surface de la mer

Dans les successions mensuelles de la température la surface de la mer on peut apercevoir, considerables de point de vue de la statistique, des tendances positives dans les mois de la fin de l'automne et du début de l'hiver (novembre: $+0.0136^{\circ}\text{C}/\text{année}$ ($p < 0.0014$), décembre: $+0.0216^{\circ}\text{C}/\text{année}$ ($p < 0.0000$, Fig. 1), janvier: $+0.0170^{\circ}\text{C}/\text{année}$ ($p < 0.0005$) et février: $+0.0105^{\circ}\text{C}/\text{année}$ ($p < 0.0146$). Les autres mois, l'exception d'avril, montrent des facteurs de tendance aussi positifs, mais insignifiants. Les fortes tendances positives la surface de la mer dans ces mois montrent, que leur cause c'est la diminution graduelle du flux de chaleur des eaux. Il faut le lier avec le chauffage des hivers de la fin du XIX^{ème} siècle la fin du XX^{ème} siècle. La moyenne température annuelle la surface de la mer montre une tendance positive considerable ($+0.0093 (\pm 0.031)^{\circ}\text{C}/\text{année}$; $p < 0.004$).

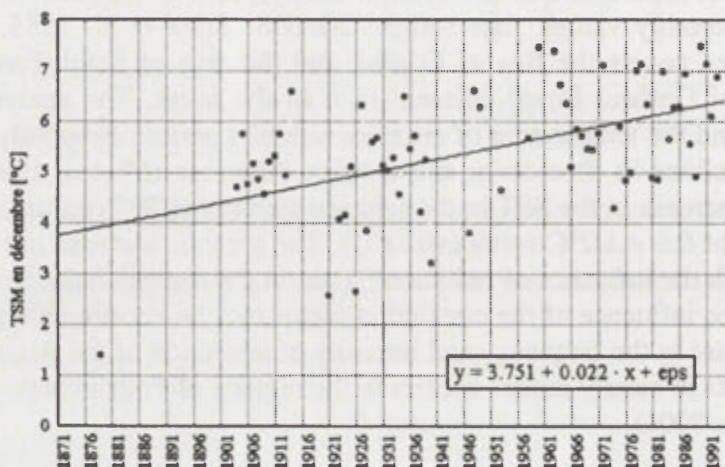


Fig .1. La température → la surface de la mer (TSM) en décembre et sa tendance.
La réduction graduelle des plus basses températures de l'eau attire l'attention.

b. Les relations entre les valeurs mensuelles de la température de l'eau et l'indicateur d'hiver NAO

La température la surface de la mer montre des considérables corrélations positives avec l'indicateur d'hiver (DJFM) NAO de Hurrell (1995). Il y a des fortes et statistiquement importantes relations entre l'indicateur NAO de Hurrell en hiver et la température la surface de la mer dans les mois de la fin de l'hiver et du début du printemps: février (0.53, $p < 0.000$), mars (0.68, $p < 0.000$), avril (0.63, $p < 0.000$) et mai (0.37, $p < 0.001$). Dans les autres mois il n'y a pas de telles relations. Dans ce cas on peut voir "l'effet de intégration" des eaux baltiques sur l'ensemble des influences thermiques et anémométriques des conditions synoptiques en hiver. La plus forte relation entre la température la surface de la mer et l'indicateur d'hiver NAO de Hurrell (NAO(H)) se montre en mars – le mois, où la moyenne température – la surface de la mer atteint le minimum annuel (Fig. 2).

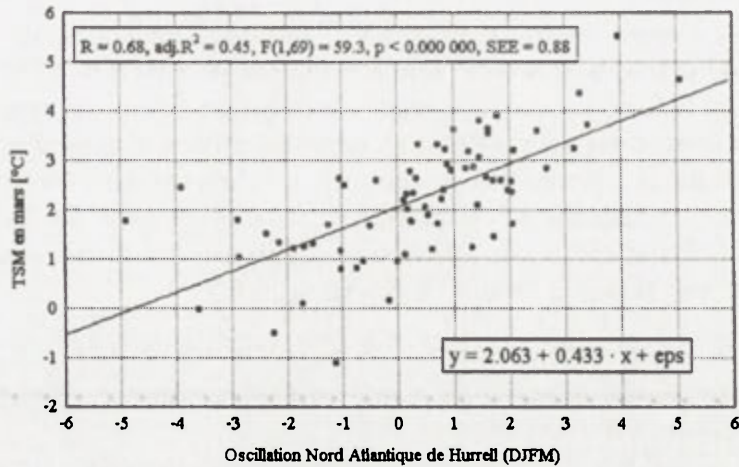


Fig. 2. La relation entre la température → la surface de la mer (TSM) en mars et la valeur de l'indicateur NAO de Hurrell (1995).

c. La moyenne température annuelle à la surface de la mer et sa relation avec la température de l'air

La moyenne température annuelle la surface de la mer montre une forte et considérable relation linéaire avec la moyenne température annuelle de l'air mesurée dans les stations de Gdańsk-Wrzeszcz ($r = 0.87$; Fig. 3) et Stockholm ($r = 0.84$). La tendance annuelle de la température la surface de la mer est presque la même que la moyenne tendance annuelle de la température de l'air dans le deux stations.

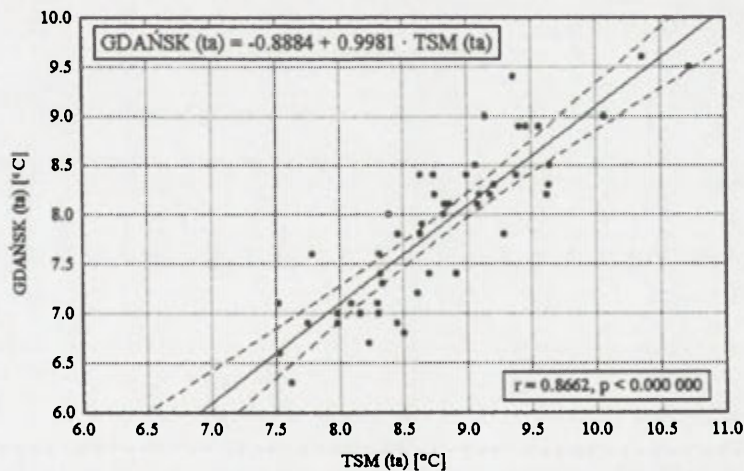


Fig. 3. La relation entre la température annuelle dans le grille 55°W, 19°E (TSM (ta)) et la température annuelle de l'air (ta) dans la station Gdańsk-Wrzeszcz.

Ça permet, malgré les manques des données, croire que les changements de la température annuelle la surface de la mer se sont passées de la même façon que les changements de la température annuelle de l'air dans cette région. La variabilité de la température annuelle la surface de la mer montre la relation la plus forte avec la variabilité de la température de l'eau en mars, janvier et août. La variabilité de la température de l'eau dans ces trois mois explique ensemble 86% de la variabilité de la température annuelle, dont la variabilité de la température minimale – en mars – 67% de la variabilité de la température annuelle. Ça montre le rôle dominant des procès du refroidissement de la surface de la mer en hiver dans la formation de la valeur annuelle de la température de l'eau.

Conclusions

Les analyses menées montrent qu'au XX^{ème} siècle l'augmentation de la température la surface de la mer sur le plan d'eau étudié peut être estimée environ 0.6–1.2°C (+0.9 (±0.3)°C). L'augmentation la plus forte est dans les mois, où l'effet du facteur de rayonnement ne joue pas un grand rôle dans la formation du bilan de chaleur dans le plan d'eau. On peut aussi chercher les causes des changements de la température observés dans les effets du facteur de circulation, surtout l'augmentation de la fréquence et l'intensité de l'advection de l'air atlantique en hiver, ce qui cause une atténuation significative des hivers dans la région de la côte polonaise de la mer Baltique (Marsz, Styszyńska, 2001).

Bibliographie

- HURRELL, J., 1995: Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: regional temperatures and precipitation. *Science*, 269: 676-679.
- MARSZ, A. et STYSZYŃSKA, A., 2001: *Oscylacja Północnego Atlantyku a temperatura powietrza nad Polską*. WSM Gdynia: 101p.
- MIĘTUS, M., 1998: O rekonstrukcji i homogenizacji wieloletnich serii średniej miesięcznej temperatury ze stacji w Gdansk-Wrzeszczu, 1851-1995. *Wiadomości IMGW*, 21 (2): 41-63.
- SLUTZ, R.J., LUBKER, S. J., HISCOX, J. D., WOODRUFF, S. D., JENNE, R. J., JOSEPH, D. M., STEURER, P. M. et ELMS, J. D., 1985: COADS Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set. Release 1, *Climate Research Program, Boulder, CO*: 268p.
- WOODRUFF, S.D., SLUTZ, R. J., JENNE, R.I. et STEURER, P.M., 1987: A Comprehensive Ocean Atmosphere Data Set. *Bulletin of AMS*, 68: 1239-1278.

LA RELATION ENTRE LA METEOSENSIBILITE ET L'ETAT DE SANTE

Anna MARTYNUSKA, Barbara WOJTACH, Maria BARANOWSKA
 Institut de Météorologie et de Gestion en Eau, Varsovie
 Podleśna 61, 00-673 Warszawa, Pologne
 anna.martynuska@imgw.pl

Mots clés: météo-sensibilité, météoropathie, morbidité

Abstract: The paper presents the original method for assessment the relationships between weather conditions vs. morbidity and mortality. The case of Warsaw population is studied.

1. Introduction

Vu l'intérêt croissant de l'influence du temps sur l'organisme humain, M. Baranowska a fait dans les années 90 des études de météoropathie de la société polonaise. Dans son enquête on a mis entre autres la question concernant les maladies qu'on a passées. On a fait cette enquête sur un échelon de 1023 personnes. La présente étude constitue un essai de vérification (basée sur les réponses de cette enquête) de l'opinion des pionniers en biométéorologie au sujet de la relation entre la météo-sensibilité et l'état de santé.

2. Méthode

Relation examinée dans cette étude constitue un simple modèle causatif, dans lequel l'objet de l'examen (l'effet) est le degré de la météo-sensibilité appelé „le degré de la météoropathie”, la cause – les maladies qu'on a passées considérées comme l'état de santé, les variables déterminantes additionnelles – l'âge et le sexe.

2.1. Le degré de la météoropathie a été codé selon les réponses – perçues subjectivement – concernant les météo-réactions dans le domaine psychique et physique. Comme critère essentiel, Baranowska a admis l'intensité du malaise (de la douleur), qui distinguent les météoropathes de ceux, qui sont enclins à la météoropathie. Le tableau 1 contient les critères admis.

Tableau 1. Les critères classifiants les degrés de météoropathie. Répartition d'autoappréciation de météo-sensibilité

Classification du degré de la météoropathie (variable x)	La personne enquêtée a constatée chez soi l'influence du temps qu'il fait sur:				Réponses au question: Est tu météo-sensible?			
	Son humeur	État général de santé	Habilité psycho-physique	l'intensité du malaise	Je ne sois pas sensible	Je ne sais pas	Je sois météo-sensible	La somme
Pas sensible (x_1)	non	non	non	non	149 84%	28 16%	0 0%	177
Enclins a la météoropathie (x_2)	oui	oui	oui	non	0 0%	66 31%	150 69%	216
météoropathe (x_3)	oui	oui	oui	oui	0 0%	65 10%	565 90%	630

L'encadrément 1. Les symboles appliqués à l'objet d'examen x – degré de la météoropathie $x = (x_1, x_2, x_3)$
 $x_1 = 0$ $x_2 = 1$ $x_3 = 2$
 $e(x) = x_m -$ l'espérance mathématique de x, le degré moyen de la météoropathie
 $e(x) = p(x_3) - p(x_1) + 1$, où p est une probabilité

Le deuxième degré de la météoropathie ressemble à celui admis dans la classification des météo-réactions de l'école allemande (Bucher, Haase, 1993).

2.2. Les maladies qu'on a passées /variable z/

On a utilisé plusieurs systèmes de classification des combinaisons des maladies qu'on a passé lesquelles s'excluent mutuellement codés comme variable „z”, interprétée comme l'état de santé. Dans cette étude nous présentons un essai d'interpréter des combinaisons des maladies qu'on a passées comme un affaiblissement hypothétique des mécanismes d'adaptation au milieu atmosphérique.

En première étape les maladies ont été classifiées selon ICD-10 (WHO,1992.). En seconde étape, en s'appuyant sur la littérature médicale et sur les consultations directes avec des médecins praticiens, on a admis deux caractéristiques conventionnelles des maladies qu'on a passées: „skz” et „Ma”.

Dans la caractéristique „skz” on a distingué 4 groupes de maladies:

1. celles qui ne laissent aucuns dommages pour la santé,
2. celles dont les conséquences sont difficiles à déterminer,
3. celles qui laissent, probablement, des dommages (*),
4. celles qui laissent des dommages irréversibles (**).

Dans la caractéristique „Ma” on a admis 5 mécanismes physiologiques essentiels pour les mécanismes d'adaptation au milieu atmosphérique (Tabl. 2).

Tableau 2. Mechanismes d' adaptation au milieu atmospherique

Mechanisme d'adaptation	Maladie qui affaible l'adaptation
Balance thermique (thermoregulation) Ma1	Maladies endocrinologiques et métaboliques: hyperthyroïdie, hypothyroïdie, maladies des glandes surrénales, surpoids. Maladies du système nerveux, trouble psychique, névrose vegetative, Parkinsonisme, dépression, Maladies du système vaso – cardiaque, angine de poitrine, hypertension, maladie du Reynaud
Balance hydro-electrolytique Ma2	Néphropathies et insuffisance rénal Maladies gastroentérologiques, gastrite interstitielle, diarrhée, vomissement Maladies endocrinologiques et métaboliques – pancréatite
Respiration et transportation d'oxygene Ma3	Maladies du système respirateur: pneumonie, tuberculose, grippe Maladies du système vaso – cardiaque: coeur des fumeurs, hypertrophie du ventricule droit Maladies hématologiques – anemie Maladies endocrinologiques et métaboliques – maladies des glandes parathyroïdes Maladies du système nerveux centrale – trouble de respiration Asthme.
Balance acido – alcalin Ma4	Maladies du système respirateur: pneumonie ; Maladies endocrinologiques et métaboliques; Maladies du système nerveux.
Immunologie Ma5	Maladies hématologiques; Maladies oncologiques Maladies endocrinologiques et métaboliques; Alergie.

2.3. L'âge. On a examiné la répartition du degré de la météoropathie (x) en dépendance de l'âge. On a obtenu 3 intervalles de l'âge pour les hommes (< 35 , 36-45 et > 45ans), dans lesquels la répartition de la variable x se diffèrent l'un à l'autre (au niveau de signification $\alpha=0.05$). Pour les femmes on a obtenu 2 intervalles (< 45 et > 45 ans).

2.4. La méthode de la déduction. La relation qui fait l'objet de la recherche a été vérifiée par la méthode de „groupement”, dont le but est la division de l'ensemble des donnés en sous-ensembles qui s'excluent et dans lesquels la répartition des variables examinés , ici c'est la variable x, et ensuite l'interprétation causative de la localisation des variables déterminantes dans ces sous-ensembles – les niveaux du risque, ici le niveau de météoropathie. Les résultats sont significatifs au niveau $\alpha=0.05$. Dans ce groupement on a appliqué le teste du maximum de vraisemblance pour la variable des 3 classes.

3. Les résultats.

Soixante-et-un pour cent des personnes enquêtées ont répondu à la question concernant des maladies qu'elles avaient passées. Les autres – 38% , ne voulaient pas répondre, ne se souvenaient pas ou ont considéré la question posée ou bien ses maladies

Tableau 3. Les groupes des combinaisons des caractéristiques „Ma” et „skz” dont les répartitions de x sont statistiquement différentes.

Classe de „z” Répartition de x	Caractéristique
$P(x_1) = 0,27$ $P(x_2) = 0,27$ $P(x_3) = 0,46$ z₁ sans maladies 45.5% $x_m = 1.18$	Les effets ne sont pas connus dans 86% de réponses et ils sont indifférents dans 14% .
$P(x_1) = 0,10$ $P(x_2) = 0,27$ $P(x_3) = 0,63$ z₂ 26.0 % (maladies pas graves) $x_m = 1.46$	Les effets sont indifférents pour la santé dans 58% ou inconnus et ils ont été attribués aux maladies suivantes: <ul style="list-style-type: none"> • Maladies infectueuses d'enfance, maladies d'oeil, d'oreille, infections aigtes des routes respiratoire, maladies dermatologiques, appendicite, maladies du système urogénital Dans 42% ils concernent l'affaiblissement possible des mécanismes d'adaptation <ul style="list-style-type: none"> • Ma3* respiration et transportation d'oxygène (tuberculose, angine) • Ma4**balance acido – alcaline (maladies du système respiratoire)Ma3*
$P(x_1) = 0,04$ $P(x_2) = 0,08$ $P(x_3) = 0,88$ z₃ 28.6 % (maladies graves) $x_m = 1.85$	Dans 30% ils concernent des maladies qui endommagent durablement la santé, mais non pas les mécanismes d'adaptation. Ce sont maladies du système osteo – articulaire, lésions, ulcère peptique. Dans 61% ils concernent les coïncidences des maladies qui affaiblissent durablement les mécanismes d'adaptation: <ul style="list-style-type: none"> • Ma1 i Ma3** balance thermique et transportation d'oxygène (maladies du système vaso – cardiaque) • Ma (1-5)**du affaiblissement possible de tous les mécanismes admis. • Ma5** des fonctions immunologiques associées avec l'endommagement de la plupart d'autres mécanismes d'adaptation. Dans la classe z3 se sont trouvées des combinaisons marginales (9%): <ul style="list-style-type: none"> • Ma3** combinaison de maladie du système osteo – articulaire et maladie du système respiratoire ou transportation d'oxygène • Ma2** d'affaiblissement de mécanisme de balance hydro – électrolytique (gastroentérologie, néphrologie) Ces deux combinaisons ont été symbolisées par le sous-groupe z4 (maladies très graves)

comme insignifiantes. Dans le groupe des personnes qui ont répondu dominant (78%) une ou deux maladies graves. Plus que 2 maladies se sont trouvées à peine dans 13% d'enquêtes. 10% des personnes enquêtées ont déclaré qu'ils n'avaient passé aucune maladie. Ce résultat témoigne d'une attitude sérieuse et honnête envers l'enquête.

Dans la première étape de recherche on a dégagé , par la méthode de groupement, 3 classes de variable z caractérisant des maladies passées par les enquêtés. La répartition du degré de la météoropathie (de la variable x) est statistiquement différent dans chaque classe z. Les classes de la variable z sont caractérisées dans le tableau 3.

Tableau 4 Les niveaux de météoropathie (A,B,C,D,E) en dépendance du sexe, de l'âge et de la variable z

La classe de z	l'hommes			Les femmes	
	< 35 ans	36 – 45	> 45 ans	< 45 ans	> 45 ans
z ₁	A	A	B	B	C
z ₂	A	B	C	C	C
z ₃	B	D	D	E	E

Dans l'étape suivante on a groupé des distributions du degré de météoropathie déterminées par l'âge, le sexe et la variable z élargie par sous-groupe z4. On a obtenu **5 niveaux** différents de météoropathie **A, B, C, D, E** (Tabl. 4 et 5.) Les résultats montrent que le degré moyen de météoropathie est plus élevé dans le groupe de femmes que dans le groupe d'hommes, qu'il croît avec l'âge et le degré d'affaiblissement de la santé . Le plus haut degré

moyen de météoropathie a lieu dans la classe z3 et la sous classe z4 où sont les personnes avec les mécanismes d'adaptation affaiblis et d'autres endommagements de fonctions physiologiques essentielles pour la vie , indépendamment de l'âge et du sexe. (Tabl. 5).

Tableau 5 Les résultats de groupement de la variable x en dépendance du sexe, de l'âge et de la variable "z"

Niveau de la météoropathie	Répartition de x	Caractéristique
A bas n= 205 20%	0.22 0.23 0.55	le niveau bas de météoropathie a lieu exclusivement dans le groupe d'hommes < 45 ans, qui n'ont pas connu de graves maladies.
B moyen n=301 29%	0.11 0.25 0.64	L'augmentation de niveau bas de météoropathie jusqu'au niveau moyen est observé dans le groupe de femmes < 45 ans qui n'ont pas connu de graves maladies ou bien dans le groupe d'hommes: < 45ans qui avaient passé des maladies classifiées en z2 et z3 , > 45 ans, qui n'ont pas connu de graves maladies.
C élevé n=237 23%	0.08 0.08 0.84	augmentation de niveau moyen de météoropathie jusqu'au niveau élevé est observé dans le groupe de femmes qui n'ont pas connu de graves maladies ou qui ont passé des maladies du groupe z2 et dans deux groupes d'hommes: > 45 ans qui n'ont pas connu de graves maladies ou <35 ans qui ont passé de très graves maladies (z4) .
D haut n=73 7%	0.01 0.06 0.93	augmentation de niveau élevé de météoropathie jusqu'au niveau haut est observé exclusivement dans le groupe d'hommes qui ont passé de graves maladies (z3), indépendamment de l'âge.
E très haut n=208 20%		Augmentation de niveau haut de météoropathie jusqu'au très haut est observé dans 91% des femmes, indépendamment de l'âge et qui ont passé de graves et très graves maladies et dans 9% d'hommes indépendamment de l'âge et qui ont passé aussi de très graves maladies.

4. Conclusions

La participation dans l'enquête était bénévole, évidemment elle a attiré des personnes intéressées par le problème, qui se considéraient, dans la plupart, comme météo-sensibles.

Bien que les résultats présentent des réalités subjectives, chargées d'une dose d'hipochondrie, ils constituent une contribution encourageant à l'étude objective de la relation de la météo-sensibilité avec l'état de santé.

Bibliographie

- BARANOWSKA, M. et CEDZYNSKA-ZIEMBA, J.,1997: Météoropathie de groupes choisis de la population polonaise – résultats de l'enquête. (en polonais). *Gazeta Obs. IMGW*, 97: 13-18 .
- BUCHER, K., HAASE, C., 1993: Meteorotrophy and medical-meteorological forecasts. *Experientia*, 93, vol 49 : 759-769
- MARTYNUSKA, A. et WOJTACH , B.,1999: *Météoropathie de personnes surchargées de maladies variées*. (en polonais). Rapport de l'IMGE de la groupe M-1.B.1.3.
- WOJTACH, B.,1994: *Le schéma de vérification de la base de prédictors biométéorologiques d'accidents routiers (statistiques horaires et journalières de Varsovie)* (en polonais). Rapport de l'IMGE de la groupe M-1.4.1.
- WHO, 1992: *International Statistical Classification of diseases and health related problems – tenth Revision*.

QUELQUES ASPECTS DU BILAN HYDRIQUE EN MILIEUX TROPICAL HUMIDE AU SUD DU CONGO

**Romuald M'BAYI, *Jocélyne PERARD, **Marie Joseph SAMBA-KIMBATA,
**Gaston SAMBA, **Marcel MPOUNZA*

**Centre de Recherches de Climatologie –CNRS- UMR 5080
Université de Bourgogne 6, bd Gabriel 21000 Dijon*

***Université Marien N'Gouabi Brazzaville Congo*

rmbayi@mail.u-bourgogne.fr

Mots clé: bilan hydrique potentiel, déficience d'évaporation, Vallée du Niari, Congo

Abstract: The potential water balance in the Valley of Niari (1974-1991) reveal an important seasonal loss of hydrous flow during the season of the rainy minimum. In the extreme cases, its duration can reach one year, thus underlining the character slightly wet of this enclave in the wet environment of central Africa.

Introduction

Le bilan hydrique potentiel de l'atmosphère est considéré comme un indicateur de répartition de la végétation et des risques que les plantes encourent (IPPC, 2001; Keatley et al., 2002). Dominée par des savanes arbustives (Guillot, 1978), la Vallée du Nairi, domaine de faible pluviosité, correspond à une dépression synclinale essentiellement schisto-gréseuse et schisto-calcaire, bénéficiant du drainage du plus grand bassin hydrographique du Congo. Cette étude tente de préciser le rôle de «la variable indicatrice la plus pertinente» (Choisnel, 1992) des ressources potentielles en eau dans un domaine des savanes arbustives au sud du Congo.

Méthode et principe d'analyse du bilan hydrique potentiel

Dans la plupart des modèles du bilan hydrique, l'indice de sécheresse est fondé sur la confrontation entre l'évapotranspiration potentielle et la pluviométrie. Le traceur de sécheresse appliqué dans cette étude est le différentiel $BHP=P-ETP$ avec BHP pour bilan hydrique potentiel (Choisnel, 1992), ETP pour évapotranspiration potentielle et P pour pluviométrie. On a retenu l'ETP Turc du fait de sa simplicité, de sa bonne corrélation avec des méthodes plus complexes et surtout du manque dans notre domaine de nombreux paramètres physiques nécessaires pour calculer l'ETP Penman. La démarche permet d'évaluer les besoins hydriques potentiels d'une plante par une schématisation du cycle de l'eau dans le continuum sol-plante-atmosphère. Elle donne aussi une estimation de la restitution de l'eau du sol vers l'atmosphère via l'évapotranspiration de la plante et un bilan positif ou négatif.

Résultats

La probabilité d'occurrence de 80% d'un bilan hydrique potentiel négatif de 4 mois pendant la saison sèche concerne l'ensemble des stations pluviométriques (Fig. 1), avec une certaine exacerbation une année sur deux à Dolisie et à Makabana (en basse altitude). A la fréquence médiane, les stations d'altitude connaissent une baisse brutale de la demande atmosphérique, passant de 82,6 mm en avril à 9,4 mm en mai à Mouyondzi; de 101 mm en avril à 19,2 mm en mai à Sibiti. En basse altitude, la transition est plus progressive (45,7 mm en mars et 31,2 mm en avril à Makabana). Comparé au potentiel de novembre, le pouvoir évaporant de mai n'est plus que de 6% à Mouyondzi et 12,2% à Sibiti. De même, par rapport à novembre, le mois d'octobre diffuse moins d'eau dans l'atmosphère: 14,3% à Mouyondzi et 8,2% à Sibiti. Ce taux diminue de 9,6% entre novembre et février à Mouyondzi. A l'inverse, Sibiti participe mieux au recyclage de l'humidité avec 9,8 mm en mai, 42,1 mm en février. Les déficits sont plus importants à Sibiti qu'à Mouyondzi où ils oscillent entre 6,4 mm en juin et 17,6 mm en septembre. En moyenne, les mois déficitaires sont donc juin, juillet, août,

septembre et dans une moindre mesure mai et octobre (Fig. 2). Après la saison sèche survient l'arrivée des pluies qui dure d'octobre (ou novembre) à avril (ou mai). Toutefois, durant cette période pluvieuse le bilan n'est pas très excédentaire: à Sibiti, Makabana et Mouyondzi, un seul des mois évapore plus de 150 mm (Fig. 1), et un mois sur cinq seulement libère moins de 50 mm de vapeur d'eau à Mouyondzi et un mois sur trois à Sibiti.

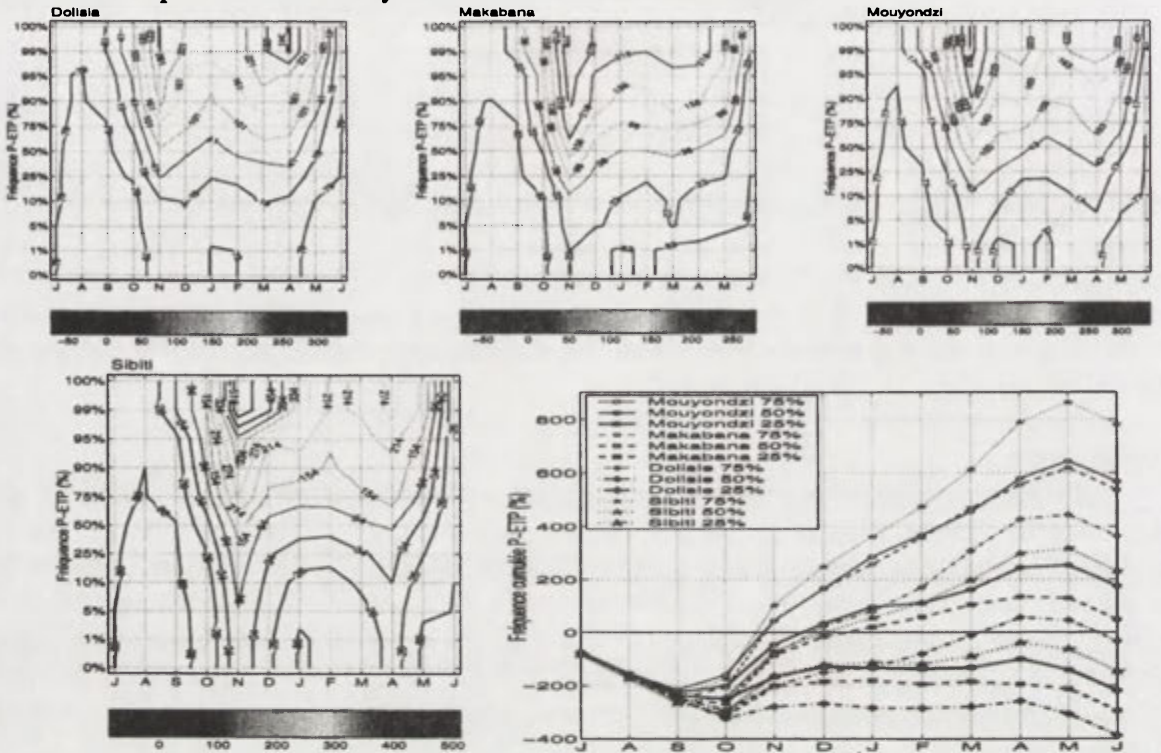
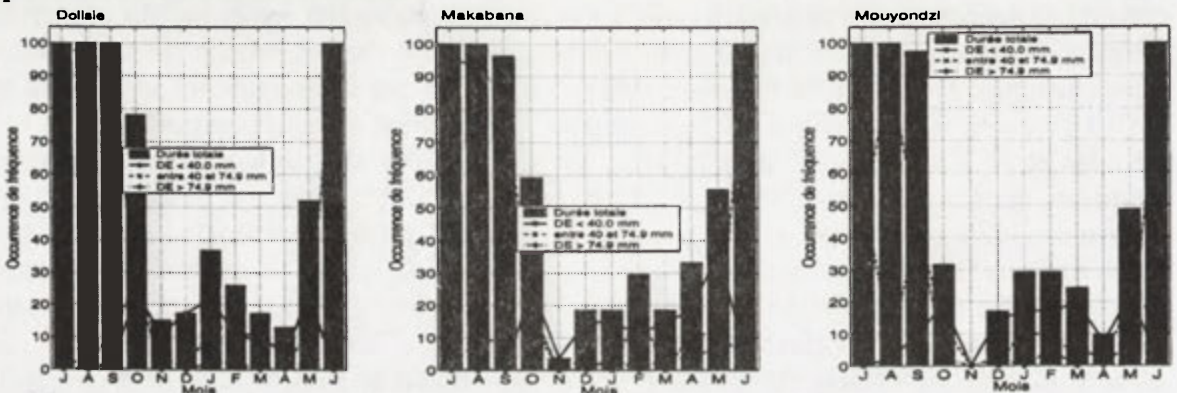


Fig. 1. Diagramme de bilans hydriques potentiels dans quatre milieux végétaux distincts

Dans les stations de Dolisie et de Makabana en situation d'abris, la demande climatique est moins forte: on relève 3 mois avec moins de 40 mm à Makabana et 2 avec à peine 50 mm à Dolisie. Toutes les régions ont une probabilité de 25% d'être déficitaires de mai en octobre (Fig. 3). Lorsqu'on considère tous les déficits mensuels, ce décompte concerne 7 mois à Sibiti en région forestière contre 8 mois à Mouyondzi, Makabana et Dolisie en savanes arbustives.

La figure 1 relative aux cumuls des BHP focalise les risques hydriques potentiels liés aux réservoirs du sol. Ce modèle simule l'accumulation ou la déperdition d'eau dans le sol pendant les différents mois de l'année. Il souligne l'existence une année sur cinq de conditions hydriques très difficiles. Il y a une probabilité élevée d'enregistrer une sécheresse hydrique durant toute l'année à la fréquence d'une année sur cinq pour l'ensemble des stations et d'une année sur deux à Dolisie. Dans les trois autres régions, il faut attendre décembre ou janvier pour voir les courbes médianes devenir excédentaires. Quatre années sur cinq la situation excédentaire ne se rétablit qu'en novembre à Sibiti, Mouyondzi et Makabana, plus tard en décembre à Dolisie.



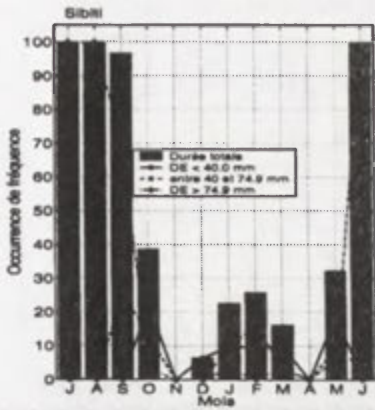


Fig. 2. Durée de la période déficiente d'évapotranspiration en nombre d'années résultante de P-ETP. $DE < 40.0$ mm: faible déficience, DE entre 40.0 et 74.9 mm sub sec, $DE > 74.9$ mm: sec

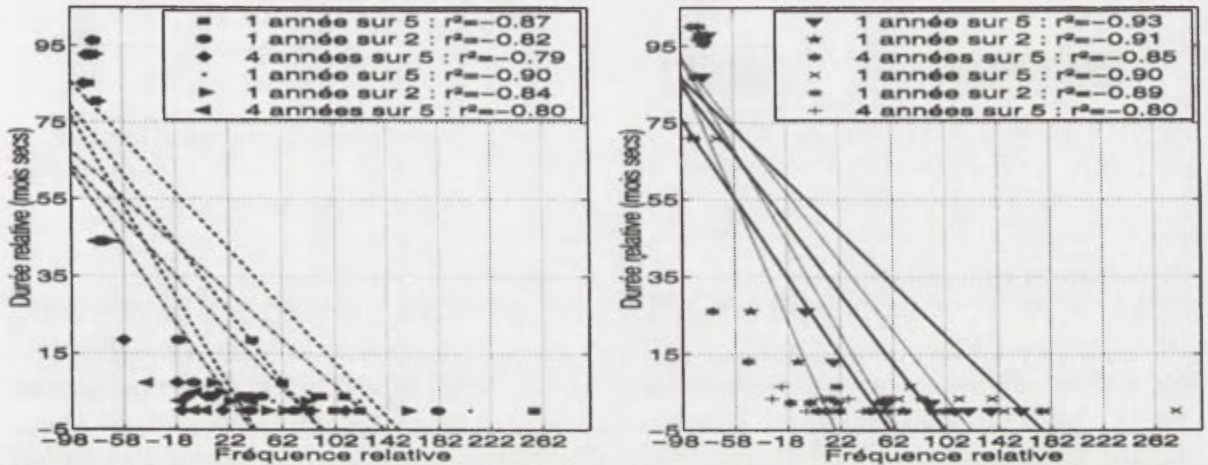


Fig. 3. Relation entre la période sèche ($DE > 74.69$ mm) en nombre d'années résultante de l'indice P-ETP et les occurrences à 25, 50 et 75 % de P-ETP. Pointillés: Dolisie, Trait continu: Sibiti, Trait discontinu: Makabana, Trait et pointillés: Mouyondzi

Les sécheresses de durée quasi annuelles (8 à 10 mois) qui ont touché la Vallée du Niari notamment celle de 51, 53, 55, 57, 67, 71, 77 et 82 ne montrent pas de forte cohérence spatiale ou temporelle. Elles apparaissent comme des sécheresses plus locales que celles enregistrées pendant les années 1957, 62, 65, 73, 80 et 88. Le trimestre octobre-novembre-décembre 1953 à Dolisie ou celui de mars-avril-mai 1977 à Dolisie, à Makabana et à Sibiti. par exemple, se caractérisent par des déficits importants en pleine saison pluvieuse. Alors même qu'en moyenne, les mois de janvier et de février sont peu arrosés. Ce type de situation constitue un risque majeur pouvant compromettre la reconstitution des réservoirs du sol. L'étude de la sécheresse potentielle mois par mois montre une évolution plus complexe particulièrement pendant la saison pluvieuse à Dolisie (Fig. 4). Mis à part le mois de novembre des années déficitaires 1977 et 1991, toutes les valeurs du BHP sont comprises entre 0 et 50 mm. On constate une diminution relativement forte du potentiel évapotranspiratoire au cours des mois de janvier et février (cycle de 2.3 mois) en plein cycle végétatif, ce qui suggère une adaptation des plantes à des conditions hydriques quasi déficitaires. Toutefois, le déficit saisonnier de mai à octobre (cycle de 6.1 mois) demeure nettement prédominant (Fig. 5).

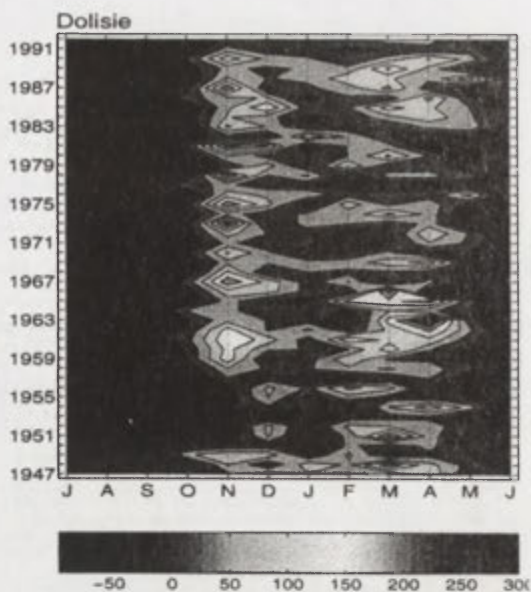


Fig. 4. Diagramme de variation du rythme annuel de l'indice potentiel de sécheresse à Dolisie en milieu de savane arbustive

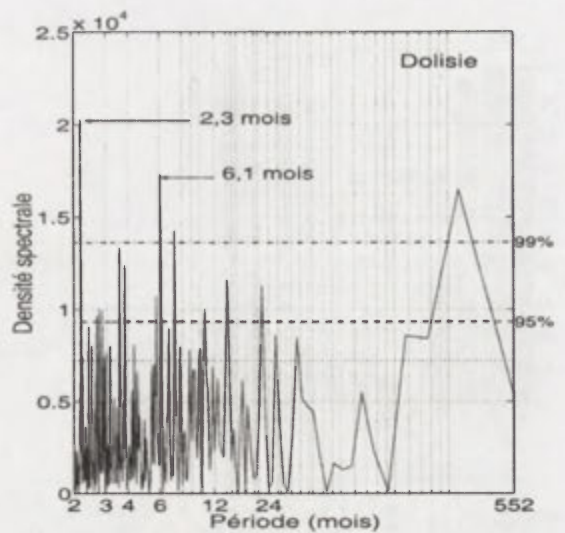


Fig. 5. Estimation de la puissance spectrale mensuelle des BHP. La période se base sur une simulation de «Monte Carlo».

Discussion et conclusion

Les bilans hydriques potentiels aux différentes probabilités d'occurrence permettent un diagnostic assez précis des disponibilités en eau du système sol-plante-atmosphère. Ils donnent des indications sur les conditions stationnelles de la végétation. On a ainsi pu montrer que la Vallée du Niari est sujette à une sécheresse saisonnière récurrente lorsque les pluies passent au-dessous de l'ETP (Parry 1992). Ces bilans permettent de définir l'extension temporelle des déficits. Sur le domaine, ces derniers peuvent couvrir une dimension écologique grâce à la signature saisonnière de l'assèchement et le brunissement de la végétation. L'impact des sécheresses accrues pourrait s'avérer crucial (Saracino A., et al., 1997). L'évolution en phase entre le régime hydrique potentiel et la phénologie des plantes ne permet pas toujours d'évaluer la variabilité des ressources en eau pour la croissance des plantes. Des études ultérieures devraient permettre de caractériser de manière plus précise les disponibilités en eau du sol et de mieux comprendre la présence de savanes arbustives dans la Vallée du Niari.

Bibliographie

- CHOISNEL, E., 1992: L'analyse spatiale du bilan hydrique en agrométéorologie. *La Météorologie*, VII^e, 43-44: 31-42.
- GUILLOT, B., 1978: Les savanes de la vallée du Niari. Intérêt de l'emploi de la méthode des tableaux ordonnables dans la mise en évidence de types de végétation. *Cah Orstom, sér. Sc.Hum.*, 15, 1: 17-33.
- IPCC, 2001: *Summary for Policymakers. Climate change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. A Report of Working group II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC: Geneva.
- KEATLEY, M.R., FLECTHER, T.D., HUDSON, I. L., et ADES, P.K., 2002: Phenological studies in Australia: Potential application in historical and future climate analysis. *Int.J.Climat.*22: 1769-1780.
- PARRY, M., 1992: The potential effect of climate change on agriculture and land use. *Adv. Ecol. Res.* 22: 63-91.
- SARACINO, A., PACELLA, R., LEONE, V., BORGHETTI, M., 1997: Seed dispersal and changing seed characteristics in a *Pinus halepensis* forest after fire. *Plant Ecology* 130: 13-19.

SECHERESSE METEOROLOGIQUE ET AGRICOLE DANS LE NORD-OUEST DE L'ALGERIE

Mohamed MEDDI, Lakhdar KOURI** et Hind MEDDI**

** Centre Universitaire de Khemis Miliana – 44225 Khemis Miliana – Algérie*

mmeddi@yahoo.fr

*** Université de Mostaganem – Algérie*

Mots clés: sécheresse météorologique, sécheresse agricole, Nord Ouest de l'Algérie

Abstract: We have studied the meteorological drought and the agricultural drought. We note more than 50 % of a deficit years. From the pluviometric limits of these four ranges (moderated year, drought year, very drought and hyper-drought), four maps were established. For the second, we tried to establish the agricultural drought basing on the drought index Id.S%.

Introduction

Les travaux précédents se sont intéressés à la variabilité inter-annuelle des pluies et la sévérité de la sécheresse qui a caractérisé ces dernières décennies (Matari, Douguedroit., 1995) et (Meddi, Humbert., 2000). Dans ce travail, nous allons s'intéresser à la sécheresse météorologique, qui va être abordé en utilisant la classification des écarts pluviométrique par rapport à la normale, et la sécheresse agricole qui a été étudiée en déterminant un indice de sécheresse basé sur les pluies des mois de décembre, janvier et de février.

Données pluviométriques utilisées

Nous avons sélectionné 21 postes pluviométriques (Fig. 1). Après critique et homogénéisation des données mensuelles et annuelles par le biais du test du double cumul, la période 1930/31 – 1997/98 (soit 68 ans) a été retenue.

Identification de la sécheresse météorologique (climatique)

L'approche adoptée dans ce travail pour parvenir à identifier la sécheresse météorologique est celle qui consiste à calculer le déficit pluviométrique de chaque année par rapport à la normale. Pour se faire, une méthode exprimant le déficit pluviométrique en pourcentage de la moyenne annuelle a été utilisée (Hadjri 1996; Meddi, Humbert, 2000). L'énoncé est comme suit:

- l'année considérée présente une sécheresse modérée si le déficit varie entre 20 et 40% de la moyenne annuelle; elle est sèche si le déficit varie entre 40 et 60%; elle est très sèche si le déficit varie entre 60 et 80%; elle est hypersèche si le déficit dépasse 80%.

Les années déficitaires dépassent les 50% de la période utilisée à savoir 1930/31 – 1997/98 (69 ans). Les périodes déficitaires dépassant une année varie de 4 à 11 avec un maximum pour la station d'Oran Senia (11 fois). Les périodes sèches sont enregistrées généralement dans la décennie 1980-1990 avec un nombre d'années variables d'une station à une autre. Egalement, il est à constater la période sèche signalée de 1939 à 1945 pour certaines régions du domaine d'étude. Pour les quatre catégories définies précédemment, nous avons déterminé une limite inférieure, c'est à dire, la valeur correspondant au déficit pluviométrique par rapport à la normale et qui limite chacune des quatre classes (Tabl. 1).

En se basant sur ces limites, quatre cartes représentant la variabilité spatiale de ces catégories pour la région étudiée ont été dressées (Fig. 2, 3 et 4)

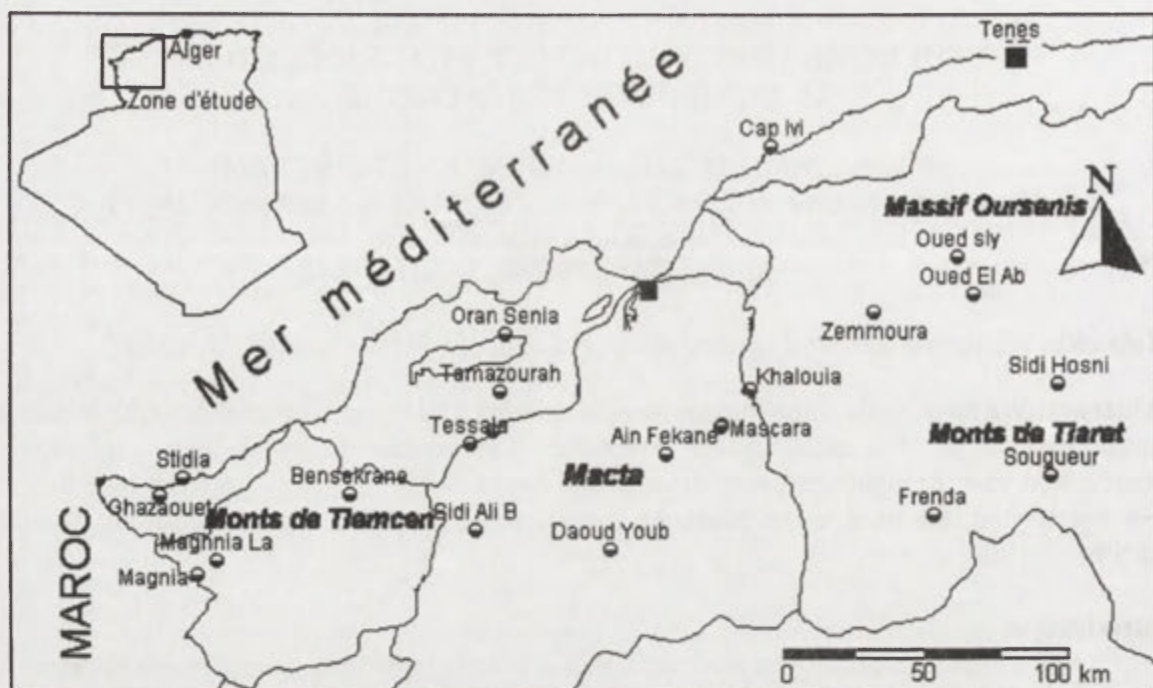


Fig. 1. Position des postes pluviométriques

Tableau 1. Exemples de catégories de sécheresse

Station	Limite de la classe sécheresse modérée	Limite de la classe-Sèche	Limite de la classe Très Sèche	Limite de la classe Hyper-Sèche
Sougueur	-63.5 – Classe1	-106.1 – Classe2	-143.2 – Classe 3	-172.0--Classe 4
Mascara Hyd	-80.8—Classe1	-156.9 – Classe2	-177.5 – Classe 3	-207.6 –Classe4
Ghazaouet	-60.1—Classe1	-107.1 –Classe 2	-136.5 – Classe 3	-192.9 -- Classe4

Sécheresse agricole

C'est le type de sécheresse qui survient lorsque la faible humidité du sol, associée à la rareté de l'eau, arrête la croissance végétale, diminue les rendements et met en danger le bétail. Dans ce travail, on s'est intéressé uniquement au paramètre disponible qui est la pluie. La méthodologie utilisée ici a été développée par Barakat, Handoufe, en 1998 en étudiant la sécheresse agricole au Maroc. L'indice utilisé est donné par l'expression suivante:

$$\text{IdS en \%} = D_p \text{déc} + D_p \text{janv} + D_p \text{fév} \quad (1)$$

$$D_p = 100 (P_x - P_n) / P_{na} \quad (2)$$

Où: D_p = déficit pluviométrique mensuel, et P_x , P_n et P_{na} sont respectivement la pluviométrie totale mensuelle d'un mois x , la pluviométrie normale mensuelle et la normale annuelle.

Nous avons dressé la figure 5 qui montre l'évolution spatiale des hauteurs de pluies correspondant à cet indice. Les résultats trouvés ont montré que les années sèches (sécheresse météorologique) ont des indices de déficit inférieurs à -22% . La sécheresse agricole peut se manifester dès qu'un déficit pluviométrique d'une station (qui représente un espace déterminé) d'une pluie correspondant à l'indice calculé est enregistré d'une manière continue entre décembre et février.

Conclusion

Ce travail nous a permis, dans un premier temps, de dresser quatre cartes représentatives de la variation spatiale des limites inférieures des classes des sécheresses météorologiques selon leurs degrés de gravité (une année de sécheresse modérée, une année sèche, une année très sèche et une année hypersèche). Ces cartes permettent de déterminer la limite à partir duquel un type de sécheresse météorologique est déclaré et cela pour l'ensemble des points de la région étudiée.

Dans un deuxième temps, un indice de sécheresse relatif à la sécheresse agricole, basé sur le déficit pluviométrique mensuel de la période hivernale, a été calculé. Les résultats trouvés ont montré que les années sèches ont des indices de déficit inférieurs à - 22 %. La sécheresse peut se manifester dès qu'un déficit pluviométrique d'une station d'une pluie correspondant à l'indice calculé est enregistré d'une manière continue entre décembre et février. En se basant sur cet indice, une carte représentative de la répartition spatiale de cet indice a été établie. Cette carte peut servir pour prévoir les sécheresses agricoles.

Bibliographie

- BARAKAT, F. et HANDOUFE, A., 1998: Approche agroclimatologique de la sécheresse au Maroc. Sécheresse Volume 9, numéro 3, Septembre 1998 : 201-208.
- HADJRI, J., 1996: La sécheresse climatique en Tunisie. Variabilité du climat et stratégies d'adaptation humaines en Tunisie. Edité par Latifa HENIA Université de Tunis I (1996) : 187-201.
- MATARI, A. et DOUGUEDROIT, A., 1995: Chronologie des précipitations et des sécheresses dans l'ouest Algérien. Les stratégies pour le contrôle des sécheresses. 9^{ème} Conférence régionale afro-asiatique des Irrigations et du Drainage. Alger les 5 et 6 juin 1995 : 266-278.
- MEDDI, M. et HUMBERT, J., 2000: Etude des potentialités de l'écoulement fluvial dans le nord de l'Algérie en vue d'une réalimentation des aquifères. Volume « Eaux sauvages, eaux domestiquées. Hommage à Lucette DAVY. Publications de l'Université de Provence – France.

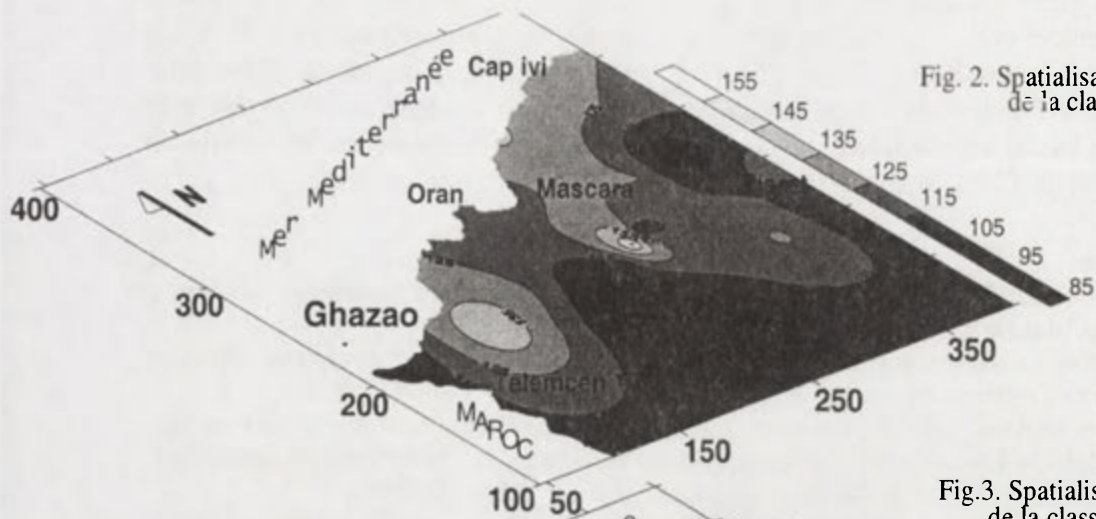


Fig. 2. Spatialisation de la limite inférieure de la classe sèche (mm)

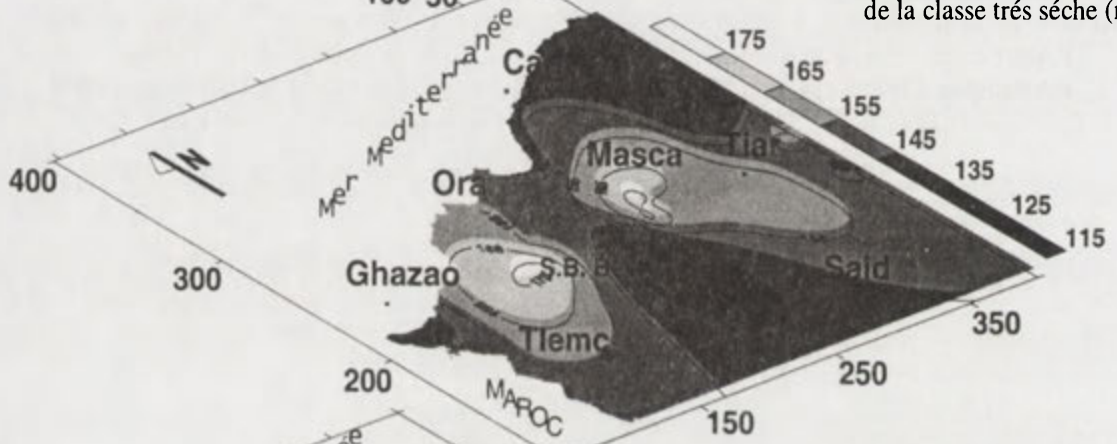


Fig. 3. Spatialisation de la limite inférieure de la classe très sèche (mm)

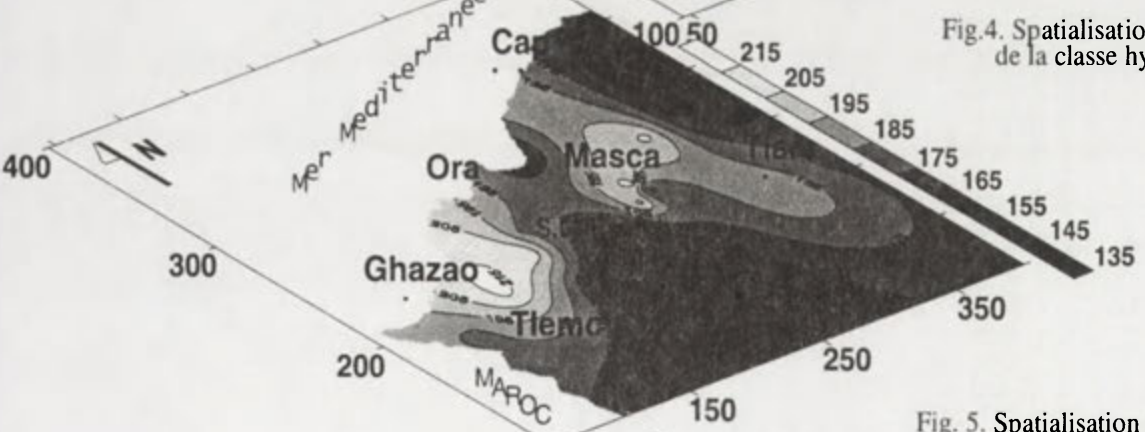


Fig. 4. Spatialisation de la limite inférieure de la classe hyper sèche (mm)

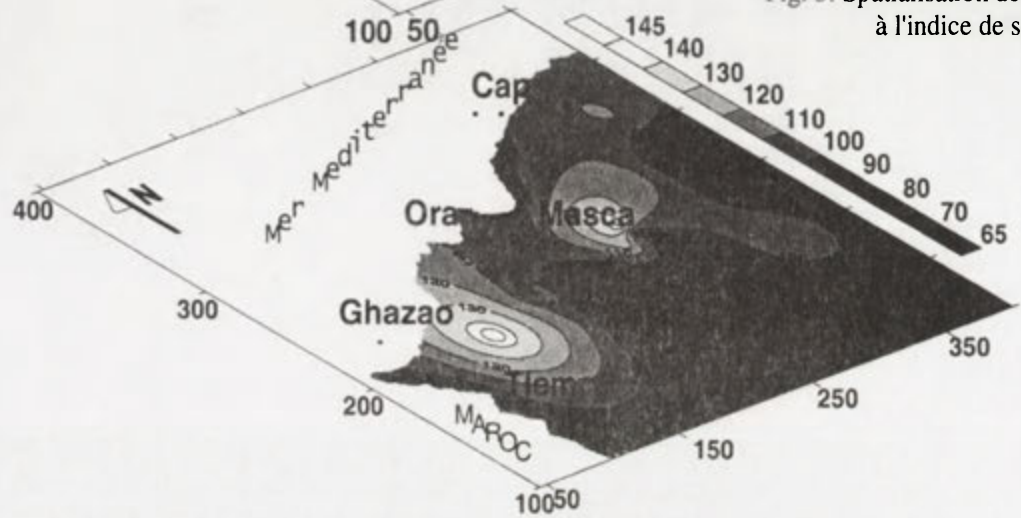


Fig. 5. Spatialisation des pluies correspondantes à l'indice de sécheresse (mm).

CLIMAT ET CRIMINALITE: UNE APPROCHE ANALYTIQUE A LA RECHERCHE D'UNE CORRELATION ENTRE LA TEMPERATURE DE L'AIR ET L'OCCURENCE DE CRIMINALITE URBAINE AU BRESIL

Francisco MENDONÇA

UFPR – Dep. Geografia – Laboclima

Centro Politécnico – Jardim das Américas, 81531-970 Curitiba/PR. Brasil

(chico@ufpr.br)

Mots-clés: climat, criminalité urbaine, Brésil

Abstract: Air temperature is related to certain diseases as well as to certain types of human behaviour, and can be correlated with criminality rates – not explain them. The observation of seasonal and daily variability of the air temperature in Brazil has shown that the hottest events are accompanied, in general, by higher criminality rates.

Introduction

La température de l'air est un des éléments climatiques principaux qui influence directement l'organisme humain ainsi que sa psychologie. La bibliographie nationale et internationale qui met en évidence cette interaction entre la nature et la société au cours de l'histoire est vaste, tant dans la perspective de la nature que dans celle de la société.

Plusieurs observations et études de la relation climat-santé qui remontent à la Grèce Antique mettent en évidence la manifestation des maladies, d'endémies et d'épidémies dans des conditions climatiques particulières. La majorité de ces études s'est ancrée dans des explications basées sur des principes de déterminismes climatiques, aspects qui a marqué l'affaiblissements et presque l'abandon de ce champ de recherche par une partie des géographes. Malgré cela, la reprise récente de cet intérêt a accentué la nécessité de prendre en compte plusieurs autres éléments dans l'analyse de la distribution des maladies.

Besancenot (1997) a mis en évidence un aspect particulier de cette nouvelle phase grâce auquel des climatologues ont pu renouveler leur prise de position face à la conception de l'interaction climat-santé humaine; il propose l'analyse de la corrélation entre le climat et la santé et non son explication comme on le faisait auparavant. D'après lui, apud Tromp et Bouma, la bioclimatologie humaine se subdivise en trois domaines qui sont la climatophysiologie, la climatothérapie et la climatopathologie; c'est en accord avec cette dernière que ce travail a été élaboré puisque, même s'il envisage le climat comme central dans son analyse, sa **prérogative** est que la manifestation des pathologies humaines résultent d'une complexe combinaison d'innombrables éléments et facteurs. Dans ce travail, on a élaboré une analyse de la corrélation entre la température de l'air et l'occurrence de criminalité urbaine au Brésil.

Méthodes et techniques employées

L'approche de la criminalité dans une perspective climatologique, et en particulier de la température de l'air, implique une adaptation de divers méthodologies comme c'est le cas dans le domaine de l'épidémiologie (Rouquayrol, 1994). La différence la plus évidente que l'on a pu observer, quand on choisi le climat comme approche principal de sa corrélation avec l'incidence criminelle, réside dans le fait qu'on accorde une plus grande importance aux éléments et aux facteurs climatiques, alors qu'il apparait dans ce champs de connaissances, et la plupart du temps, comme une variable secondaire.

Dans l'étude, l'approche climatique (types climatiques et leurs particularités thermiques) a été développée dans une conception systémique, étant donnée que la température de l'air est un des outputs du système climatique et, l'incidence de criminalité, une réaction humaine à l'influence de cet élément climatique. Dans ce cas particulier, le

travail a été élaboré en accord avec l'orientation de Besancenot (1997:91) pour qui "la mise en évidence des relations qui existent entre ces séries de données (climatologiques et cliniques)" passe "inévitavelmente par une approche statistique". Pour cette analyse, ont été choisies dix grandes villes brésiliennes situées dans les cinq macro-unités climatiques du pays, comme on l'observe dans le tableau 1.

Tableau 1. Macro-Compartiments Climatiques du Brésil et Types Climatiques Prédominants de Quelques Villes-capitales

Macro-Compartiments Climatiques	Villes	Types Climatique Prédominant *
Nord	Manaus/AM Belém/PA	Equatorial Humid – Am Equatorial Humid – Af
Nord est	Teresina/PI Recife/PE	Tropical – Aw Tropical Humid – Am
Centre-ouest	Goiânia/GO Cuiabá/MT	Tropical – Aw Tropical – Aw
Sud-est	Rio de Janeiro/RJ São Paulo/SP	Tropical Humid – Cfa Tropical d'Altitude – Cfa
Sud	Curitiba/PR Porto Alegre	Tropical d'Altitude – Cfb Subtropical Humid – Cfa

* Type climatique générique

Pour le traitement de l'atmosphère, les données utilisées ont été fournies par l'INEMET (Institut National de Météorologie de Brésil). Celles-ci se réfèrent à la période située entre 1961-1991 (Normales Climatologies du Brésil); en ce qui concerne particulièrement la ville de Curitiba, les données se situent dans la décennie de 1990.

Les données relatives à la criminalité ont été relevées par le Ministère de la Santé du Brésil (1997), et concernent la période de 1979 à 1995; parmi ces données, on a seulement utilisé les décès dus à des actions criminelles telles que: a) accidents de la route, b) pendaison, c) suicide, d) agression avec instruments coupants et pénétrants, e) agression avec des objets coupants et non coupants, f) lésion par instruments coupants ou pénétrants (accidentels ou non) et, g) homicide par étranglements. D'autres données, liées aux pratiques criminelles, qui ne débouchent pas nécessairement sur des décès comme les antécédents, et fournies par les polices militaires et civiles du Paraná, ont été utilisées pour l'étude de la ville de Curitiba telles que: a) homicide, b) lésion corporelle, c) prise d'otage/demande de rançon, d) violation de domicile, e) vol sans arme, f) vol à main armée, g) viol, h) attentat à la pudeur, i) port de toxique et, j) ivresse.

En ce que concerne l'analyse des conditions de vie de la population, les données ont été obtenues auprès de l'IPARDES (Institut de Développement Economic et Social de l'Etat du Paraná), IPPUC (Institut de Recherche et de l'Aménagement de Curitiba) et aussi IPEA (Institut de Recherche Economique et Sociale).

Principaux résultats obtenus

Observés dans le détail, les données mettent en évidence quelques particularités telles que:

- Dans la partie nord du pays, dont la variation thermique saisonnière est peut expressive, l'évolution annuelle de la température est relativement accompagnée par celle de la criminalité, elle augmente au cours de l'année et atteint les totaux les plus élevées vers le mois de décembre.

- Les villes situées dans le centre du Brésil (Goiania, Cuiaba et Terezina), où la variabilité thermique annuelle est plus expressive que dans la partie nord, présentent quasiment un parallélisme entre les lignes de la température et de la criminalité dans la période qui correspond à l'été prolongé, tandis qu'il présente une opposition pendant l'hiver où, à cause

de la diminution saisonnière de l'humidité, les températures absolues peuvent attendre des niveaux très élevés.

- Les cinq autres villes analysées (Récife, Rio de Janeiro, Sao Paulo, Curitiba et Porto Alegre) présentent un parallélisme évident entre les indices de température et de criminalité tout au long de l'année, dont une corrélation a mis en évidence l'augmentation en été et la diminution en hiver.

- Le mois de décembre, un des mois le plus chaud de l'année (23/12 – solstice d'été) apparaît comme le mois qui a les taux de criminalités les plus élevés dans la majorité des villes étudiées. Outre la nette corrélation entre la chaleur et la criminalité, d'autres facteurs socio-culturelles et économiques s'associent aussi fortement pour en faire un mois particulier dans le contexte annuel: aux fêtes de Noël et de fin d'année impliquant une augmentation de la consommation de boissons alcooliques et un renforcement de la sociabilité s'associent un processus de consommation effrénée qui met en évidence les carences de la population dépourvue des bien faits du système économique. Les mois de janvier et février, deux autres mois à taux élevés, présentent les mêmes caractéristiques que le mois de décembre, parce qu'ils coïncident avec la période des vacances scolaires et professionnelles d'une grande partie de la population et aussi avec les festivités du carnaval. Les facteurs socioculturels et économiques associés à la température de l'air présentent ici le même jeu d'influence que l'on a observé pour le mois de décembre.

- L'analyse des données relatives à la ville de Curitiba a permis d'observer plus en détail ce que nous avons déjà observé pour tout le pays. Dans cette ville, on a observé non seulement le parallélisme saisonnier déjà présenté, mais aussi le parallélisme quotidien, i.e., les niveaux de criminalité et de température montent ensemble au cours de la journée; augmentation dont le niveau le plus élevé se situe en début de soirée, moment de l'intensification de l'île de chaleur urbaine.

- Les cinq villes où a été mis en évidence un plus grand parallélisme entre les courbes de température et de criminalité sont aussi celles qui présentent les plus grandes concentration populationnelle du Brésil, apparaissant aussi comme les principaux centres urbains d'administrations et d'affaires du pays. Ces zones urbaines centrales (ou "villes centrales") sont, comme on l'a vu, celles qui, pour de nombreuses raisons, sont les endroits les plus propices aux développements de la violence et de la criminalité. Dans le cas du Brésil, ce sont aussi celles qui présentent une plus grande concentration de la pauvreté et de la misérabilité populationnelle.

- L'étude spécifique de la ville de Curitiba a montré que la criminalité ne se distribue pas de manière homogène dans la zone urbaine; les endroits de plus grande criminalité coïncident avec ceux qui sont occupés par des populations à tres bas revenus, ainsi qu'au centre ville. Cette manifestation de la réalité de Curitiba reflète les considérations de différents auteurs à propos de la distribution spatiale de la violence puisque, le centre ville attire non seulement le flux de capitaux et d'affaires, mais aussi une pratique plus aisée et moins contrôlée d'inombrables petits crimes.

- La criminalité a présenté des taux croissants dans le monde entier. Les indices qui concernent la ville de Curitiba présentent une brusque augmentation à partir de 1994-1995, moment à partir duquel le pays est entré dans une nouvelle phase économique, présentée comme celle d'une amélioration générale pour la société brésilienne. Si les causes de l'augmentation de la criminalité observées à Curitiba dans les trois dernières années sont en relation avec l'influence directe des conditions sociales, étant donnée que l'on n'a pas observé d'élévation brusque de la température de l'air dans cette période, le contexte exigera, pour le moins, que soit révisée l'action de l'Etat du Paraná et du Brésil. Dans la sphère fédérale, il faut repenser la question sociale et ses besoins, parce que le Programme Economique du Gouvernement Fédéral du Brésil implanté à partir de 1994, dans le but principal de stabiliser la monnaie, semble ne pas encore avoir eu de conséquences très claires sur les conditions de

vie de la population. L'élévation des indices de criminalités à Curitiba peuvent être pris à témoin de cette situation.

Références bibliographiques

- BESANCENOT, J-P., 1997: *Le climat et la santé*. In: DUBREUIL, V. et MARCHAND, J.-P. (Org.) *Le climat, l'eau et les hommes*. Presses Universitaires de Rennes: 87-104.
- DURKHEIM, E., 1995: O suicídio. [In:] *Emile Durkheim*. Editora Ática, Coleção Grandes Cientistas Sociais, 1.
- GRIFFITHS, J.F., 1976: *Climate and the environment – The atmospheric impact on man*. Elek Books Ltd.
- IPEA; FJP – FUND. JOÃO PINHEIRO; IBGE – INST. BRAS. GEOG. E ESTATÍSTICA; PNUD – PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO, 1998: *Desenvolvimento humano e condições de vida: Indicadores brasileiros – Atlas do desenvolvimento humano no Brasil*. Brasília.
- LACAZ, C.S. et al., 1972: *Introdução à geografia médica do Brasil*. Edgard Blücher/Editora da Univ. de São Paulo.
- MENDONÇA, F.A., 2001: *Clima e criminalidade: Ensaio analítico da correlação entre a temperatura do ar e a criminalidade urbana*. Editora da UFPR.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE DO BRASIL, 1997: *Sistema de informação sobre Mortalidade: 1979-1996 – Dados de declaração de óbito*. Brasília, 31/07/1997. (CD-ROM).
- MOSER, G., 1992. *Les stress urbains*. Armand Colin.
- ROUQUAYROL, M.Z., 1993: *Epidemiologia e saúde*. Editora MEDSI.
- SERRA, A., 1954: Os climas do passado. [In:] *Revista brasileira de geografia*, Outubro-dezembro: 40-65.
- SORRE, M.A., 1984: adaptação ao meio climático e biossocial – geografia psicológica. [In:] MEGALE, J. F. (Org.), *Max Sorre*. Editora Ática, Coleção Grandes Cientistas Sociais, 46.
- VELHO, G. et ALVITO, M., 1996: *Cidadania e violência*. Editora UFRJ/Editora FGV.

TENDANCES CLIMATIQUES ET CONSEQUENCES REGIONALES DU RECHAUFFEMENT GLOBAL DANS L'ETAT DU PARANA /BRESIL

Francisco MENDONÇA, Rudolf KROKER, Mozart NOGAROLI
UFPR – Dep. Geografia – Laboclima, Centro Politécnico
Jardim das América, 81531-970 Curitiba/PR. Brasil, (chico@ufpr.br)

Mots clés: global change, Brésil, Paraná

Abstract: This analyse focus the global change and its regional and local manifestations on the south of Brazil, on the Parana's State. Dates from eith places-cities where analysed and has shown an increase in air temperature, notably on the last decade.

Introduction

La présente étude de cas avance, dans les limites de ses possibilités, dans l'analyse du réchauffement global, en mettant en évidence quelques particularités des conditions climatiques de l'État du Paraná, situé dans la partie Sud du Brésil (Fig. 1), ces dernières décennies.

L'intensification de l'effet de serre planétaire dans les deux derniers siècles, soit, le réchauffement global actuel, est un sujet de plus en plus à la mode parmi les préoccupations des climatologues et de la société en général, même si les effets de l'intensification de la chaleur de la planète sur la société et sur la nature ne sont pas encore totalement connus, ni précisément prévisibles; on sait, ou on présume, toutefois, que des problèmes très graves peuvent advenir et que des changements assez brusques prendront place dans la forme de vie de l'homme sur la planète. Mendonça (1990, 1995, 2000) et Mendonça et Nogarolli (2002) ont montré quelques particularités du réchauffement global dans l'État du Paraná au XXème siècle.

L'objectif principal de la présente étude est, simplement et à titre introducteur, d'analyser l'évolution des climats de l'État du Paraná et de la comparer avec les manifestations du réchauffement de la planète. En particulier, cette étude porte sur l'analyse des tendances et des altérations survenues à l'intérieur des subdivisions climatiques de l'État, dans le but d'observer si les principaux types climatiques de la zone montrent ou non avoir tendance à se réchauffer.



Fig.1. L'État du Paraná au Brésil



Fig. 2. Carte climatique de Parana

Méthodes et procédés de la recherche

Dans cette étude, on a travaillé avec des données de température et d'humidité (25 ans – 1975-1999) en provenance de onze stations météorologiques de l'IAPAR – Institut Agronomique du Paraná – fournies par le SIMEPAR – Système Météorologique du Paraná,

distribuées par l'État et choisies en fonction des différents types climatiques (Fig. 2), comme suit:

Type Climatique	Ville	Localisation	Altitude (m)
Cfa	Cambará	23°0'S – 50°2'W	450
	Palotina	24°18'S – 53°55' W	310
	Paranavaí	23°5'S – 52°26'W	480
	Umuarama	23°44'S – 53°17'W	480
Cfb	Clevelândia	26°25'S – 52°21'W	930
	Fernandes Pinheiro	25°27'S – 50°35'W	893
	Guarapuava	25°21'S – 51°30'W	1058
	Pinhais	25°25'S – 49°8'W	930
	Ponta Grossa	25°13'S – 50°1'W	880
Af	Cerro Azul	24°49'S – 49°15'W	360
	Morretes	25°30'S – 48°49'W	59

Source: IAPAR, 1978 et 1994

Les données utilisées pour élaborer cette étude correspondent à celles de la température et de la pluviosité mensuelle moyenne. Elles sont organisées sous forme de cadres et saisies statistiquement (calculs de moyennes mensuelles et annuelles, et de tendances) grâce à l'équation de puissance ($y=cxb$), et au programme Microsoft Excel; postérieurement elles ont été organisées sous forme de graphiques avec le programme Microsoft Word. On s'est servi aussi du programme ArcView GIS 3.2 pour saisir la distribution spatiale de l'étude réalisée, et des bases cartographiques fournies par l'IAPAR et par le SEMA (Secrétariat de l'Etat à l'Environnement et aux Reserves Hydriques).

Réchauffement climatique dans l'État du Paraná: Manifestations et tendances

D'après la classification de Köeppen (IAPAR, 1978, 1994), l'État du Paraná a été subdivisé en trois grandes régions climatiques dominées par les types: Cfa, Cfb et Af. Cette classification mettait en rapport le climat et la végétation, puis après révision a donné plus d'importance à la température, à la pluviosité et aux caractéristiques saisonnières (Ayoade, 1986).

La répartition spatiale de la température annuelle moyenne de l'État du Paraná, démontrée par la figure 2, a été élaborée à partir de l'interpolation de la moyenne thermique annuelle référente à la période de 1975 à 1999.

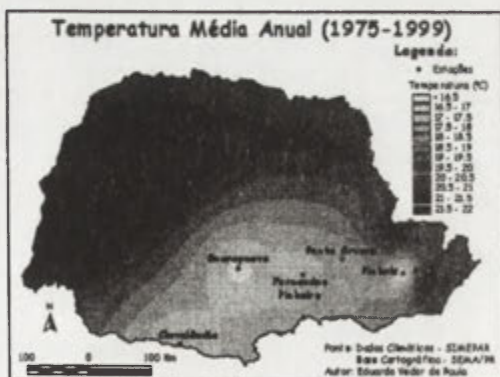


Fig. 3. Température annuelle moyenne

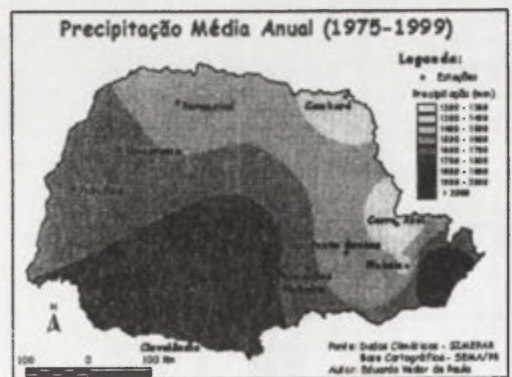


Fig. 4. Précipitation annuelle moyenne

Pour identifier et visualiser l'évolution des températures et de la pluviosité annuelles moyennes, dans les villes choisies, on a conçu le tableau représentée par la figure 5.

L'évolution thermique, dans la majorité des villes analysées par cette étude, a présenté une forte tendance à l'augmentation des températures durant la période étudiée (Fig. 5), dont la plus expressive a été dans les données des stations localisées dans la partie centrale et est de l'État du Paraná (Fig. 3). Ce qui conduit à constater un réchauffement plus important des villes situées Dans des zones prédominées par les climats Cfb et Af en comparaidon avec la zone du Cfa. Les villes de Cerro Azul, Morretes, Fernandes Pinheiro, Guarapuava et Pinhais

sont celles où les lignes de l'évolution de la température, tendances, apparaissent comme les plus inclinées de cette partie, indiquant un réchauffement plus important dans ces localités ces trente dernière années.

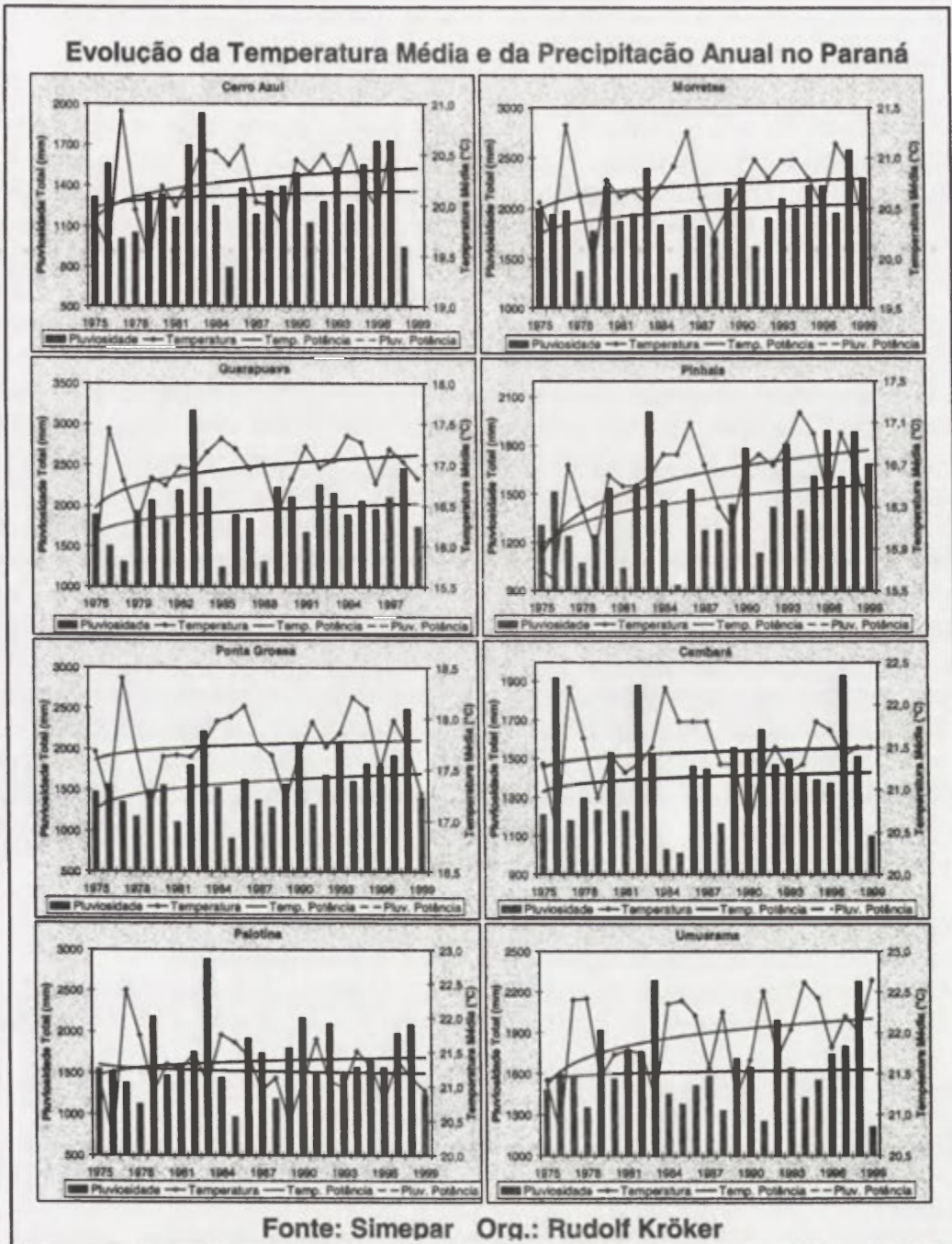


Fig. 5. Changement de la températures durant la période étudiée

Dans la représentation spatiale du total pluviométrique annuel, correspondant à la période de 1975 à 1999 (Fig. 4), l'évolution présentée par la majorité des villes analysées a montré une tendance à augmenter dans la période observée (Fig. 5). Cette tendance est plus significative dans les villes localisées dans les régions centrale et Est de l'État. Dans les villes situées dans les parties Nord et Nord-est, la tendance à l'augmentation pluviométrique est inexpressive. Si on compare l'évolution pluviométrique avec la thermique, on vérifie que les villes localisées dans les zones de types climatiques Cfb et Af présentent, simultanément, une augmentation dans le régime thermique et pluviométrique, indiquant une tendance au renforcement du caractère tropical de la région; on observe alors pour de nouvelles régions de

l'État ce que Mendonça (1990 et 1995) avait déjà observé pour la partie Nord et Nord-Est du Paraná. Dans la partie de l'État touchée par le type climatique Cfa, l'évolution thermique et la pluviométrie annuelles totales sont restées stables, confirmant le renforcement du caractère tropical observé par Mendonça (1995).

Conclusions

Les graphiques des évolutions thermiques et pluviométriques montrent une élévation des températures annuelles moyennes et de la précipitation annuelle totale dans presque tout l'État du Paraná. Dans cette étude, les parties est et centrale de l'État, touchées par les types climatiques Af et Cfb, respectivement, ont été celles qui ont présenté les plus grands indices dans les évolutions supramencionées, en montrant une tendance à l'humidification et au réchauffement, autrement dit, à un renforcement des caractéristiques d'un climat tropical.

On observe, de manière générale, que les résultats des études sur le réchauffement de l'atmosphère terrestre montrent une élévation de la température dans des zones situées sous des latitudes au dessus des tropiques ainsi que à des altitudes plus élevées qu'aujourd'hui, soit, une expansion géographique des zones chaudes de la planète. Cette constatation planétaire peut être observée dans la zone étudiée ici, car tant dans l'État du Paraná on a observé une expansion des zones plus réchauffées dans les trente dernières années (pour les latitudes les plus élevées), que dans sa capitale (pour les altitudes les plus élevées).

Les origines du réchauffement planétaire sont multiples, parmi lesquelles, celles qui sont en rapport avec les activités humaines celles qui préoccupent le plus les scientifiques actuellement; ce sont aussi celles qui sont le plus polémiques. Le déboisement, la production agricole et l'élevage et l'urbanisation-industrialisation ont été dénoncées comme les principales causes anthropogéniques de l'intensification du réchauffement atmosphérique de la Terre dans ces deux derniers siècles, et elles sont toutes très présentes sur le territoire du Paraná. L'investigation de la participation de la dynamique climatique globale dans son processus évolutif naturel et de la participation anthropogénique dans l'augmentation des températures observées dans l'État du Paraná représentent, malgré tout, un important défi pour les climatologues; les objectifs de ce travail, abordés de manière introductrice, révèlent des données fondamentales à la continuité des études de la climatologie du Paraná.

Bibliographie

- AYOADE, J.O., 1986: *Introdução à Climatologia dos Trópicos*. Editora Difel.
- IAPAR – Instituto Agrônômico do Paraná, 1978: *Cartas climáticas do Paraná*. Editora do IAPAR.
- IAPAR – Instituto Agrônômico do Paraná, 1994: *Cartas básicas climáticas do Paraná*. Editora do IAPAR.
- MENDONÇA, F.A., 1990: *A evolução sócio-econômica do Norte Novíssimo de Paranavai/PR e os impactos ambientais – Desertificação?* USP/FFLC, Inédito.
- MENDONÇA, F.A., 1995: *O clima e o planejamento urbano de cidades de porte médio e pequeno: Proposição metodológica para estudo e sua aplicação à cidade de Londrina/PR*. USP/FFLC, Inédito.
- MENDONÇA, F.A., 2000: *Clima e criminalidade: Ensaio analítico da correlação entre a temperatura do ar e a incidência da criminalidade urbana.*: Editora da UFPR.
- MENDONÇA, F.A. et NOGAROLLI, M., 2002: O Paraná no aquecimento global: uma explicitação das relações geográficas entre o local e o global. In: FRESCA, T. M. et al (Orgs.) *Dimensões do espaço paranaense*. Editora da UEL.

ANALISE GEOGRAPHIQUE DE LA LEPTOSPIROSE DANS LE PARANÁ ET À CURITIBA/BRESIL (1997-2001): UNE APPROCHE CLIMATOLOGIQUE

Francisco MENDONÇA, Eduardo V PAULA

UFPR – Dep. Geografia – Laboclima

Centro Politécnico – Jardim das América., 81531-970 Curitiba, PR. Brasil

(chico@ufpr.br)

Mots clés: leptospirose, climat, Paraná et Curitiba

Abstract: Relations between climatic conditions and leptospirosis incidence in Brazil, particularly on the south of the country – Parana's State and its capital Curitiba, are shown. The dates focus the period 1997-2001.

Introduction

La leptospirose est une zoonose d'importance reconnue dans la santé publique qui préoccupe de plus en plus les épidémiologistes et les médecins cliniques, tant à cause de la difficulté de son éradication, due à la complexité des aspects épidémiologiques auxquels la maladie est liée, qu'à cause du taux élevé de mortalité qu'elle provoque. La distribution géographique de la leptospirose est cosmopolite, malgré tout, les conditions environnementales présentes dans les régions à climat tropical et subtropical favorisent son occurrence, de par l'élévation des températures et les périodes de l'année à indices pluviométriques élevés qui favorisent l'apparition de crise épidémique de nature saisonnière (Manual de Leptospirose, 1998, p. 49).

Intimement associée à la pauvreté, la leptospirose présente des indices considérables au Brésil. D'après le "GUIA BRASILEIRO DE VIGILÂNCIA EPIDEMIOLÓGICA" de 1998 (données sur la période de 1985 à 1997), 35.403 cas de leptospirose humaine ont été enregistrés, variant de 1.594 cas annuels (minimum) en 1987 à 5.576 en 1997 (maximum), et présentant dans la même période une létalité moyenne de 12,5%.

Méthologie

À l'échelle de l'État (Paraná), les données sur la leptospirose viennent directement du SINAN (Système d'Informations Nationale du Relevé des Recrudescences), au Secrétariat d'État à la Santé. Ils correspondent seulement aux cas confirmés de la maladie. Pour l'étude de la pluviosité à cette échelle, on a utilisé des informations de huit stations météorologiques de l'INMET (...) et de 33 autres dont les informations ont été fournies par le SIMEPAR (Système Meteorologique de l'Etat du Paraná).

Pour Curitiba, les données de la maladie, aussi issues du SINAN et correspondants aux cas confirmés, concernent les 75 quartiers de la ville. Les informations pluviométriques se réfèrent à la station Curitiba de l'INMET, située à 25° 26' S et 49° 16' W, à une altitude de 929m. Les informations sur la population de chaque quartier pour les cinq années de l'analyse (1997-2001) ont été collectées auprès de l'IPPUC (Institut de Recherche de l'Aménagement de Curitiba), tandis que les informations socio-économiques associées à cette population sont issues de l'étude développée par l'UFPR (Université Fédérale du Paraná), l'IPARDES (Institut de Développement Economique et Social du Paraná) et l'IPPUC qui analysent les dimensions et la distribution de la pauvreté pour la municipalité.

Résultats

L'occurrence de pluies tout au long de l'année caractérise le régime pluviométrique du Paraná. Et en particulier, de toutes les saisons, c'est l'été qui présente la plus grande abondance de précipitations et c'est l'hiver qui en présente les plus petits indices (Mendonça et Nogaroli, 2000). Du point de vue temporel, les occurrences de leptospirose ont accompagné

le régime des pluies, autrement dit, la plus grande quantité de cas a été enregistrée en été et au début de l'automne, tandis que l'hiver et le printemps ont démontré un taux d'incidence plutôt limité. Dans la partie littorale de l'État, dont les indices pluviométriques sont supérieurs à celui des autres régions, la maladie s'est révélée être de nature endémique par le fait que les municipalités de Paranaguá et de Guaratuba ont présenté des cas de la maladie durant les cinq années étudiées. Matinhos, Pontal do Paraná, Morretes et Antonina ont, elles aussi, enregistré des cas au long de la même période.

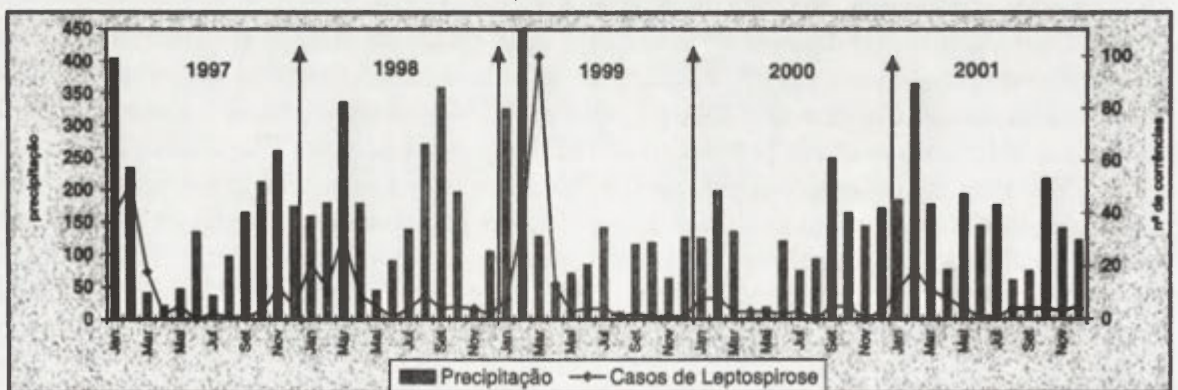
On a vérifié que la zone où ont été enregistrées le plus d'occurrences de leptospirose dans l'État correspond à la Région Métropolitaine de Curitiba, ce qui peut se justifier par la caractéristique géographique de sa localisation, soit, un relief plat avec de grandes plaines inondables qui favorise l'étalement des eaux pendant l'été pluvieux, créant ainsi des conditions idéales pour la répercussion de cette infection. Un autre facteur important pour comprendre la concentration de cas dans la capitale du Paraná (57% des occurrences) est l'efficacité du système d'enregistrement du SMS (Secrétariat Municipal à la Santé).

Quant aux occurrences de leptospirose enregistrées dans la partie Nord, on suppose qu'elles sont associées, non pas à des épisodes de d'inondations et de débordements estivaux, ce qui peut effectivement arriver dans certaines localités, surtout celles qui se trouvent près ou dans les fonds de vallées de grands fleuves – comme le Tibagi, l'Ivaí et le Paranapanema – mais principalement à la proximité de dépôts d'ordures des villes de la région, environnements aussi très propices à la propagation de rongeurs-vecteurs de la maladie.

À Curitiba, le nombre de personnes infectées par la leptospirose augmente en été, en vertu de l'augmentation du niveau des précipitations. De plus, outre l'augmentation du volume des pluies, il faut signaler que celles-ci surviennent dans un court intervalle de temps, favorisant ainsi l'occurrence d'inondations. Par conséquent, de telles inondations correspondent à un environnement propice à la transmission de la leptospirose. Les mois qui présentent le plus grand nombre de cas ont été respectivement mars et février, soit précisément ceux au cours desquels ont été enregistrées les plus graves inondations dues à l'importante précipitation associée à la saturation du sol et à l'urbanisation.

Si l'on se base sur la figure 1, on remarque la relation entre la variation mensuelle de la précipitation et la variation du nombre de cas de la maladie. Notons aussi que dans la majorité des cas la grande quantité d'occurrences enregistrées dans un mois déterminé, est généralement associée aux indices pluviométriques du mois antérieur, étant donnée la période d'incubation de la maladie (7 à 14 jours en moyenne, pouvant atteindre les 21 jours).

Fig. 1. Relation entre la pluviosité mensuelle et les occurrences de leptospirose à Curitiba (1997 – 2001)



Dans l'analyse spatiale de la leptospirose au niveau municipal, trois facteurs principaux doivent être pris en considération: les conditions sociales de la population, le risque d'occurrence d'inondation et la concentration populationnelle. Le dernier facteur est dû à des raisons évidentes, autrement dit, le risque d'occurrence de leptospirose est proportionnellement important à la concentration populationnelle. Pour ce qui est des deux

autres facteurs, on a vérifié qu'à Curitiba la concentration des cas augmente lorsque l'on s'éloigne du centre ville vers la périphérie; ceci dû à la corrélation existante entre les occurrences de la maladie et les zones pauvres de la ville, en particulier, les zones de sous-habitations, qui justement coïncident avec les zones de débordement des fleuves qui présentent des indices élevés de crues.

L'analyse conjointe des trois aspects (Fig. 2) signalés met en évidence la raison pour laquelle le quartier de Cajuru apparait comme zone à leptospirose endémique. La densité démographique élevée (7601,87 hab/km²) et la condition critique de pauvreté, alliées au fait qu'une considérable partie du quartier soit sujette aux inondations et qu'il s'agisse d'une zone de sous-habitation (Mendonça, 2001), explique que le quartier Cajuru présente les conditions idéales pour que se dissémine la leptospirose.

Conclusions

Tant au niveau de l'État qu'au niveau municipal, les occurrences de la maladie accompagnent le régime des pluies, autrement dit, la plus grande quantité de cas a été enregistrée en été et au début de l'automne, tandis que l'hiver et le printemps démontrent un taux d'incidence plus limité.

Du point de vue spatial, la partie litorale de l'État dont les indices pluviométriques sont supérieurs à ceux des autres régions, apparait comme endémique de la maladie. Par contre, on a vérifié que la zone où a été enregistré le plus grand nombre d'occurrence de leptospirose dans l'État correspond à la Région Métropolitaine de Curitiba, fait qui peut se justifier par la caractéristique géographique de sa localisation, associée à l'efficacité du système d'enregistrement de la capitale.

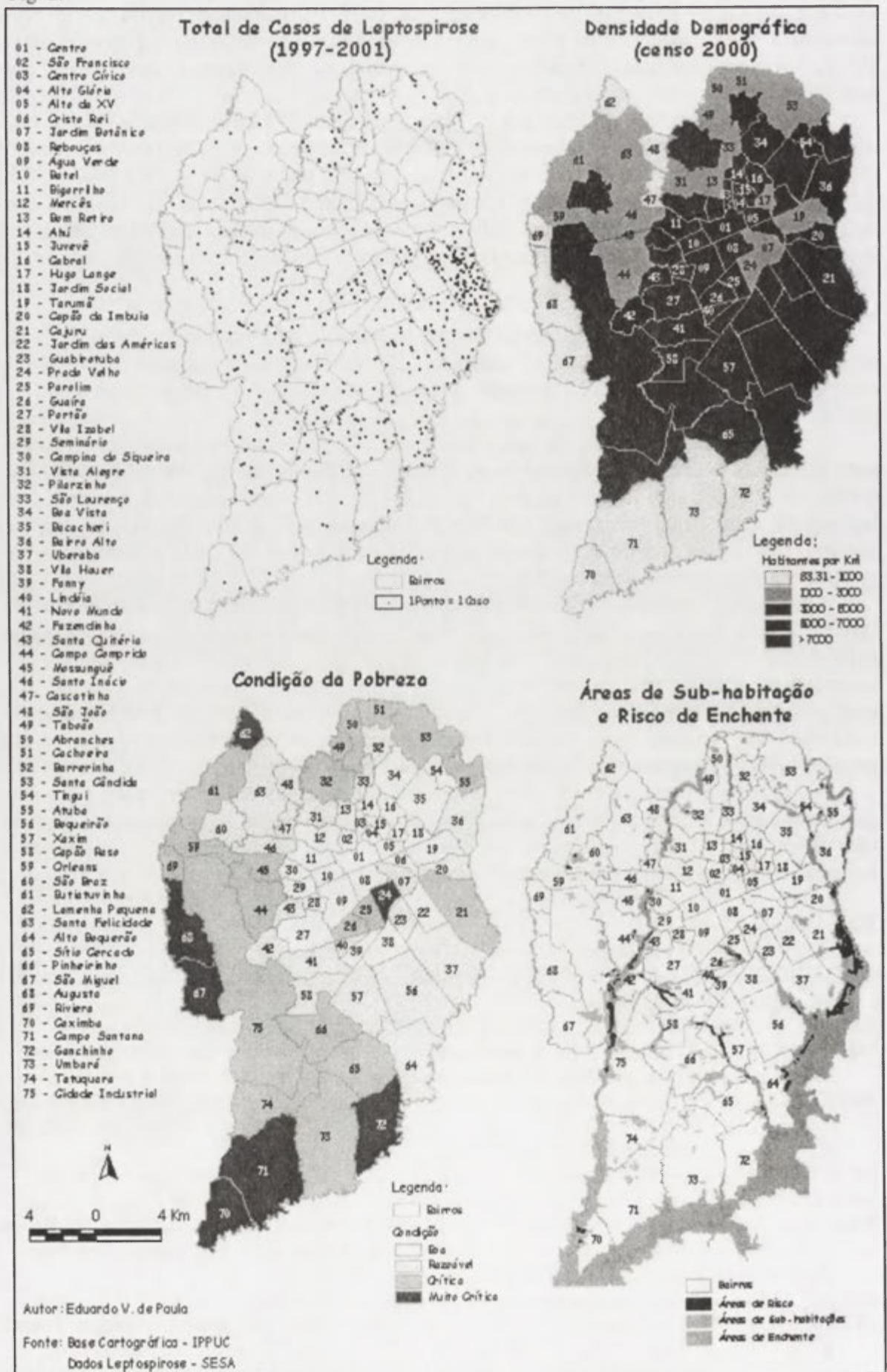
À Curitiba, on remarque que dans les régions périphériques de la ville, surtout dans les favelas et dans les zones illégalement occupées, généralement situées sur des terrains non appropriés à l'habitation humaine, parce que dans des zones de crues fluviales, sujettes aux inondations, sont les endroits les plus propices à la prolifération de la maladie. Ces endroits, sont presque toujours habités par des personnes à bas revenus, qui ne bénéficient ni du ramassage des ordures, ni du traitement des eaux usées, ni du système d'égouts, ce qui contribue alors à l'augmentation de la population de rats.

Cependant, on remarque que dans la majorité des quartiers de la ville, même dans ceux qui communément ne sont pas victimes d'inondations, des cas de leptospirose ont déjà été enregistrés. Ceci nous amène à croire que l'excès de milieux favorables à la prolifération de rongeurs est un autre facteur fondamental pour contrôler cette maladie.

Bibliographie

- AYOADE, J.O., 1986: *Introdução à Climatologia dos Trópicos*. Editora Difel.
- GUIA BRASILEIRO DE VIGILÂNCIA EPIDEMIOLÓGICA., 1998: 5 ed. Ver. ampl. Brasília: Fundação Nacional de Saúde.
- SECRETARIA ESTADUAL DE SAÚDE DE MINAS GERAIS, 1998: *Manual de leptospirose*.
- MENDONÇA, F.A., 2001: *Clima e criminalidade: Ensaio analítico da correlação entre a temperatura do ar e a incidência de criminalidade urbana*. Editora da UFPR.
- MENDONÇA, F.A. et NOGAROLI, M., 2000: O Paraná no aquecimento global: Uma explicitação as relações geográficas entre o local e o global. [Dans:] FRESCA, T. M. et al. (Orgs). *Dimensões do espaço paranaense*. Editora da UEL: 129-152.
- MONTEIRO, C.A.F., 1968: Clima. [Dans:] *A Grande Região Sul*. IBGE, Tomo 1, v. 4: p.14-166.
- MONTEIRO, C.A.F., 1976: *Teoria e clima urbano*. Instituto de Geografia da USP.
- PAULA, E.V., 2001 et 2002: Evolução temporo-espacial de algumas doenças em Curitiba e no Paraná ao longo do século XX: cólera, dengue, meningites e leptospirose – Abordagem Climatológica. *Relatórios de Atividades de bolsa UFPR-IC/CNPq.*, inédito.
- ROUQUAYROL, M.Z., 1999: *Epidemiologia e saúde*. Editora MEDSI.
- SORRE, M.A., 1984: Adaptação ao meio climático e biossocial – geografia psicológica. [Dans:] MEGALE, J. F. (Org.) *Max Sorre*. Editora Ática, 1984, Coleção Grandes Cientistas Sociais, 46.

Fig. 2.



ASPECTS GEOGRAPHIQUES DE LA MENINGITE DANS LE PARANÁ ET À CURITIBA/BRÉSIL (1992-2002): UNE APPROCHE CLIMATOLOGIQUE

Francisco MENDONÇA, Eduardo V. PAULA

UFPR – Dep. Geografia – Laboclima

Centro Politécnico – Jardim das Américas, 81531-970 Curitiba /PR. Brasil

(chico@ufpr.br)

Mots clés: climat, meningite, Paraná/Curitiba-Brésil

Abstract: The relation between climatic conditions and human health – meningites incidence – on the Paraná's and its capital – Curitiba (south of Brazil) is focused in this text. The dates cover the decade 1992-2002.

Introduction

Pour commencer, il faut prendre en compte le fait que l'analyse de l'influence du climat sur la santé humaine au Brésil, et en particulier sur les incidences de maladies est extrêmement lacunaire dans les études qui relèvent du domaine de la climatologie. Ce type d'étude est d'autant plus important que le manque d'attention portée à l'examen des conditions climatiques favorables à la manifestation et au développement des maladies explique (en partie) leur nature récurrentes dans la population brésilienne.

La multiplicité des causes de la méningite rend l'étude de cette maladie quelque peu complexe, en particulier les bactériennes et les virales. De plus, parmi les bactériennes, il n'est pas toujours possible d'identifier la bactérie responsable et parmi les virales, normalement le virus à l'origine de la maladie n'est pas isolé. Remarquons encore que dans beaucoup de cas de méningite, on arrive même pas à identifier si elles sont dues à une bactérie, à un virus, ou à un autre microorganisme, ce qui complique encore plus l'analyse de son incidence (Paula, 2002).

En général, les méningites correspondent à des infections dans le Système Nerveux Central (SNC) qui atteignent les méninges. Elles sont dues à de multiples causes et caractérisées par la présence de fièvre, de céphalée intense, de vomissements, signes d'irritation des méninges et d'altérations du liquide céphalorraquidien (LCR).

Méthode employée

Pour l'étude des méningites dans le Paraná, outre l'information qui concerne la date, la localisation et l'évolution des cas, on a identifié aussi leur origine, c'est à dire, à quel groupe étiologique elles appartiennent. Les données relevées recouvrent la période comprise entre les années 1992 et 2001, et, exception faite de celles qui sont antérieures à 1996, organisées dans une banque de données du Département des maladies immunothérapeutiques du Secrétariat de l'État à la Santé, ces données viennent directement du SINAN (Système d'Informations Nationale du Relevé des Recrudescences).

Les données qui concernent la ville de Curitiba correspondent à la période comprise entre les années 1996 et 2001 et proviennent, elles aussi, du SINAN. Les données sur la santé supramencionnées, comme celles sur la population cédées par le IBGE (Institut Brésilien de Géographie et de Statistiques) ont été traitées statistiquement par le programme Microsoft Excel, puis organisées sous forme de banque de données dans le programme Microsoft Access. Par la suite, cette banque de données a été traitée sur Arc view GIS 3.3, qui a servi au développement de la représentation spatiale de la maladie analysée, sur des bases cartographiques fournies par l'IPPUC (Institut de Recherche Planification Urbaine de Curitiba) et par le SEMA (Secrétariat de l'Etat à l'environnement).

Pour l'étude de la température de l'air dans le Paraná, on a utilisé des informations de huit stations météorologiques de l'INMET (Institut National de Meteorologie du Brésil) et de

33 autres dont les informations ont été fournies par la SIMEPAR (Système Meteorologique de l'Etat du Paraná). Les informations de température de l'air utilisées à l'échelle locale se réfèrent à la station Curitiba de l'INMET, située à 25° 26' S et 49° 16' W, à une altitude de 929m.

Résultats

Lorsque les occurrences de méningite sont analysées sans en différencier la causalité, on vérifie qu'il n'existe pas de variation saisonnière: la moyenne mensuelle d'ocurrence varie entre 291 et 207 cas enregistrés, dans les mois de janvier et de mai. L'étude des méningites a montré qu'il s'agit d'une maladie endémique, tant dans l'État du Paraná comme à Curitiba, dont les incidences et les indices de létalité sont élevés. Du point de vue spatial, on remarque au niveau de l'État une relation directe entre les enregistrements de cas et la densité populationnelle; des 399 municipalités, seules cinq ne présentent pas de cas de cette pathologie dans la période observée.

On a commencé par élaborer une analyse des méningites causées par la bactérie *meningococo*, puis de celles qui sont causées par les virus en général, parce que les premières présentent des coefficients d'incidence et des taux de létalité élevés, tandis que les virales présentent de plus grands coefficients d'incidence comparativement aux autres méningites.

Ainsi, en ce que concerne la méningite méningocoque, on a vérifié dans le Paraná une incidence moyenne annuelle de près de 357 cas, avec une létalité annuelle moyenne de 19,5%, soit, un décès pour chaque groupe de cinq personnes infectées par *meningococo*. Si on observe le pourcentage mensuel de cas de méningite méningocoque, on vérifie tous les ans une nette augmentation des incidences durant les mois d'hiver. On remarque aussi une plus grande densité de cas dans la partie Sud-est de l'État, en particulier dans la municipalité de Curitiba qui atteint un total de 892 occurrences entre 1992 et 2001.

En ce qui concerne les méningites virales, on a remarqué que dans le Paraná, la moyenne annuelle d'ocurrence est de presque 1250 cas. La variation d'une année sur l'autre est considérable: prenons par exemple 1997, l'année de moindre occurrence avec 855 cas enregistrés et 2001, celle de plus grande occurrence, avec 1447 cas enregistrés. Une telle variation peut être mis en relation avec le fait que certains virus à l'origine de méningites soient associés à des contagions et à des épidémies. La variation mensuelle met en évidence les mois de novembre, de décembre et de janvier, qui sont les mois les plus chauds de l'année avec des moyennes thermiques élevées.

Si on observe l'incidence de cas de méningites virales dans le Paraná (Fig. 1), on constate une concentration significative de cas dans la partie Nord, Nord-ouest, Sud-ouest de l'État, partie de même championne des moyennes thermiques annuelles. à l'inverse, on remarque une plus grande densité de cas de méningites méningocoques (Fig. 2) dans la partie Sud-est de l'État, en particulier dans la municipalité de Curitiba. Ces informations, liées à la forme de transmission du *meningococo* qui se transmet d'une personne à l'autre, par le biais des sécrétions nasopharyngales, permettent de mettre en évidence que la concentration d'occurrences dans cette partie de l'État se doit à ses caractéristiques climatiques (région où prévaut le climat Cfb, dont l'hiver présente une température moyenne qui varie entre 9°C et 15°C) et à sa concentration populationnelle (Mendonça, 2001).

La relation entre l'occurrence des méningites virales dans le Paraná et la température de l'air se révèle quelque peu évidente, ce qui nous amène à penser que parmi les virus à l'origine de ce type de méningite les enterovirus dominant, puisque leur incidence augmente dans les mois chauds de l'année. Une telle relation devient encore plus perceptible quand on prend en considération les 3558 cas confirmés dans la seule municipalité de Curitiba entre 1996 et 2000. La variation dans le nombre de cas de cette modalité de méningite est doublée, de manière assez nette, de la variation de la température de l'air (Fig. 3). De cette manière, on peut montrer que l'incidence de ce groupe de causes de méningite est plus importante dans les mois les plus chauds de l'année et qu'elle est aussi rattachée à la très grande densité populationnelle de cette ville.

Fig. 1.

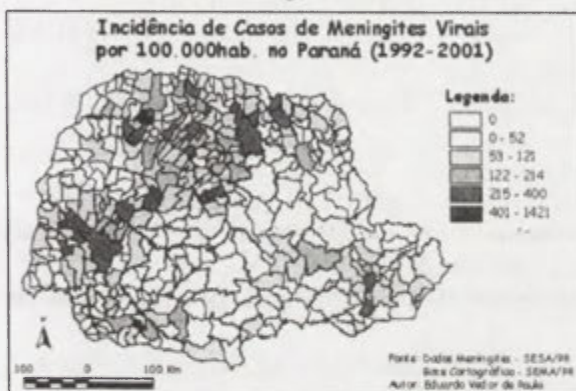


Fig. 2.



Fig. 3.

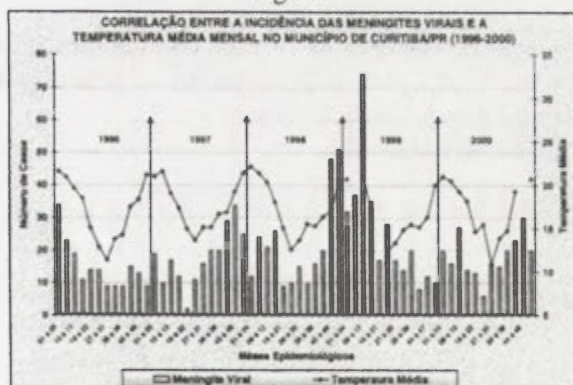
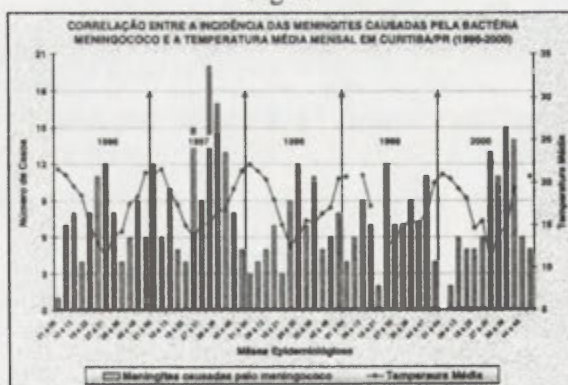


Fig. 4.



Conclusions

L'étude des méningites a démontré la nature endémique de la maladie dans l'État du Paraná, dont les taux d'incidence et les indices de létalité sont élevés, principalement chez les enfants de moins de 9 ans.

La considérable diversité de causes des méningites rend leur répartition spatiale et leur nature saisonnière assez complexes. En ce qui concerne leur nature saisonnière, on s'est aperçu que les méningites causées par le méningocoque (bactérienne) présentent un taux d'occurrences élevé en hiver, à cause de leur mode de transmission; Par contre, les méningites virales qui appartiennent au groupe de plus grande incidence, prédominent en été, en particulier à cause de l'action de ceux que l'on appelle les entérovirus.

Du point de vue spatial, les deux groupes de causes principalement étudiées, les méningites virales et les méningites méningococques, obéissent à des modes de distribution opposés, cependant, toutes deux sont directement liées à la densité populationnelle et suivent les configurations climatiques de l'État du Paraná. Tandis que les méningites virales

prédominant dans toute la région de climat Cfa, les méningocoques dominent dans les zones d'influence du climat Cfb.

Les changements climatiques perçus dans tout le Paraná, ainsi que ceux subit par Curitiba et l'augmentation de la température enregistrée ces dernières années peuvent être favorable à l'augmentation des cas des méningites, dont la plus grande occurrence est en été, surtout les virales causées par des entérovirus. À l'inverse, celles qui prédominent en hiver, surtout la méningocoque, pourraient voir leur incidence diminuer, parce que, d'une part, l'incidence des infections respiratoires qui en facilitent la transmission serait moindre et d'autre part, les personnes resteraient moins enfermées chez elles, changement comportemental qui diminuerait le risque de transmission.

Bibliographie

- ALCANTARA, P. et MARCONDES, E., 1978: (Org.). *Pediatria Básica*. Edit. SARVIER.
- AUSTRIAN, R. et BENNETT JUNIOR, I. L., 1977: Infecções Pneumocócicas. [Dans:] WINTROBE et. all. *Harrison Medicina Interna*. Guanabara Koogan.
- BRASIL. Ministerio da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Centro Nacional de Epidemiologia, 1984: *Guia de Vigilância Epidemiológica*.
- FARHAT, C.K. et alli., 1988: *Infecções e parasitoses em pediatria*. Edit. HARBRA.
- GATRELL, A. C., 2002: *Geographies of health – An introduction*. Blackwell Publishers.
- KAKULAS, B. et ADAMS, R.D., 1977: Viroses do sistema Nervoso: Meningite Asséptica.. [Dans:] WINTROBE, et. al. *Harrison Medicina Interna*. Guanabara Koogan.
- LACAZ, C.S. et al., 1972: *Introdução à geografia médica do Brasil*. Edgard Blücher/Editora da Universidade de São Paulo.
- MENDONÇA, F.A., 2001: *Clima e criminalidade: Ensaio analítico da correlação entre a criminalidade urbana e a temperatura do ar*. Editora da UFPR.
- MENDONÇA, F.A. et NOGAROLLI, M., 2002: O Paraná no aquecimento global: uma explicitação das relações geográficas entre o local e o global. [Dans:] *Dimensões do Espaço Paranaense*. Editora da UEL.
- PAULA, E.V. de, 2001 et 2002: Evolução temporo-espacial de algumas doenças em Curitiba e no Paraná ao longo do século XX: cólera, dengue, meningites e leptospirose – Abordagem Climatológica.. *Relatórios de Atividades de bolsa UFPR-IC/CNPq*. inédito.
- ROUQUAYROL, M.Z., 1999: *Epidemiologia e saúde*. Editora MEDSI.

L'INCIDENCE DE LA DENGUE DANS LE PARANA ET A CURITIBA /BRESIL: APPROCHE CLIMATOLOGIQUE DE LA PERIODE 1995-2002

Francisco MENDONÇA, Eduardo V. PAULA, Márcia M. F. OLIVEIRA
UFPR – Dep. Geografia – Laboclima
Centro Politécnico – Jardim das Américas, 81531-970 Curitiba/PR. Brasil
(chico@ufpr.br)

Mots clés: climat, dengue, Paraná/Curitiba-Brazil

Abstract: The relation between climatic conditions and human health – dengue incidence – on the Paraná's and its capital – Curitiba (south of Brazil) is focused in this text. The dates cover the period 1995-2002.

Introduction

Parmi les maladies récurrentes/iteratives, la dengue apparait actuellement comme la plus importante des arboviroses qui affecte l'être humain et représente un sérieux problème pour la santé publique mondiale, en particulier dans les pays tropicaux, où les conditions environnementales associées à l'inefficacité des politiques publiques de la santé favorisent le développement et la prolifération du *Aedes aegypti*, principal moustique vecteur.

La dengue est une infection virale aigüe, cliniquement bénigne lorsqu'elle apparait sous forme classique, mais qui peut être grave lorsque hémorragique. Sous forme commune, elle présente une période d'incubation d'entre 5 à 8 jours, et un taux de létalité très bas. Par contre, cette maladie peut être grave et très souvent fatale, surtout chez les enfants, et peut être associée à n'importe lequel des 4 types de sérum connus.

Dans le Paraná, les premiers enregistrements/registrees de cas de dengue datent de 1993; cependant, c'est à partir de 1995 que furent enregistrées les premières grandes épidémies. Parmi celles-ci, celle qui attire notre attention a été enregistrée en 2002, lorsque plus de 5500 cas furent confirmées avant le mois d'octobre. À Curitiba, la préoccupation pour la dengue n'a jamais été aussi importante qu'aujourd'hui, parce que jusqu'en 2001, la capitale du Paraná était considérée par la FUNDASA (Fondation Nationale de la santé) comme une municipalité infectée par le vecteur, mais où la dengue n'était pas transmise. Or, au mois de janvier de cette année, les deux premiers cas autochtones de la maladie ont été confirmés.

Dans ce sens, l'objectif central de cette recherche est d'identifier l'évolution temporelle et spatiale de la dengue à l'échelle régionale, dans l'État du Paraná, et à l'échelle locale, à Curitiba. On se propose, outre d'identifier la relation entre la maladie et les caractéristiques climatiques des régions de majeure et de moindre incidence, d'indiquer/montrez/dénoncer quelles pourraient les causes possibles de cette considérable augmentation du nombre de cas, dans les zones à occurrence saisonnière fréquente, ainsi que celles de son apparition dans les zones jusque là non affectées.

Méthode employée

Pour l'étude de la dengue dans le Paraná, outre l'information qui concerne la date et la localisation des cas, on a identifié aussi leur origine, c'est à dire, si la personne a attrapé la maladie là où elle habite (cas autochtone) ou ailleurs (cas importé). Les données relevées recouvre la période comprise entre les années 1995 et 2002, et, exception faite de celles qui sont antérieures à 1997, organisées dans une banque de données de la Division de Vecteurs du Secrétariat de l'État à la Santé, ces données viennent directement du SINAN (Système d'Informations Nationale du Relevé des Recrudescences).

Les données de la santé supramencionnées, comme celles de la population cédées par le IBGE (Institut Brésilien de Géographie et de Statistiques) ont été traitées statistiquement

par le programme Microsoft Excel, puis organisées sous forme de banque de données dans le programme Microsoft Access.

Par la suite, cette banque de données a été mise en relation avec le programme Arc view GIS 3.3, qui a servi au développement de la représentation spatiale de la maladie analysée, sur des bases cartographiques fournies par l'IPPUC (Institut de Recherche de Planification urbaine de Curitiba) et par le SEMA (Secrétariat de l'État à l'environnement). Par ailleurs, cette recherche a bénéficié des informations supplémentaires, relatives à la présence du moustique vecteur de la dengue (*Aedes aegypti*), relevées par les municipalités de l'État du Paraná entre 1995 et 2001.

Résultats

Les mois de mars et d'avril apparaissent comme ceux où les registres de dengue sont les plus élevés dans l'État, puisqu'ils représentent respectivement 29,89% et 35,56% du total annuel de cas de la maladie; ce sont les mois qui correspondent à la fin de l'été prolongé. On pourrait émettre l'hypothèse selon laquelle, l'occurrence annuelle des totaux les plus élevés durant ces mois peut être liée à l'accumulation de chaleur et d'humidité estivale en fin de saison, qui provoquerait une maturation du milieu et l'installation de meilleures conditions environnementales favorables à la reproduction optimum du vecteur de la dengue. Dans ce sens, la figure 1 permet d'identifier la saisonnalité montrée ci-dessus. Cependant, on y remarque que la dengue n'est pas cyclique, ni endémique dans l'État du Paraná.

Le Secrétariat Municipal à la Santé a commencé à enregistrer les occurrences de la maladie en 1995. À compter de cette année-là jusqu'en 2001, seuls 75 cas furent enregistrés dans la capitale, tous classés comme importés. En 2002, 161 cas ont été enregistrés, dont deux ont été classés comme autochtones par le LACEN (Laboratoire Central du Paraná).

Le fait que jusqu'en 2001 aucun cas autochtone de dengue ne soit apparu se doit à la combinaison de deux facteurs: la réalisation d'un travail de vigilance épidémiologique liée au fait qu'aucune personne infectée par le virus de la dengue ne réside dans la zone correspondante au rayon d'action du *Aedes aegypti* ou du *Aedes albopictus*.

Lors d'une étude introductrice sur la dengue à Curitiba, (Paula 2001 et 2002) a signalé que l'apparition de cas autochtone de la dengue à Curitiba était fort probable, parce que la ville présentait déjà des conditions environnementales propices à l'insertion du moustique vecteur; en effet, ces dernières années, la moyenne de la température annuelle a augmenté de presque 1°C par rapport à la moyenne séculaire et le virus de la dengue était déjà présent dans la ville sous forme de cas importés. Sans compter qu'à ce moment-là, le travail de vigilance épidémiologique n'y était plus réalisé avec autant de qualité que par le passé.

Les informations, signalées par les auteurs cités ci-dessus, se sont vues renforcées en 2002, lorsque l'incidence de cas importés a considérablement augmenté, à cause de l'épidémie de dengue au niveau national. Un autre élément à relever concerne les températures élevées enregistrées pendant les mois d'été, les plus élevées de ces 20 dernières années, ce qui sans aucun doute a favorisé la prolifération de l'*Aedes*.

La distribution des cas de dengue dans l'État du Paraná est assez hétérogène; les cartes montrent l'existence de zones à forte concentration de cas enregistrés et celle de zones qui n'en comptent aucun. C'est ce qui se passe respectivement dans la partie Nord, Nord-ouest, Ouest, Sud-ouest et dans la partie Centre-sud, Est de l'État (Fig. 2a). Notons que les cas rencontrés dans cette dernière partie sont surtout importés. L'analyse de la carte représentée

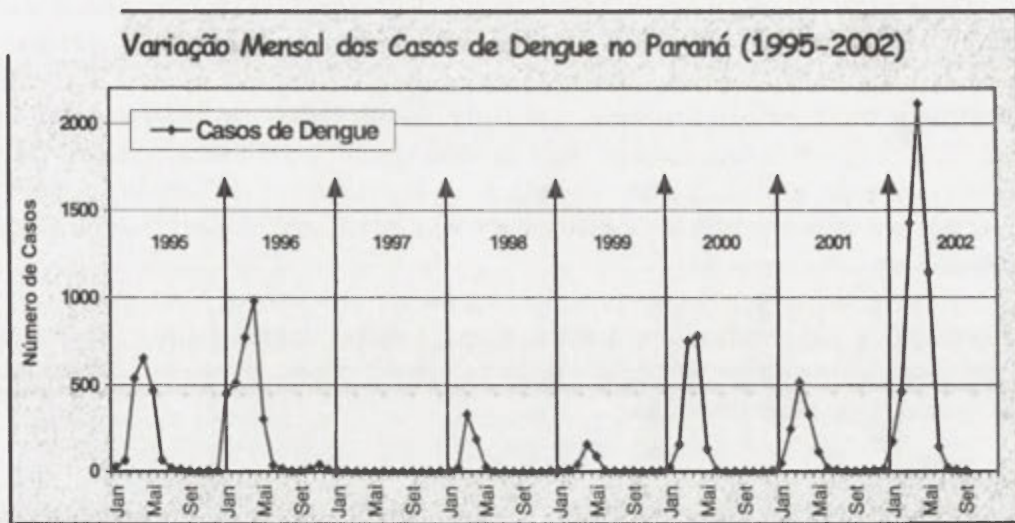
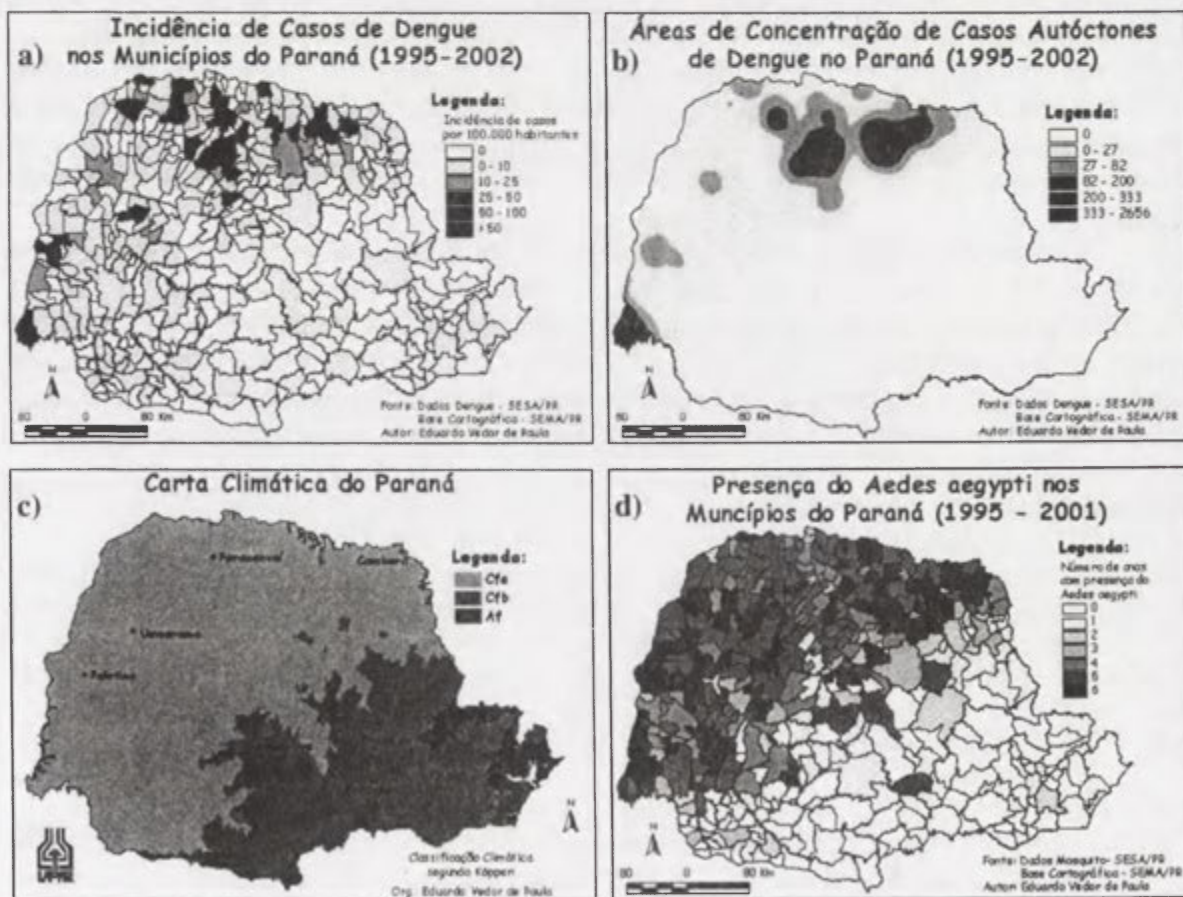


Fig. 1. Variation mensuelle des cas de dengue dans le Paraná (1995-2002)
cas de dengue / nombre de cas

dans la figure 2b, qui montre par le biais de clusters les parties de l'État dans lesquelles il y a une majeure concentration de cas autochtones de la maladie, prouve que leur occurrence se situe pratiquement exclusivement dans la partie Nord, Nord-ouest, Sud-ouest de l'État, en effet on y remarque l'existence d'une ligne de démarcation (dans le sens Sud-ouest/Nord-ouest) qui partage l'État en deux zones d'occurrence de la dengue.

Fig. 2.



Cette ligne de démarcation reflète, aproximativement, le (même) dessin que celui de (la répartition climatique) générique de l'État (en matière de répartition climatique) (Fig. 2c) puisque la zone de plus grande incidence de dengue correspond au type climatique Cfa – chaud et humide. En ce qui concerne la distribution des foyers de *Aedes aegypti* à travers le Paraná (Fig. 2d), on a vérifié que, sur un total de 399, 102 municipalités de l'État ne présentaient pas de cas autochtones de dengue, le vecteur n'y ayant jamais été trouvé. Il est à signaler que ces municipalités se trouvent, dans leur quasi totalité, dans la zone d'influence de type climatique Cfb.

À l'inverse, dans 103 d'entre elles, durant les sept années l'observation, la présence du moustique a été notifiée six années. Dans d'autres municipalités, 72 cas en 5 ans. Signalons que les municipalités de ces deux derniers groupes se situent surtout dans la zone d'influence de type climatique Cfa.

Conclusions

On a vérifié que, dans l'État du Paraná, plus de 90% des occurrences de dengue relèvent de cas autochtones. De plus, celles-ci suivent à un modèle saisonnier, puisque plus de 65% des cas sont enregistrés pendant les mois de mars et d'avril. La variation annuelle des occurrences est importante, présentant des années où les incidences sont rares, voire inexistantes et des années où celles-ci sont très élevées. Du point de vue spatial, on remarque une concentration dans la partie Nord, Nord-ouest, Ouest de l'État, qui peut être attribuée au type de climat dominant dans la région: Cfa – chaud et humide.

Dans la municipalité de Curitiba, depuis qu'ils sont enregistrés (1995) jusqu'en 2001, tous les cas de la maladie ont été importés. En janvier 2002, la ville a enregistré ses deux premiers cas autochtones, dus à la combinaison d'une série d'aspects, tels que: Le reflet de l'épidémie nationale de la maladie, des températures estivales extrêmement élevées, et l'inefficacité du travail de vigilance réalisé par le Secrétariat à la Santé de la municipalité.

Ce contexte évolutif de la maladie dans l'État, et en particulier dans le cas de Curitiba, nous amène à nous poser de sérieuses questions lors de l'analyse de la perspective climatique de cette maladie: Serions-nous en présence d'une expansion du rayon d'action et/ou de l'habitat du *Aedes aegypti* ou du *Aedes albopictus* face au réchauffement planétaire-régional-local?

À l'échelle de l'État, les préoccupations à venir doivent se tourner vers la forte possibilité d'occurrence d'une épidémie dans des proportions supérieures à celles observées en 2002, ainsi que celle de cas de dengue hémorragique, étant donné le nombre élevé de personnes déjà infectées par la maladie. À l'échelle locale, on doit prioriser le travail de vigilance destiné au contrôle des foyers de vecteurs, parce qu'une épidémie à Curitiba, dont les niveaux d'urbanisation et de densité sont extrêmement élevés, serait difficile à contrôler.

Bibliographie

- AYOADE, J.O., 1986: *Introdução à Climatologia dos Trópicos*. Editora Difel.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional da Saúde. Departamento de Operações. Coordenação de Doenças Transmitidas por Vetores, 1995: *Manual de Dengue – Vigilância Epidemiológica e Atenção ao Dengue*. DEOPE.
- LACAZ, C.S. et al., 1972: *Introdução à geografia médica do Brasil*. Edgard Blücher/Editora da Universidade de São Paulo.
- MONTEIRO, C.A.F., 1968: Clima. [Dans:] *A Grande Região Sul*. Rio de Janeiro: IBGE, Tomo 1, v. 4: 14-166.
- MONTEIRO, C.A.F., 1976: *Teoria e clima urbano*. Instituto de Geografia da USP.
- PAULA, E.V. de, 2001 et 2002: Evolução temporo-espacial de algumas doenças em Curitiba e no Paraná ao longo do século XX: cólera, dengue, meningites e leptospirose – Abordagem Climatológica.. *Relatórios de Atividades de bolsa UFPR-IC/CNPq*, inédito.
- ROUQUAYROL, M.Z., 1999: *Epidemiologia e saúde*. Editora MEDSI.
- SORRE, M.A., 1984: Adaptação ao meio climático e biossocial – geografia psicológica. [Dans:] MEGALE, J.F. (Org.) *Max Sorre*. Editora Ática, Coleção Grandes Cientistas Sociais, 46.

LE JOUR DU VENT ET DU FEU EN ROUMANIE

Florin MOLDOVAN*, Adina-Eliza CROITORU*, Carmen Sofia DRAGOTĂ**

*Université "Babeş-Bolyai", Faculté de Géographie

5-7, rue Clinicilor, 3400, Cluj-Napoca, Roumanie

moldovan@geografie.ubbcluj.ro; croitoru@geografie.ubbcluj.ro

**Institut National de Météorologie, Hydrologie et Administration des Eaux

97, rue Bucureşti-Ploieşti, 71581, Bucarest, Roumanie

dragota@meteo.inmh.ro

Mots clés: gradient barique, rafale de vent, incendies, dégâts matériels, victimes

Abstract: In Romania, on March 7, 2002, the weather was characterized by extreme wind conditions (over 40 m/s, especially in the Carpathians regions). The phenomenon was generated by a very high pressure gradient between the Southern and Northern regions of Europe. The main effects of strong winds were many fires and trees felling almost all over the Romanian territory.

Introduction

L'étude présente l'évolution du temps et ses conséquences sur l'environnement en Roumanie le 7 mars 2002. Dans cette période, l'élément météorologique le plus important pour l'évolution du temps sur tout le territoire de la Roumanie a été l'intensification de la vitesse du vent.

Méthode

L'étude s'est appuyée tant sur l'analyse des cartes synoptiques à la surface et en altitude, que sur l'inventaire des données de vent (vitesse moyenne et vitesse de rafale) recueillies dans 168 stations météorologiques, sur l'ensemble du territoire de la Roumanie. Pour l'appréciation des dégâts, les principales sources de renseignements ont été les communiqués de la Commission Gouvernementale de Défense contre le Désastres, aussi bien que les médias.

Résultats

Les conditions synoptiques. En ce qui concerne la répartition de la pression au niveau de la mer, l'Europe était nettement différenciée en deux parties, séparées par l'isobare de 1015 hPa, qui suivait à peu près la parallèle de 45° N. La moitié méridionale du continent était dominée par un régime anticyclonique, résultant de la jonction de l'Anticyclone des Açores (1030 hPa au-dessus des Îles des Açores), avec un anticyclone continental centré au-dessus de l'Est d'Anatolie (1035 hPa). La moitié septentrionale de l'Europe était sous l'influence d'un champ dépressionnaire (970 hPa au-dessus de la Mer Baltique et 975 hPa au-dessus de la Mer de Norvège) (Fig. 1).

En altitude, la carte de la surface isobare de 500 hPa présentait un talweg orienté NNE-SSW, étendu du Nord du continent jusqu'au bassin occidental de la Mer Méditerranée. Au-dessus de la Roumanie on a remarqué une pente accentuée de cette surface, à laquelle s'ajoutait un important gradient thermique.

Dans ces conditions, au contact entre la masse d'air tropical préexistant et l'air polaire pénétrant de NW vers SE, dans les stations météorologiques de Roumanie la vitesse du vent a dépassée souvent 100 km/h (28 m/s), jusqu'au 145 km/h (40 m/s) sur les cimes des Carpates Orientales (Fig. 2, 3).



Fig. 1. La situation en surface et à 500 hPa, le 7 mars 2002, à 00 h UTC (d'après CME de Bracknell)

Pour les régions de montagne, à l'altitude de plus de 1500 m, les plus grandes vitesses ont été enregistrées dans les Carpates Orientales et les Monts Apuseni (plus de 40 m/s), orientés de nord en sud, presque perpendiculairement sur la direction dominant du vent. Dans les Carpates Méridionales où les altitudes auxquelles sont situées les stations météorologiques sont au moins de 500 m plus élevées, les vitesses ont dépassé de peu 25 m/s. A des altitudes plus basses, les vitesses maximales (environ 20 m/s) se sont produites dans la partie NE et E du territoire (Plateau de la Moldavie) où disparaît l'effet d'abri généré, dans des situations de circulation d'ouest par la présence des Carpates Orientales. Dans la Dépression de la Transylvanie, entourée par les Carpates, les vitesses ont été plus réduites (environ 15 m/s) et principalement en direction de sud-ouest, conformément à l'orientation générales des grands passages des rivières.

Les plus grandes valeurs de la vitesse du vent ont été enregistrées dans la première partie de la journée de 7 mars 2002. Dans l'après-midi, l'aire avec des vitesses de plus de 10 m/s s'est considérablement restreinte affectant surtout la moitié nord du territoire national.

Conséquences sur l'environnement. La puissance du vent a affectée 38 des 41 départements du pays, respectivement 245 localités, en produisant des importantes perturbations dans l'évolution normale de la vie quotidienne. Les plus importants dégâts ont été produits par le feu ouvert, favorisé par le vent fort, particulièrement à la campagne. À l'échelle du pays, se sont produits: 332 incendies, qui ont causé 2 victimes; des dizaines d'animaux brûlés; des

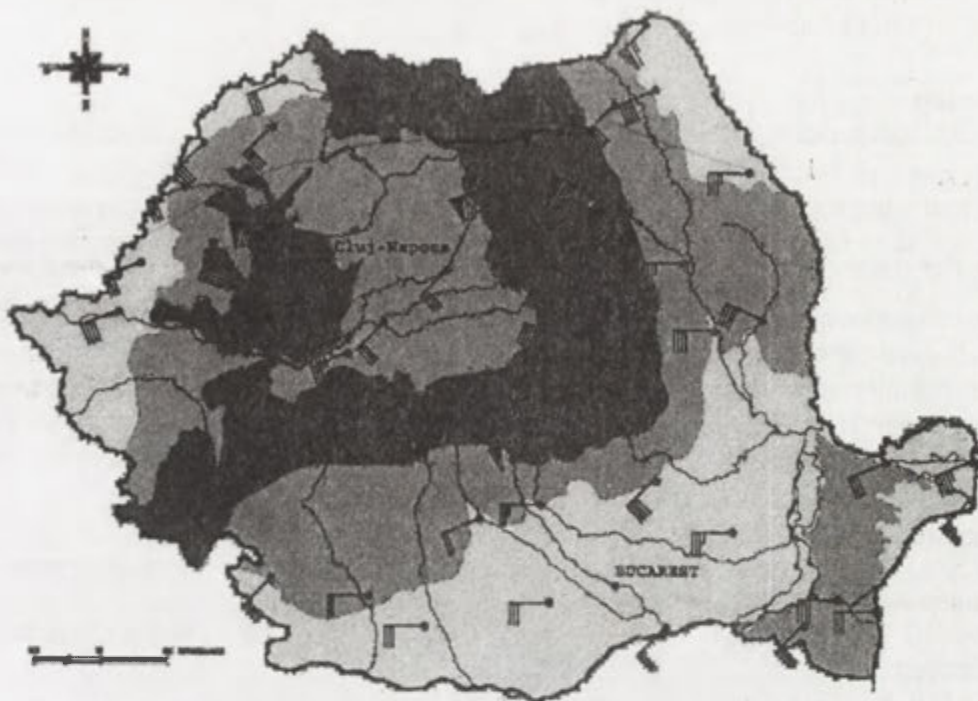


Fig. 2. Les vitesses du vent à rafale supérieure à 10 m/s, le 7 Mars 2002, à 11 h UTC

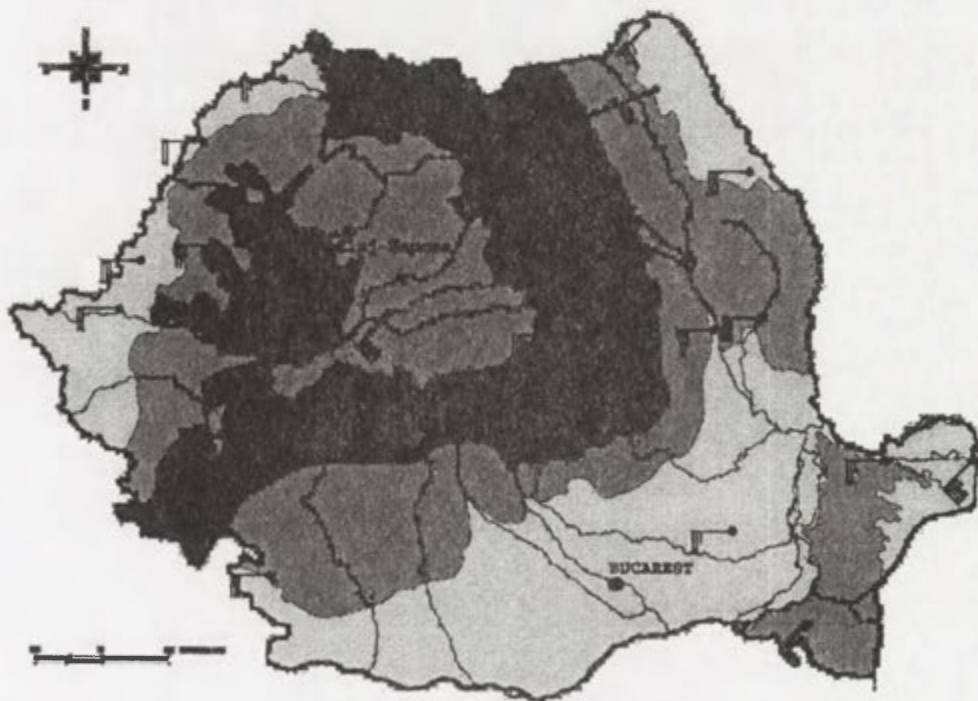


Fig. 3. Les vitesses du vent à rafale supérieure à 10 m/s, le 7 Mars 2002, à 17 h UTC

dizaines de maisons incendiées; la destruction de la végétation sur plus que 60 ha dans la Réserve de la Biosphère du Delta du Danube, etc. À ceux-ci s'ajoutent les dégâts produits par

le vent très intense: plus que 4,1 millions m³ de bois abattu, sur environ 500.000 ha, notamment au NE de la Roumanie; les destructions des lignes de transport du courant électrique (151 localités ont été privées d'électricité) et des lignes pour les télécommunications; l'interruption de la circulation sur certains secteurs de routes nationales et voies ferrées (à cause des arbres abattus), etc.

Conclusion

Synoptiquement, l'intervalle analysé s'est remarqué par un gradient barique très intense, assez rarement rencontré dans cette période de l'année. La situation présentée à été due surtout à la pression inhabituellement élevée qui a caractérisé l'Anticyclone des Açores.

Sur le territoire de la Roumanie, les plus grandes vitesses du vent ont dépassé 40 m/s dans les régions montagneuses et 20 m/s dans celles des collines et des plaines. L'effet de barrage orographique des Carpates s'est fait defférentement ressentir sur le territoire du pays.

Par leur intensité et par la grande surface affectée, les vitesses du vent du 7 mars 2002 ont eu d'importantes conséquences. Plus particulièrement, la situation à risque à été provoquée par le grand nombre d'incendies produits dans l'intervalle analysé. On doit y ajouter les dégâts causés par les abattements massif d'arbres.

Bibliographie

- BĂZĂC, G.H., 1983: *Influența reliefului asupra principalelor caracteristici ale climei României*, Editura Academiei RSR, București.
- BOGDAN, O. et NICULESCU, E., 1999: *Riscurile climatice din România*. Editura Saga-Internațional, București.
- BRYANT, E.A., 1991: *Natural Hazards*, Cambridge University Press.

LE CLIMAT ET L'IMPLANTATION DES HOMMES: CAS DE LA CÔTE D'IVOIRE

Robert MOREL

Ingénieur Général d'Agronomie (C.H.)

19 Rue Henri LOT 91860 EPINAY SOUS SENART

bobmorel@ifrance.com

Mots-clés: cote d'Ivoire, densité de population, saisons culturales

Abstract: In Ivory Coast density of rural population is not homogeneous. Variations do not depends of sociological reasons but the research of lower climatologic risks is the main explication. We show a method based on water balance to find the conditions of subsistence agriculture.

Introduction

L'occupation humaine est très irrégulière sur l'ensemble de la Cote d'Ivoire. Les groupes linguistiques occupent souvent des niches écologiques distinctes montrant une adaptation très nette. Mais la densité de population est très variable même au sein d'un groupe. Cette situation existait au temps de la faible urbanisation (BNETD, 1968). Elle a évolué avec l'accroissement de la population, avec la mise en valeur de certaines régions et le développement des villes.

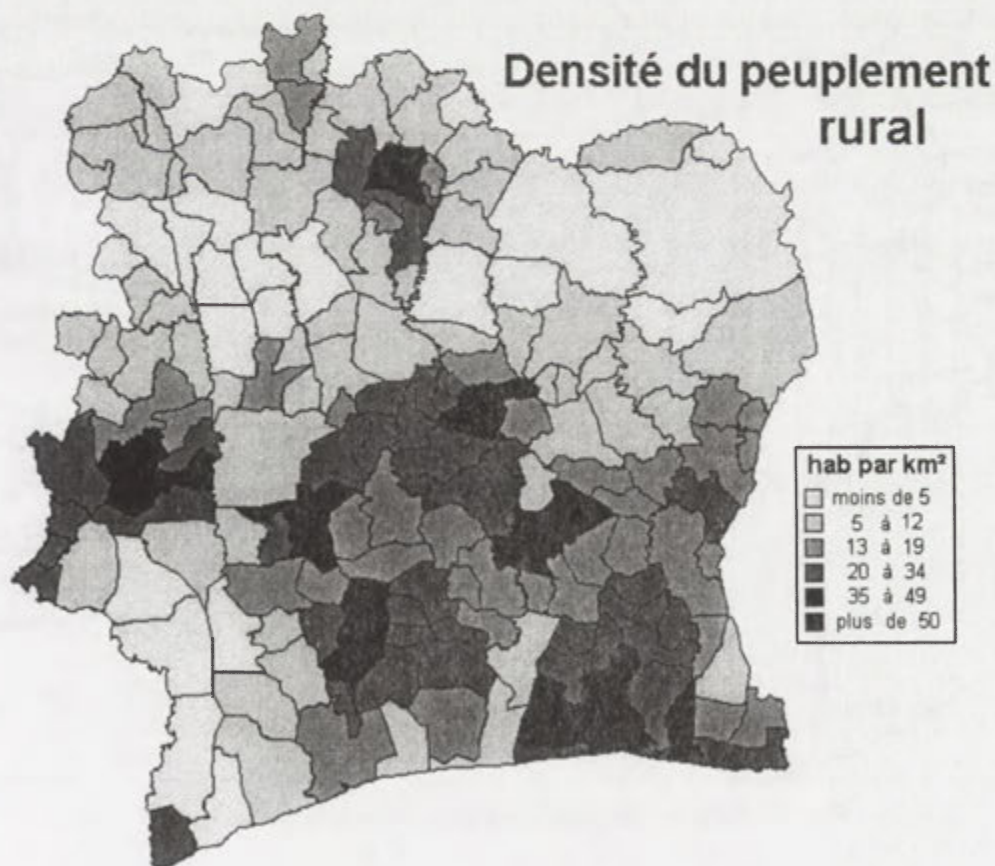


Fig. 1. Densité de la population par districts

Méthode d'étude

Différentes explications des causes initiales de ce peuplement irrégulier ont été avancées. Il ne faut pas perdre de vue que les sociétés initiales étaient des sociétés rurales. D'abord on invoque des motifs sociologiques mettant en relief les querelles entre groupes et leurs implantations relatives après une série de migrations. Il y aurait ainsi une plus forte densité sur le pourtour du groupe pour éviter toute incursion des voisins. Des motifs écologiques retiennent la nature des sols, le type de végétation et les risques sanitaires. Nous allons montrer que les zones à faible population sont principalement celles où le climat est le plus irrégulier. Les risques climatiques ont poussé les paysans à quitter ces régions pour

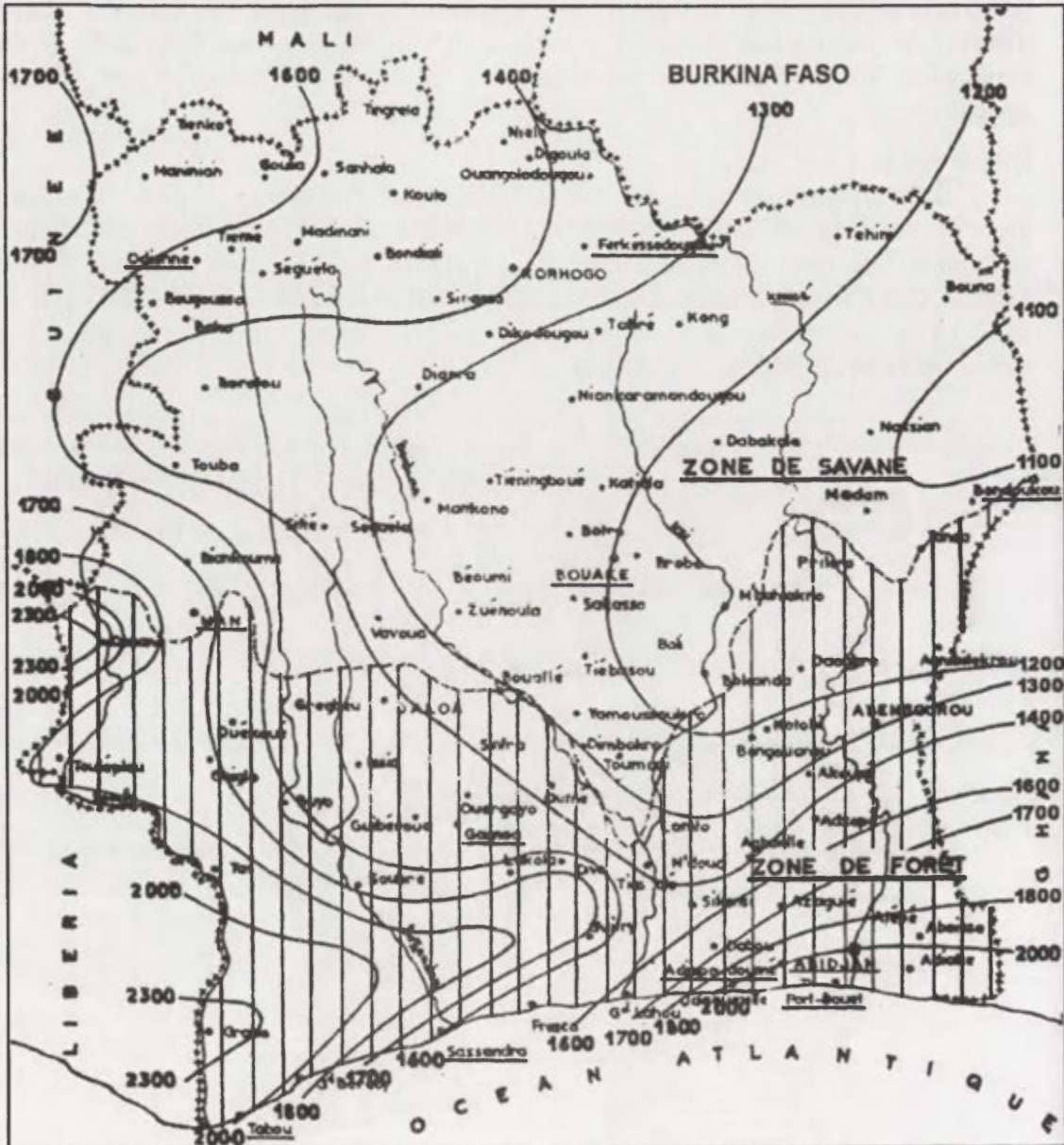


Fig. 2. Moyennes annuelles des pluies et zones écologiques

s'implanter sur des terroirs plus surs. Il n'y a pas de concordance avec la pluviométrie moyenne (Fig. 2).

La densité de la population rurale (Fig. 1) fait apparaître des zones à peuplement peu important. Pour expliquer cette distribution nous allons mettre en évidence les risques climatiques fréquents dans les zones peu habitées. Les facteurs climatiques retenus sont la pluviométrie (120 postes pluviométriques) et 30 années de bilans hydriques sur ces stations. Ces derniers permettent de calculer si l'alimentation en eau, par la pluie, satisfait les besoins de

la végétation. Le calcul des bilans est fait pour trois types de sols caractérisés par des comportements hydrodynamiques différents. Le régime pluviométrique ivoirien est bimodal avec deux saisons des pluies (Morel, 1999). L'irrégularité de la pluviométrie est mise en valeur par les dates d'apparition des saisons culturales et par des durées de saison aux probabilités souvent faibles.

Résultats

De véritables failles temporelles se manifestent (Fig. 3), par exemple, autour de Vavoua il y a une variabilité supérieure à 4 mois. Dans ces conditions on ne sait pas quand commencer les cultures et on est condamné à pratiquer des plantations successives.

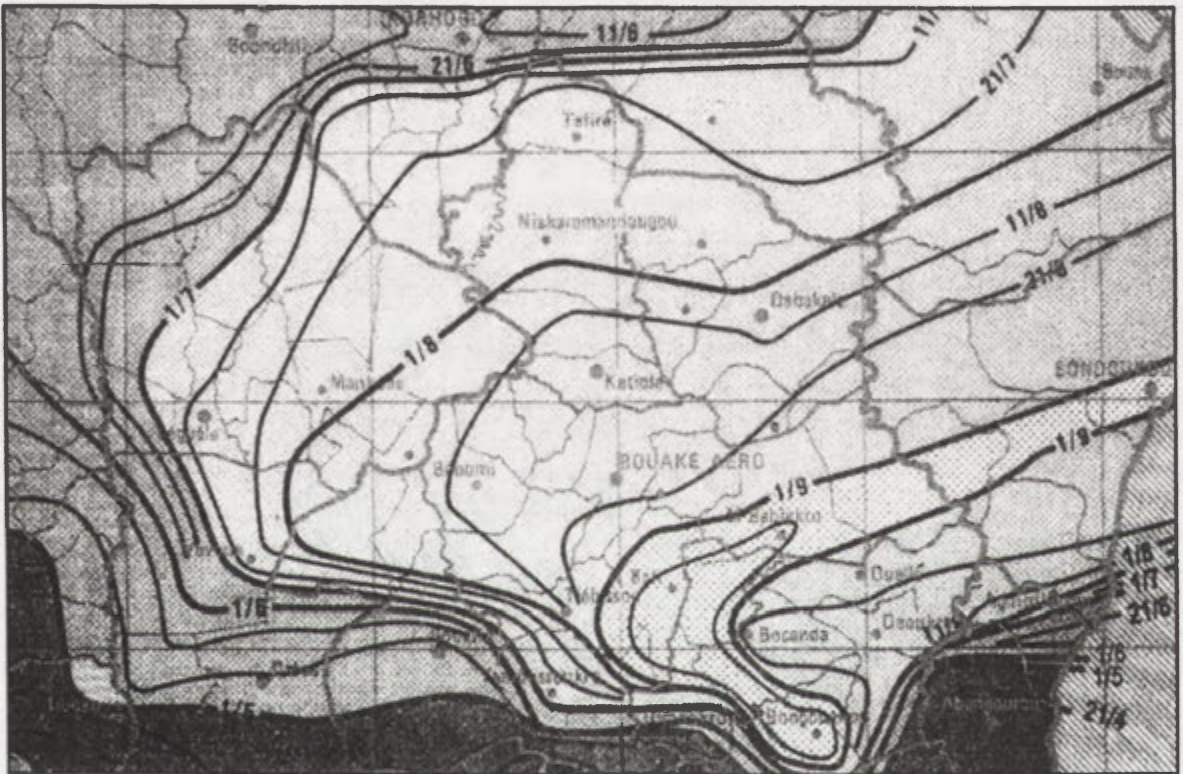


Fig. 3. Dates de début de la seconde saison de culture (probabilité 75%)

Dans ces zones à faible pression démographique on a créé des fermes semencières car il y avait peu de problèmes d'attribution des terres. Les résultats ont été décevants car les fluctuations climatiques interannuelles ont rarement permis l'obtention de récoltes abondantes et de qualité. L'arrière saison est souvent très courte (fig.4) et la probabilité d'un cycle normal de végétation est inférieure à 50% sur un gros tiers du pays, dans la partie nord est (Morel, Raoult, 1979).

La communication abordera rapidement les problèmes méthodologiques et donnera des exemples ponctuels pour la variation interannuelle des saisons avec leurs statistiques de début et de fin. Les risques pour la production des cultures vivrières seront alors mis en évidence.

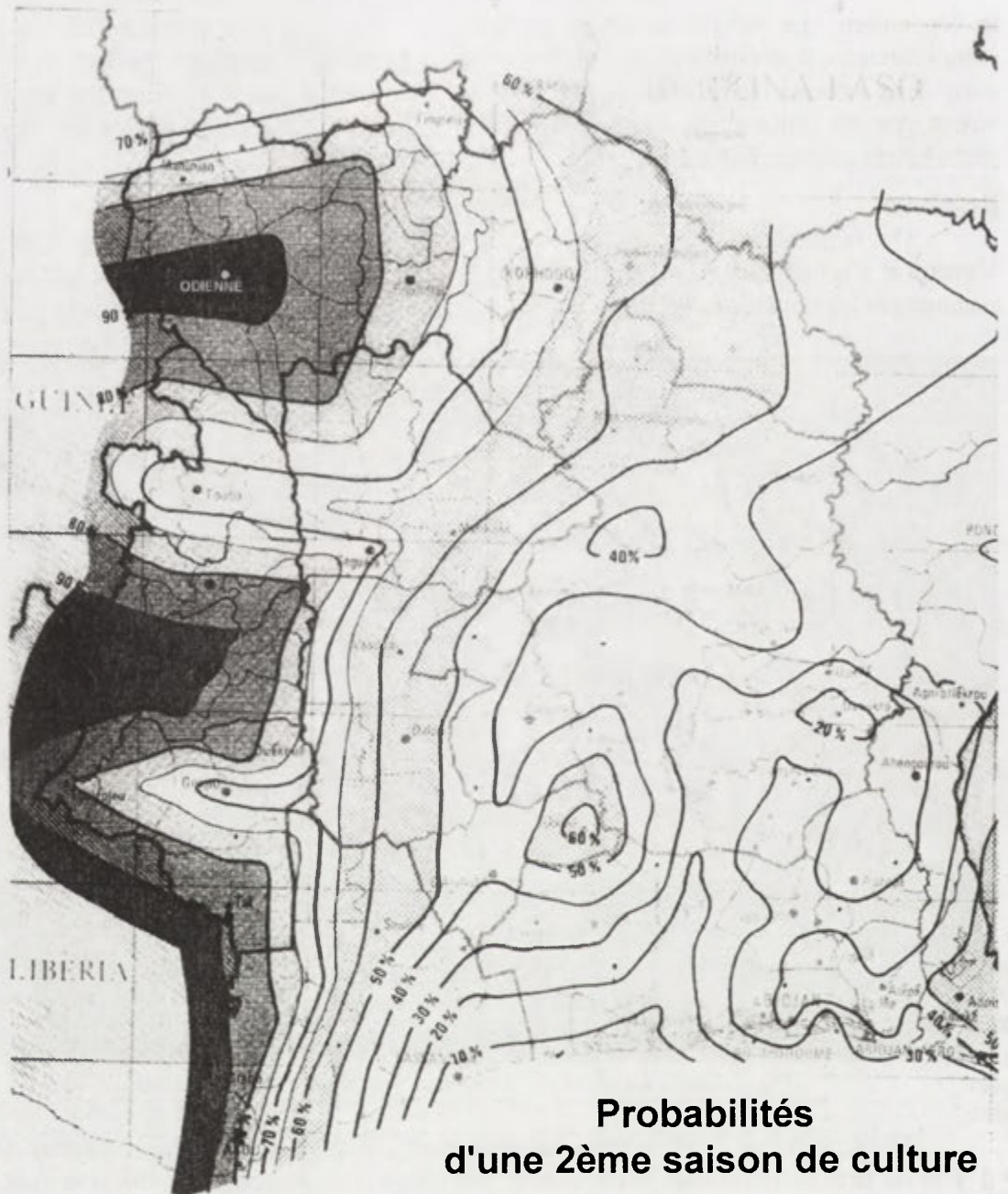


Fig. 4. Probabilité d'avoir 90 jours cultivables en seconde saison

Conclusions

L'exploitation des terres disponibles en faible occupation humaine nécessite de nouvelles techniques culturales pour ne plus dépendre des risques climatiques.

Bibliographie

- BNETD, 1968: *Petite hydraulique agricole*, tome1 : Etude générale 7 tomes, Abidjan.
 MOREL, R, 1999: Saison sèche le long du golfe de Guinée *Publications de l'AIC*, 12: 107-115.
 MOREL, R. et RAOULT, B., 1979: *Agroclimatologie de la Côte d'Ivoire.*: Ministère du Plan Abidjan.
 Editions BDPA Paris, 5 tomes dont un de cartes.

SCENARIOS CLIMATIQUES FUTURS AU CONGO

Marcel MPOUNZA et Gaston SAMBA

*Centre de Recherches sur les Tropiques Humides, Université Marien Ngouabi
BP 3069 Brazzaville – République du Congo*

Mots clés: Congo, MCG, Model MAGICC/SCENGEN, changement climatique

Abstract: Scenarios of the future climate to Congo, has support soft use MAGICC/SCENGEN (general circulation model – GCM). However, grids of this model have a resolution too great (5° of latitude x 5° of longitude), while studies of climate change impacts and vulnerability of ecosystems necessitate a local parameter representation, therefore a finer grids. Variations of climatical parameters of representative stations have been determined from observations of the period of reference 1961 – 1990. Futures scenarios will be for each zone by using results MAGICC/SCENGEN model. But here exists of uncertainties on due regional climatical impacts mainly of a coarse resolution of the GCM and the parameterisation of phenomena in under – grilles.

In the average hypothesis, results of the UKTR model (projection 2050) indicate that in the case of a $2xCO_2$, Congo could have know a warming of the atmosphere varying $0,6^\circ C$ to the North to $1,1^\circ C$ in the coastal zone. One observes however in the “Plateau des Cataractes” and the “Vallée du Niari”. This phenomenon came back in the projection 2100 with increases of temperature in the order 2 to $3^\circ C$.

Projections 2050 and 2100 indicate that the warming will be relatively more important during the dry season (winter) that during the rainy season. All models predict an average increase of more of $2^\circ C$ with rise of $4,5^\circ C$ to Sibiti for the horizon 2100. The model important UKTR anticipates an increase of annual precipitations in the order 4 to 24% (2050) and 6 to 27% (2100). But, one observes on the other the coast more raised values. In the two cases of projections (2050 and 2100) the seasonal increase of precipitations is more. The season JJA (southerly winter) is deficient to the North and stable to the South.

Introduction

- Le Congo est situé entre $4^\circ N$ et $5^\circ S$ et entre $11^\circ E$ et $19^\circ E$ en Afrique Equatoriale Atlantique.

Situation de base climatique

- Les précipitations annuelles, montrent des excédents les décennies 1960,1970 ;
- Les deux dernières décennies (1980-1990) se caractérisent par une tendance à la baisse dans le nord et relativement stable dans le sud (Fig. 1).
- La température moyenne annuelle est comprise entre $23^\circ C$ et $26^\circ C$. Les contrastes saisonniers sont faibles du point de vue amplitude ($1,5^\circ C$ à Impfondo, $1,6^\circ C$ à Ouesso et $2,1^\circ C$ à Souanké) (Fig. 2).

Modèle de GCM

Dans le but d'examiner les scénarios futurs au niveau du Congo, nous avons utilisé le logiciel MAGICC/SCENGEN (modèle de circulation générale – GCM), développé au Climatic Research Unit (CRU), qui permet de construire des représentations spatiales des scénarios de changement climatique (Hulme et al., 1990).

Résultats

Parmi les quatre scénarios de MAGICC, le choix s'est porté sur le scénario moyen du GIEC (IS92a) et la sensibilité moyenne de $2,5^\circ C$ L'analogie entre les GCM (sortie de SCENGEN) HadCM2, UKTR, ECHAM4, CSIRO-TR et CCC-EQ et les paramètres observés

(Fig. 3) est frappante. C'est sur cette base que les GCM HadCM2, UKTR et CCC-EQ ont été choisis en considérant respectivement les hypothèses haute, moyenne et basse.

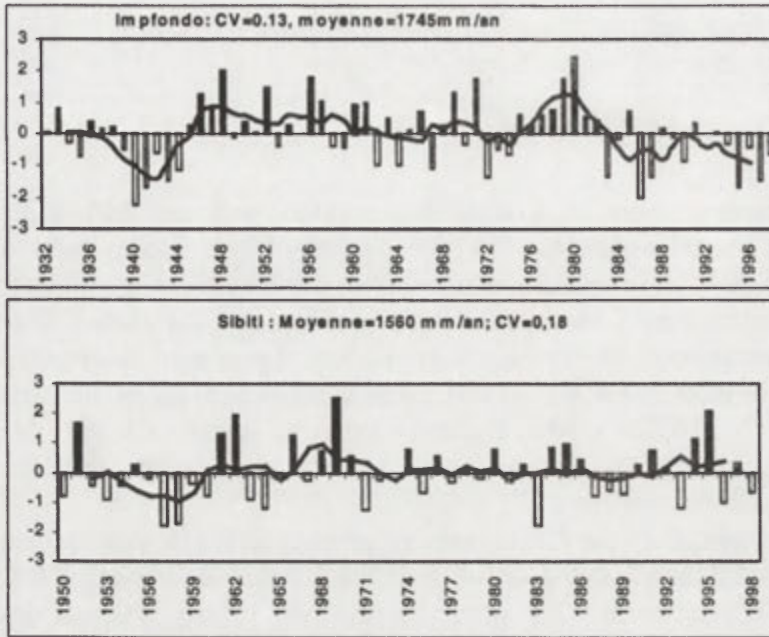


Fig. 1. Evolution des précipitations annuelles

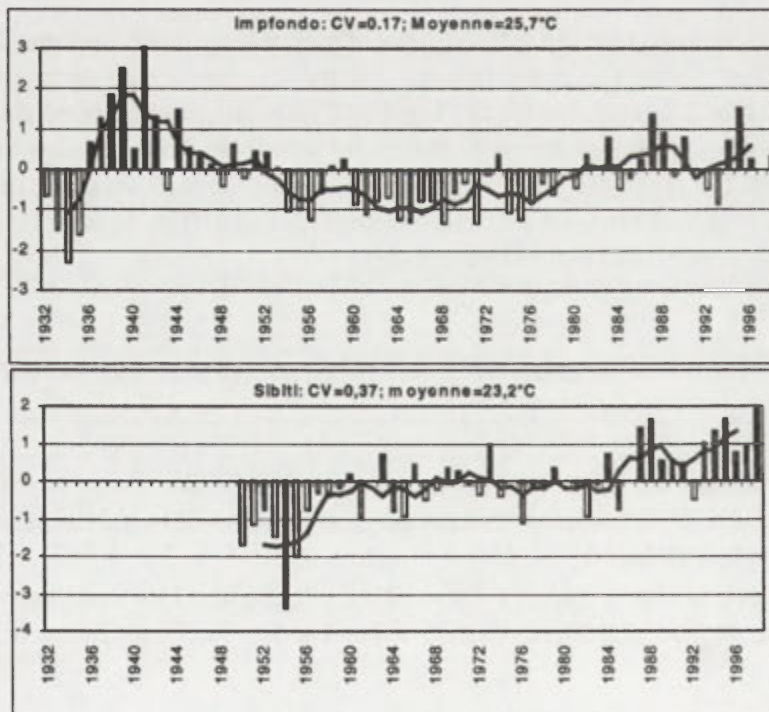


Fig. 2. Evolution des températures moyennes

Températures

Dans l'hypothèse moyenne, les résultats du modèle UKTR (projection 2050) indiquent que dans le cas d'un doublement du CO_2 atmosphérique, le Congo pourrait connaître un réchauffement de l'atmosphère variant de $0,6^\circ\text{C}$ au Nord à $1,1^\circ\text{C}$ dans la zone côtière (Tabl. 1). On observe cependant une singularité de $2,1^\circ\text{C}$ dans le Plateau des Cataractes et la vallée du Niari. Ce comportement se reproduit dans la projection 2100 avec des augmentations de température de l'ordre de 2 à 3°C .

Les projections 2050 et 2100 indiquent que le réchauffement sera relativement plus important pendant la saison sèche que pendant la saison des pluies. Tous les modèles

prédisent une augmentation moyenne de plus de 2°C avec une hausse remarquable de 4,5°C à Sibiti pour l'horizon 2100 (Tabl. 1).

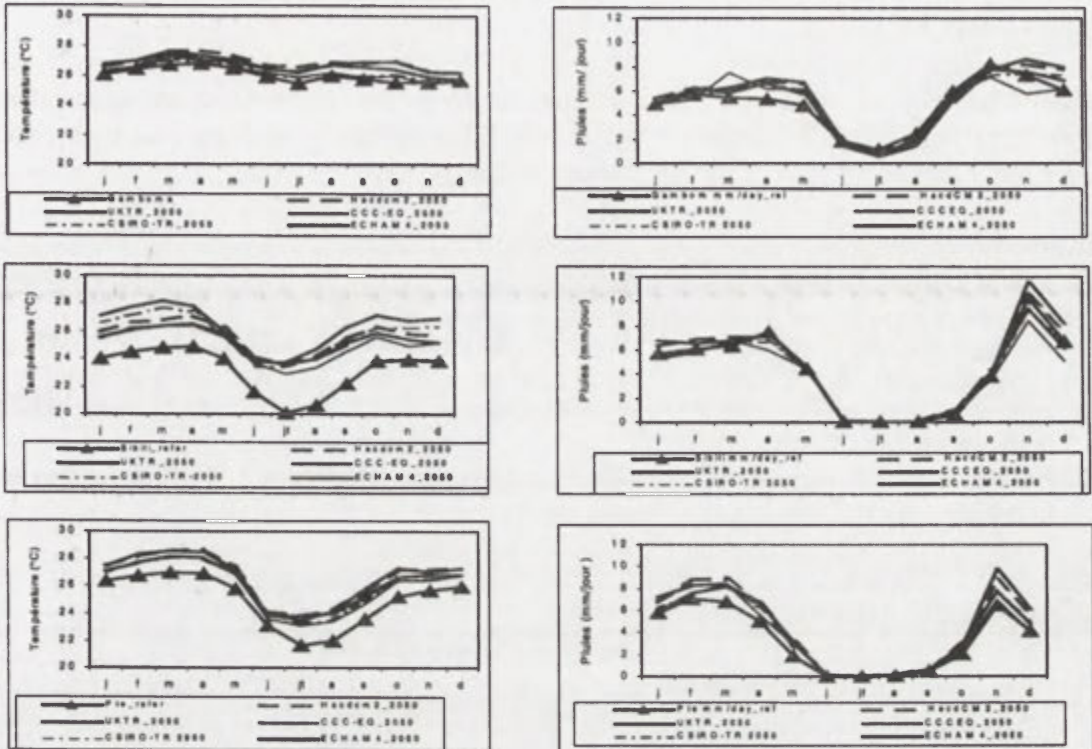


Fig. 3. Sortie GCM et données observées

Précipitations

Le GCM UKTR montre que ce réchauffement entraînera une augmentation des précipitations annuelles de l'ordre de 4 à 24% (2050) et de 6 à 27% (2100). On observe par contre sur le littoral les valeurs plus élevées. Dans les deux cas de projections (2050 et 2100) l'augmentation saisonnière des précipitations est plus marquée. La saison JJA (hiver austral) reste déficitaire au Nord et stable au Sud.

4. Limitations

Les variations des paramètres climatiques des stations représentatives ont été déterminées à partir des observations de la période de référence 1961-1990. Enfin, il a été établi les scénarios futurs pour chaque zone en utilisant les résultats des modèles MAGICC/SCENGEN. Cependant, il existe des incertitudes sur les incidences climatiques régionales dues principalement d'une résolution grossière du GCM et de la paramétrisation des phénomènes en sous-grilles. Cependant, les mailles de ce modèle ont une résolution trop grande (5° de latitude x 5° de longitude), alors que les études d'impacts des changements climatiques et de vulnérabilité des écosystèmes nécessitent une représentation locale des paramètres, donc un maillage plus fin.

Conclusion

L'étude de sensibilité des GCM montre que le phénomène de réchauffement n'épargne pas le Congo. Cependant il n'est pas uniforme sur l'ensemble du territoire national. A l'exception du littoral, les précipitations ont une faible variation.

A ce stade, seuls les impacts de changements climatiques sur un petit nombre de systèmes physiques et écologiques ont été évalués. Les secteurs socio-économiques et de santé publique sont également sensibles tant à l'amplitude qu'au taux de changement climatique. La sensibilité des systèmes avec leur capacité d'adaptation aux nouvelles conditions climatiques, n'a pas encore été étudiée. La majorité des études concernent la

"sensibilité" de la biosphère prenant en compte généralement, un, deux ou une combinaison de quelques contraintes climatiques et non climatiques (entre autres, augmentation de la température, concentration doublée de CO₂, variation dans la disponibilité des nutriments, pollution locale, etc.).

Des études ont été menées sur la base de différents scénarios. Pour l'avenir, il est essentiel d'adopter une approche commune (par exemple, l'adoption de scénarios standards), comprenant des passages à l'échelle supérieure et l'intégration de modèles plus complets, en tenant compte des conditions très particulières du Congo.

Bibliographie

- GIEC, 1992a: *Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment*. Houghton; J. T. Callander B. A. et Varney S. K. (eds.). Cambridge University Press.
- HULME, M., WIGLEY, T. M. L., BARROW, E. M., RAPER, S. C. B., CENTELLA, A., SMITH, S. et CHIPANASHI, A. C. (2000): *Using a Climate Scenario Generator for Vulnerability and Adaptation Assessments: MAGICC and SCENGEN, version 2.4 Workbook.*, Climatic Research Unit, Norwich, UK, Vol. 1.
- IPCC, 1990: *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*. [Houghton, J. T., G. J. Jenkins and J. J. Ephraums (eds.)]. Cambridge University Press.

Tableau 1. Les différents écarts projetés de valeurs des températures moyennes (°C) et des précipitations GCM (HadCM2, UKTR et CCC-EQ)

GCM	Changement climatique en 2050									
	Précipitations (%)					Températures (°C)				
	Impfondo (1°37'N, 18°04'E)									
	DJF	MAM	JJA	SON	AN	DJF	MAM	JJA	SON	AN
HadCM2	-6	11.8	-1.5	12.7	5.7	0.9	1	1.1	1	0.9
UKTR	-5.7	11.6	-2.1	13.3	5.7	0.6	0.6	0.8	0.8	0.6
CCC-EQ	-5.8	11.7	-2.3	12.1	5.5	0.4	0	0.6	0.4	0.3
Gamboma (1°52'S, 15°52'E)										
HadCM2	16	27	-6	3	12	0.4	1.2	1.8	1.6	1.4
UKTR	14	17	-28	1	4	0.1	0.5	0.6	0.6	0.6
CCC-EQ	62	23	-33	-14	-4	0	0.2	0.3	0.1	0.2
Sibiti (3°41'S, 13°21'E)										
HadCM2	11	3	0	4	7	2	-2.1	3.2	2.6	2.5
UKTR	16	-2	0	2	2	1.5	-2.6	3.1	2.1	2.1
CCC-EQ	-15	-7	0	12	-12	1.5	-2.7	2.5	1.8	1.9
Pointe-Noire (4°49'S, 11°54 E)										
HadCM2	24	35	2	33	30	1.4	1.7	1.7	1.9	1.7
UKTR	28	28	2	30	24	0.6	1	1.6	1.3	1.1
CCC-EQ	-5	22	2	13	9	0.9	1	1.1	1	1
Changement climatique en 2100										
Impfondo (1°37'N, 18°04'E)										
HadCM2	-5.6	11.8	-1.1	13.1	5.9	2.3	2.6	2.6	2.6	2.5
UKTR	-5.4	11.6	-2.3	14.2	5.9	1.8	1.9	2.2	2.1	1.9
CCC-EQ	-5.5	11.6	-2.6	12	5.4	1.5	0.7	1.8	1.3	1.3
Gamboma (1°52'S, 15°52'E)										
HadCM2	23	31	0	7	20	1.8	2.4	2.6	2.7	2.5
UKTR	21	14	-39	4	4	1.2	1.7	2.1	1.9	1.9
CCC-EQ	-2	23	-33	-14	-4	0.9	1.1	1.5	1	1.2
Sibiti (3°41'S, 13°21'E)										
HadCM2	23	8	10	6	14	2.6	-1.4	4.5	3.8	3.4
UKTR	31	00	00	4	5	2.4	-1.5	4.5	3.3	3.2
CCC-EQ	-15	-7	00	-12	-12	3.6	-1	3.8	3.4	3.6
Pointe-Noire (4°49'S, 11°54 E)										
HadCM2	35	39	70	37	39	2.7	3.1	3.3	3.5	3.1
UKTR	44	30	70	33	27	1.8	2.2	2.9	2.6	2.4
CCC-EQ	-5	22	70	13	9	1.8	2	2	1.9	2

CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES DES STATIONS BALNEOCLIMATIQUES DU LITTORAL ROUMAIN DE LA MER NOIRE

Gheorghe NEAMU

Université „Valahia” Târgoviște

Șos. Nicolae Titulescu 121, Bl. 2, Sc.1, ap.38, București, 78151, Roumanie

gneamu @ hotmail.com

Mots clés: littoral roumain, topoclimat, influence de la Mer Noire

Abstract: The Rumanian Black Sea littoral is 244 km long. By its geographical characteristics it is divided into two zones: a) the lagoon littoral area, between Chilia arm and Cape Midia and b) littoral cliff area, situated between Cape Midia and settlement Vama Veche (at the frontier with Bulgaria). The Romanian health and spa resorts are placed in the cliff area – shown on the poster.

Introduction

Le climat du littoral roumain a été caractérisé, d'une manière subjective dans la période antique, par le poète roman Ovidiu, exilé sur le bord du Pont Euxin, comme un climat inhospitalier, avec des hivers durs, dominés (comme écrivait le poète dans ses «Tristes»), par des fortes gelées et vents violents.

Dans ce poster nous voulons démontrer, basé sur les observations du dernier siècle, que la nomination du «climat inhospitalier» ne se justifie pas et que les données météorologiques soulignent un climat en général favorable pour la vie économique et particulièrement pour la cure balneaire (pendant le saison estival).

Méthode

On a interprétées les données météorologiques des stations Constanța (avec plus de 100 ans d' observations) et Mangalia (avec plus de 40 ans d' observations). Toutes les deux stations météorologiques sont situées sur le littoral roumain sud, avec falaise.

On a dressé des hystogrames et des climogrames (dans le système Walther et Lieth), qui mettent en évidence les périodes de sécheresse ou celles avec peu de pluie, favorables pour la cure balneaire sur le littoral roumain de la Mer Noire (les hystogrames et les climogrames seront envisagés sur le poster et dans la communication qui sera présentée pour la revue de l' AIC).

Résultats

a) La température de l'air. La position du littoral roumain sur la direction nord-sud (donc bien ensoleillé, plus de 10 heures par jour dans les mois de juin, juillet, août), l'albedo différent (sur le sable, sur les surfaces à végétation spontanée ou aménagée dans les parcs), mais d'avantage la présence de la Mer Noire, sont les principales causes qui différencient le topoclimat spécifique du littoral de topoclimats voisins du Plateau de la Dobroudja ou de topoclimats plus lointains de la Plaine Roumaine.

L'isotherme annuelle de 11⁰C limite à l'ouest le topoclimat du littoral (par une surface large de 15 à 20 km). Sur le bord de la mer, on enregistre des valeurs plus grandes: 11,3°C à Constanța et 11,2°C à Mangalia.

Les variations multiannuelles ne dépassent pas 3°C. Ainsi, la plus élevée température moyenne annuelle a été de 12,4°C à Constanța (dans les années chaleureuses 1936, 1937 et 2000) et la plus petite valeur moyenne a été de 9,5°C (1933, 1963).

C' est intéressant d'observer les températures moyennes mensuelles des mois froides d'hiver. De l'analyse de ces valeurs on constate qu'elles sont comparables à celles du littoral de la Mer Adriatique (6,7°C à Constanța, dans le janvier de 1895), mais aussi des valeurs spécifiques pour l' est de l' Europe (-8,1°C dans le janvier de 1942 et decembre 1971, toujours à Constanța)

Dans les stations balneoclimatiques de littoral, pendant le mois de juillet, on enregistré des valeurs moyennes assez réduites, en comparaison avec les autres régions de la Roumanie. Ainsi à Constanța, où l'influence de la mer est grande, la température moyenne mensuelle n'a touché jamais la valeur de 25°C. Les plus grandes valeurs moyennes de 24,8°C et 24,7°C ont été enregistrées en 1938 et 2000, en temps qu'à Bucares et Alexandria, villes situées dans la Plaine Roumaine, les valeurs moyennes de 25 et 26°C sont fréquentes en juillet.

La maxima et la minima absolues mettent en évidence aussi de valeurs plus modérées en comparaison avec les stations du reste du pays. La température maximale absolue à Constanța a été 38,5°C, enregistrée à 10 août 1947, en temps que dans la Plaine Roumaine, à presque 100 km ouest de Constanța, la maxima absolue a été de 44,5°C (à Ion Sion, 10 août 1951).

Le rôle de thermoregulateur de la Mer Noire est ressentie plus fort pendant l'hiver. Ainsi, les températures minimales absolues enregistrées à Constanța (-25,5°C à 5 février 1929 et -22,2°C à 28 janvier 1963 à Mangalia) sont avec 10-15°C plus élevées en comparaison avec la minima absolue du pays (de -38,5°C, à Bod, près de Brașov, à 25 janvier 1942)

b) Les précipitations atmosphériques. Ce paramètre représente l'élément climatique le plus instable, en temps et espace. La présence de la Mer Noire joue un rôle positif pour le tourisme et un rôle négatif pour l'agriculture. Le bassin marin dans la proximité du littoral a une contribution importante dans l'apparition du phénomène de descendance de l'air dans les jours chauds, ce qui explique l'absence de la convection thermique. C'est la cause pour laquelle, à Constanța et Mangalia, dans les mois de juillet tombent 20 mm moins de précipitations, qu'à la Medgidia, station météorologique située sur le Plateau de la Dobroudja, et avec 60–80 mm moins, vis-à-vis de stations du Plateau Getique ou de Plateau Mehedinți, toujours dans la partie sud de la Roumanie, mais éloignées de mer.

Les quantités maxima de précipitations tombées en 24 heures sont, en général, plus petites pendant l'hiver et augmentent pendant l'intervalle chaud de l'année. A Constanța, la quantité maximale tombée en 24 heures a été de 112,3 mm à 6 juillet 1939 et à Mangalia, 140,2 mm à 24 août 1947. Ces valeurs sont relativement petites en comparaison avec les quantités tombées dans le Plateau de la Dobroudja ou dans le Delta du Danube, pas si loin de littoral avec falaise, mais en conditions locales différentes de la surface active. Ainsi, à Negru Vodă sont tombées 320 mm à 17 août 1900 et à Letea (dans le Delta), pendant un intervalle de 36 heures, de 29 à 30 août 1924, sont tombées 690,6 mm de précipitations.

Conclusions

Les stations balnéo-climatiques du littoral roumain de la Mer Noire possèdent de conditions climatiques favorables pour la cure. Ainsi, les températures pendant la saison estivale sont modérées par la présence de la mer, ce qui assure le confort thermique nécessaire pour plage et bain. Les plages des stations bénéficient d'une insolation presque permanente (pendant le mois de juin, juillet et août ont enregistré à Constanța 963 heures d'ensoleillement, c'est-à-dire une moyenne de 10–11 heures par jour).

Le confort thermique est complété par la présence permanente de brises locales qui soufflent le jour de la mer vers le littoral et la nuit, dans le sens inverse.

Bibliographie

- BLAŢEJCZYK, K., 1984: Metody kartowania biotopoklimatycznego uzdrowisk. *Dok. Geogr.* T. L II, z 1.
- BOGDAN, O. et ALEXANDRESCU M., 1989: Phenomenes de dessèchement et de sécheresse dans la Dobroudja, *RRGGG – Geogr.*, 32: 53-58.
- MIHĂILESCU, I.F. et BUCŞĂ, I., 1993: Quelques aspects des conditions de la sécheresse dans la Dobroudja de Sud (Roumanie). *Public. de l'associat. internat. de climat.* 6, 25-34, France.
- NEAMU, GH., TEODOREANU, E., 1972: Clima Dobrogei. Influența sa asupra economiei. *Stud. și cercet. de Geogr. a Dobrogei, Constanța.*
- TEODOREANU, E., 2002: Bioclimatologie umană. *Edit. Academiei Rom. București.*

TENDANCES DES REGIMES PLUVIOMETRIQUES DANS LE SUD-EST MEDITERRANEEN FRANCAIS (1950-2000)

Caroline NORRANT, Annick DOUGUEDROIT
Institut de Géographie, UMR 6012 Espace, Université de Provence
29 avenue Robert Schuman, 13621 Aix-en-Provence, France
cnorrant@hotmail.com annick.dougedroit@up.univ-aix.fr

Mots clés: précipitations, régimes pluviométriques, tendances, sud-est méditerranéen français

Abstract: Decreasing significant trends (1950-2000) do not affect French mediterranean rainfall, except during few months: March (West of the Rhône river), November or October (East of the river), and November (Rhône valley). They correspond to significant decreases in mean daily rainfall and negative relations with regional mean sea level pressures.

Introduction

Dans la perspective actuelle du changement climatique, les scénarios de sortie des modèles s'accordent sur une diminution de la pluviométrie dans le Bassin méditerranéen pour ce siècle (IPCC, 2001). Cependant, ces scénarios manquent de précision à l'échelle régionale, notamment en ce qui concerne la région méditerranéenne française. Les études antérieures ont montré que les tendances annuelles et saisonnières des précipitations régionales et stationnelles y sont en général décroissantes mais pas de façon significative (Douguédroit, Norrant, 2002 ; Moisselin et al., 2002). Les objectifs de cette étude sont, dans un premier temps, de déterminer les tendances des régimes pluviométriques mensuels, des précipitations quotidiennes à différents seuils et du nombre de jours de pluie de diverses stations de cette région. Afin de mettre en évidence le poids prépondérant des pressions locales nous établirons une relation entre précipitations et pressions de surface. Ce type de relation n'a été étudié qu'en Israël (Kutiel, Paz, 1998).

Données et méthodes

Les données de précipitations sous forme de cumuls quotidiens et mensuels proviennent de 24 stations réparties de façon non homogène dans la région méditerranéenne française (origine: MétéoFrance) (Fig. 1). Les pressions de surface utilisées sont celles mesurées à la station de Perpignan (origine: MétéoFrance) et celles de trois points de grille à proximité de la station: 42,5N-0, 42,5N-2,5E et 42,5N-5E (réanalyses du NCEP: National Center for Environmental Prediction, USA).

L'étude s'étend sur 50 ans de septembre 1950 à août 2000 (années hydrologiques). Les pas de temps étudiés sont: mensuel (cumuls des précipitations et moyennes des pressions de surface), quotidien (précipitations et nombre de jours de pluie), pour lequel on a retenu 4 classes: précipitations comprises entre 0,1 et 10 mm, supérieures ou égales à 10mm, supérieures ou égales à 5mm et comprises entre 5 et 10 mm.

Les tendances linéaires, calculées sur les paramètres signalés au paragraphe précédent, ont été testées comme significatives au niveau 0,05 par le test de Kendall. Puis nous avons établi des corrélations simples, considérées comme significatives par le test de Bravais-Pearson au niveau 0,05, entre les précipitations de plusieurs stations à l'ouest et les pressions de surface à Perpignan et aux trois points de grille déjà mentionnés.

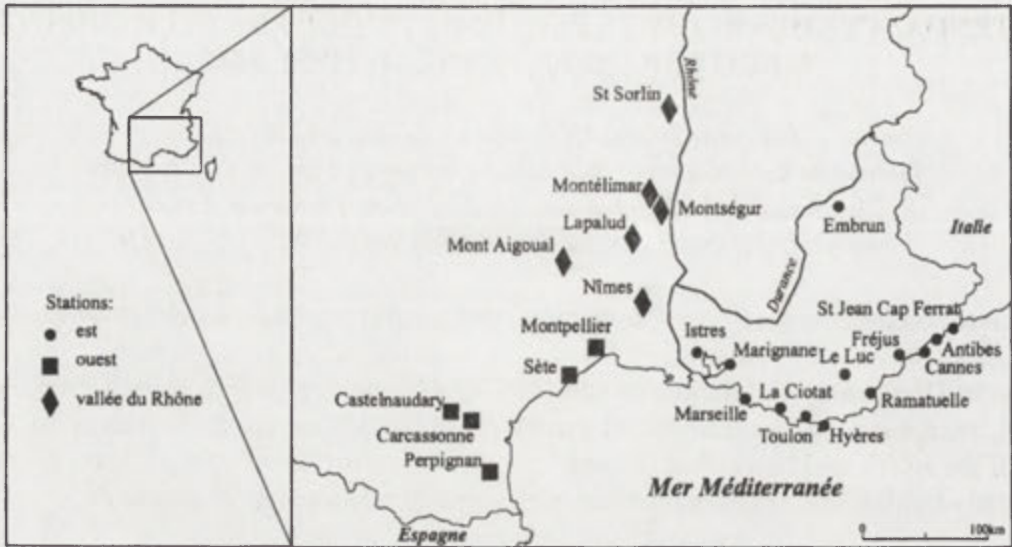


Fig. 1. Localisation des stations pluviométriques

Résultats

Dans l'ensemble, les tendances des précipitations mensuelles ne sont pas significatives, ce qui avait déjà été mis en évidence aux pas de temps annuel et saisonnier dans des études antérieures (Douguédroit, Norrant, 2002 ; Moisselin et al., 2002). Seuls quelques mois présentent une tendance significative, décroissante le plus souvent, ce qui avait été détecté au Portugal pour le mois de mars (Trigo, DaCamara, 2000). Les précipitations quotidiennes en termes de nombre de jours de pluie ont fait l'objet d'une étude portant sur l'Italie de 1951 à 1996, montrant une diminution significative de ce paramètre en hiver (Brunetti et al., 2001). L'étude particulière de la classe des précipitations ≥ 10 mm a été mise en évidence précédemment dans l'analyse des précipitations de l'ouest algérien, qui montraient des tendances significatives à ce seuil (Matari et al., 1999).

- A l'ouest du Rhône.

De Perpignan à Montpellier les précipitations diminuent significativement en mars. Cette diminution peut être associée à une diminution significative du nombre total mensuel de jours de pluie et des pluies moyennes quotidiennes de chacune des classes de précipitations étudiées.

En décembre on note une diminution significative des pluies de la classe ≥ 10 mm sans effet significatif sur le total mensuel dont cette classe ne représente que 7% environ.

- A l'est du Rhône.

De Marignane à St Jean-Cap-Ferrat les précipitations diminuent significativement en octobre. Ces tendances concordent avec une diminution significative des quantités moyennes quotidiennes de pluie mensuelle. Dans toutes les classes nous retrouvons aussi une diminution significative du nombre de jours de pluie, mais sans impact sur les précipitations de la classe concernée; la diminution des totaux mensuels est liée exclusivement à celle du nombre de jours de pluie des différentes classes. Trois stations sont en plus concernées par une diminution significative des pluies en février.

En février et mars la classe de pluie ≥ 5 mm montre une diminution significative associée à une diminution significative des précipitations moyennes quotidiennes et du nombre de jours de pluie mais sans effet au niveau du total mensuel, cette classe ne représentant que 6% environ du total tombé.

En décembre trois stations font exception avec une augmentation significative des précipitations totales: Marignane, Hyères et Ramatuelle.

- Dans la vallée du Rhône.

De Montpellier à St Sorlin, les précipitations diminuent significativement en novembre, tout comme les quantités moyennes quotidiennes de pluie.

En mars et février la classe des pluies $\geq 10\text{mm}$ présente une diminution significative de ses cumuls et des quantités moyennes de pluie quotidienne. Mais son importance relative des précipitations n'induit pas une diminution significative au niveau mensuel.

Ainsi, selon les différentes classes de pluie dont nous avons analysé les tendances mensuelles, nous ne retrouvons pas les mêmes résultats que pour les totaux mensuels. Cela s'explique par l'importance relative des précipitations de ces différentes classes par rapport au total mensuel. Toutefois, il semblerait que la classe $\geq 5\text{mm}$ soit plus propice à influencer les tendances mensuelles des totaux de précipitations que la classe $\geq 10\text{mm}$. De plus, selon l'ensemble sous-régional et le pas de temps (mensuel ou quotidien) que l'on examine, ce ne sont pas les mêmes logiques (diminution du nombre de jours de pluie ou de la quantité quotidienne moyenne) qui entrent en jeu.

- Précipitations et pressions de surface.

Une corrélation simple a été effectuée entre les précipitations de l'ensemble ouest et les pressions de surface mensuelles (Perpignan et les trois points de grille signalés plus haut). Nous avons retenu le mois de mars, au cours duquel les précipitations ont une tendance décroissante significative dans l'ensemble régional associé à la station. Les corrélations obtenues sont toutes inverses, mais significatives uniquement pour les stations côtières (Tabl.1).

Tableau 1. Corrélations entre précipitations et pressions de surface en mars; en gras les résultats significatifs

Précipitations	Pressions de surface à Perpignan	42,5N-0	42,5N-2,5E	42,5N-5E
Perpignan	-0,49	-0,57	-0,53	-0,48
Montpellier	-0,58	-0,62	-0,60	-0,56
Sète	-0,20	-0,18	-0,20	-0,21
Castelnaudary	-0,13	-0,12	-0,11	-0,09
Carcassonne	-0,02	0,00	-0,02	-0,03

Au pas de temps mensuel, l'effet local des pressions de surface est aussi significatif pour les stations côtières, une diminution des pressions créant des conditions favorables au développement de perturbations. Ceci est particulièrement vérifiable pour la station de Perpignan au cours du mois de mars (Fig. 2).

Cependant, les stations de Castelnaudary et de Carcassonne, qui ne sont pas strictement côtières, ne sont pas corrélées significativement aux pressions de surface de Perpignan et des trois points de grille, localisés à une distance importante vers le sud (42,5N-0: Pyrénées espagnoles, 42,5N-2,5E: au sud de Perpignan et 42,5N-5E: sur la mer). Le phénomène n'a donc pas la même prépondérance selon les stations au sein d'une région aux mêmes caractéristiques pluviométriques, le problème essentiel étant que la maille utilisée ici est trop large.

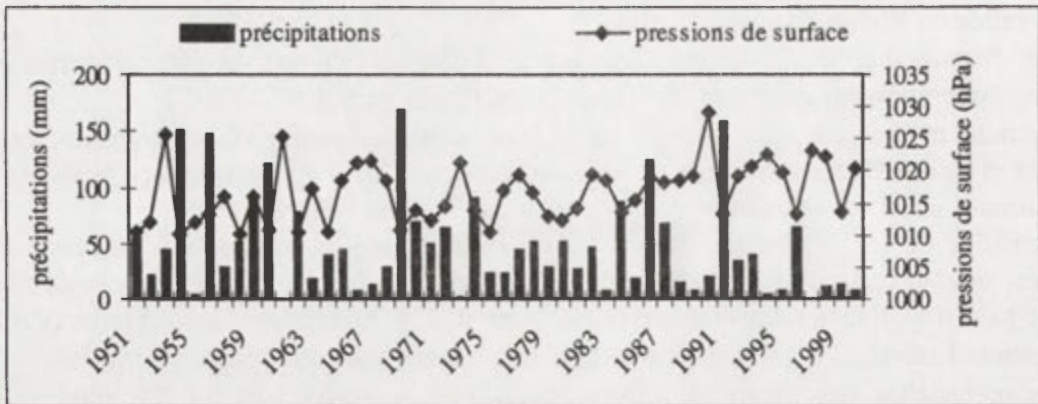


Fig. 2. Précipitations et pressions de surface à Perpignan en mars (corrélacion: -0,49)

Conclusions

Entre 1950 et 2000 dans la région méditerranéenne française les précipitations mensuelles n'ont en majorité aucune tendance significative. Cependant quelques mois montrent des précipitations totales en diminution significative:

- à l'ouest du Rhône en mars, associée à une diminution significative du nombre de jours de pluie; le même signal apparaît dans la classe $\geq 5\text{mm}$, mais associée à une diminution significative des quantités moyennes de pluie quotidienne,
- à l'est du Rhône en octobre, et février pour quelques stations, associée à une diminution de la quantité moyenne de pluie quotidienne; la classe $\geq 5\text{mm}$ montre le même signal, mais associée cette fois à une diminution significative du nombre de jours de pluie,
- dans la vallée du Rhône en novembre, suivant la même logique de diminution de la quantité moyenne de pluie quotidienne.

Enfin la relation entre précipitations et pressions de surface de la région à l'ouest du Rhône est inverse et significative pour les stations côtières uniquement. Ceci est lié d'une part à la localisation des points de grille (Pyrénées espagnoles, sud de Perpignan et sur la mer), bien plus au sud que les stations avec les précipitations desquelles ils sont corrélés, d'autre part à la maille trop large des points de grille.

Bibliographie

- BRUNETTI, M., COLACINO, M., MAUGERI, M. et NANNI, T., 2001: Trends in the daily intensity of precipitation in Italy from 1951 to 1996, *International Journal of Climatology*, 21: 299-316.
- DOUGUEDROIT, A., NORRANT, C., 2002: Annual and seasonal century-scale trends of the precipitation in the Mediterranean area during the twentieth century [Dans:] *Mediterranean Climate. Variability and trends*. H.-J. Bölle ed., Springer: 159-163.
- IPCC, 2001: *Summary for policymakers. A report of Working Group I of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press.
- KUTIEL, H. et PAZ, S., 1998: Sea level pressure departures in the Mediterranean and their relationship with monthly rainfall conditions in Israel, *Theor. Appl. Climatol.*, 60: 93-109.
- MATARI, A., KERROUCHE, M., BOUSID, H. et DOUGUEDROIT, A., 1999: Sécheresse dans l'ouest algérien, *Publ. Assoc. Intern. Climatol.*, 12: 98-106.
- MOISSELIN, J.-M., SCHNEIDER, M., CANELLAS, C. et MESTRE, O., 2002: Les changements climatiques en France au XX^{ème} siècle, *La Météorologie*, 38: 45-56.
- TRIGO, R.M. et DACAMARA, C.C., 2000: Circulation weather types and their influence on the precipitation regime in Portugal, *International Journal of Climatology*, 20: 1559-1581.

MISE EN EVIDENCE D'UN CHANGEMENT DANS LA VARIABILITE PLUVIOMETRIQUE AU BENIN (AFRIQUE DE L'OUEST)

Euloge OGOUWALE, Ibouaïma YABI

*Laboratoire d'Etude des Climats, des Ressources en Eau et de la Dynamique des Ecosystèmes (LECREDE) – Université d'Abomey-Calavi (République du Bénin), BP: 526 Cotonou
ogkelson@yahoo.fr yafi@uva.org*

Mots clés: Variabilité pluviométrique; tendance; changement; rupture; Bénin.

Abstract: This research shows the changes occurred in pluviometric variability in Benin. In effect, the comparative diagnosis of the number of rainy days, pluviometric indices and tendencies etc, realised, using the graphic method and the frequent analysis permit to notice the changes in the statute of pluviometric variability over the periods 1941-1970 and 1971-2000.

Introduction

Le Bénin, pays de l'Afrique Occidentale s'intègre dans le hiatus climatique du golfe de Guinée. La plupart des études réalisées se sont focalisées sur la variabilité des paramètres climatiques (Boko, 1988) alors que de plus en plus on se rend compte, au regard de l'analyse des statistiques que des changements s'opèrent dans cette variabilité notamment au niveau de l'élément pluie. L'étude de cet élément fort déterminant en zone tropicale (Boko, 1988) permet de mettre en évidence des variations au niveau de la période 1941-1970 qui ne sont en rien, comparables à celles de 1971-2000.

Stations choisies, données et méthodes

La présente étude vise à analyser la "métamorphose" de la variabilité pluviométrique enregistrée sur une longue série divisée en deux "normales", 1941-1970 et 1971-2000. L'analyse, comparative devrait permettre une mise en évidence de la dynamique intervenue dans la variabilité pluviométrique au Bénin ainsi que les lois qui prescrivent son comportement temporel. A cet effet, les statistiques pluviométriques annuelles et mensuelles des six stations synoptiques du Bénin ont été collectées. Mais en raison des lacunes, la station de Cotonou Aéroport a été remplacée par le poste climatologique de Ouidah du fait de sa position latitudinale et de sa proximité de la station lacunaire infra évoquée. La figure 1 présente le Bénin en Afrique de l'Ouest et la répartition des stations choisies, pour l'étude.

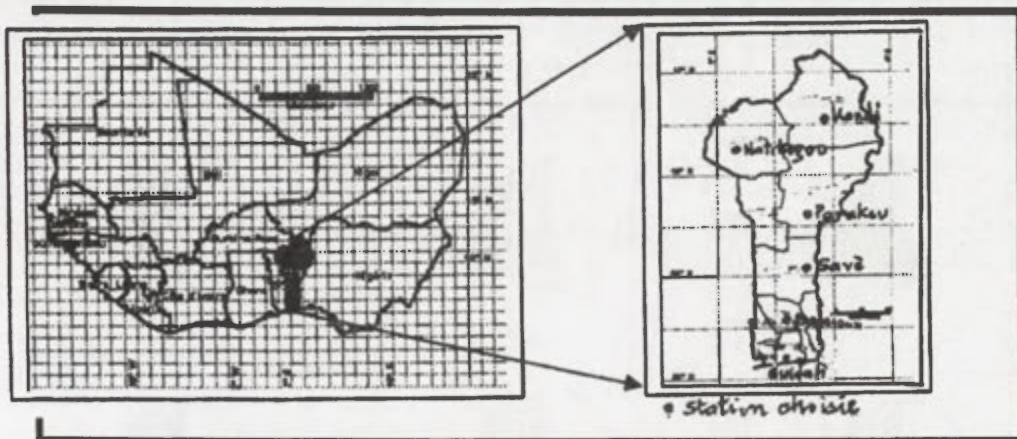


Fig. 1. Répartition géographique des stations choisies

Le cumul du nombre de jours de pluie ($\sum X_i$), l'étalement des saisons et les séquences sèches et pluvieuses, de la "normale" 1941-1970 ont été comparés à ceux de 1971-2000.

Le diagnostic des séquences pluvieuses et sèches a été fait à partir de l'analyse des indices pluviométriques sur la série 1941-2000 et par station, déterminés à partir de la formule

$X_i - X_{moy}/\sigma$ où X_i est la variable étudiée pour une année, X_{moy} la pluviométrie moyenne et σ l'écartype de la série. Par ailleurs, les courbes de tendance fondées sur les moyennes mobiles glissantes sur cinq ans sont utilisées pour cerner les périodes de rupture pluviométrique et déterminer l'occurrence temporelle de la sécheresse connue au cours de la "normale" 1971-2000. En outre, l'évolution des régimes pluviométriques mensuels est connue utilisant l'approche systémique qui combine méthode graphique et analyse fréquentielle.

Résultats

L'analyse des sous-régimes pluviométriques (Fig. 2) indique que les mois de février, de juillet et de décembre sont relativement humides et le mois de juin sec entre 1971-2000 par rapport aux même mois de la période 1941-1970 pour les stations de Bohicon et de Savè. En outre, pour ces mêmes stations, on note un déplacement du mois de maximum pluviométrique de juin en juillet. A Kandi, l'humidité du mois de décembre (1941-1970) disparaît totalement et les mois d'octobre, de septembre et de novembre deviennent mois moins humides au cours de la période 1971-2000. En revanche, les mois d'avril et de mai

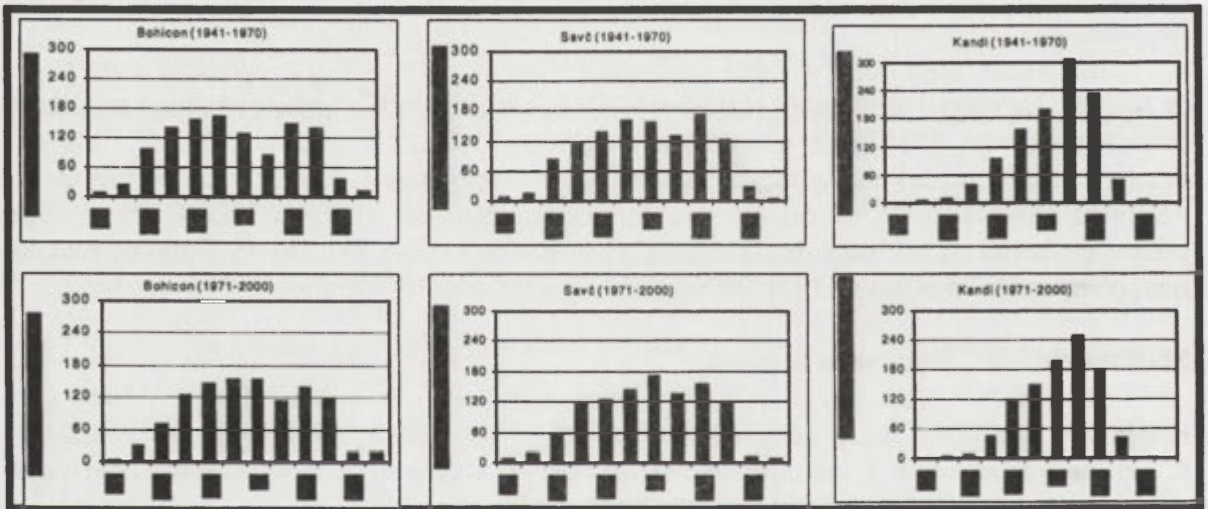


Fig. 2. Régimes pluviométriques au Bénin entre les périodes 1941-1970 et 1971-2000

deviennent plus humides.

L'évolution des régimes pluviométriques mensuels moyens montre que dans l'ensemble le statut de la variabilité (hauteurs pluviométriques mensuelles, étalement des saisons, mois de pic pluviométrique etc.) pluviométrique au cours de 1971-2000 a connu un changement, et ce, comparativement à celui de la période référentielle du climat humide (1941-1970).

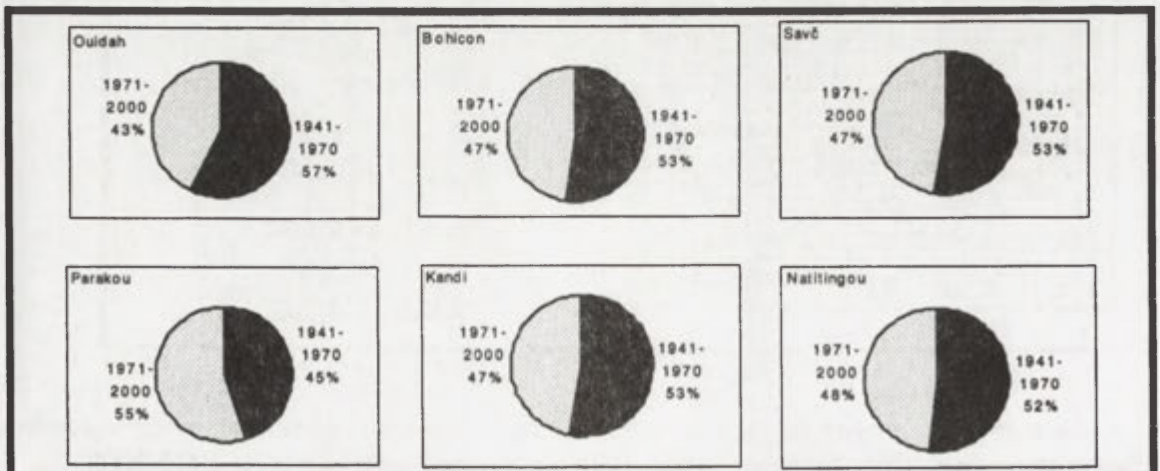


Fig. 3. Evolution du nombre de jours de pluies entre 1941-1970 et 1971-2000

En ce qui concerne les nombres de jours de pluie, la figure 3 permet d'établir en général une loi de régression de 6%. Par conséquent la période couverte par la dernière "normale" est moins arrosée que celle de 1941-1970.

La figure 4 illustre les tendances et ruptures pluviométriques toute station confondue.

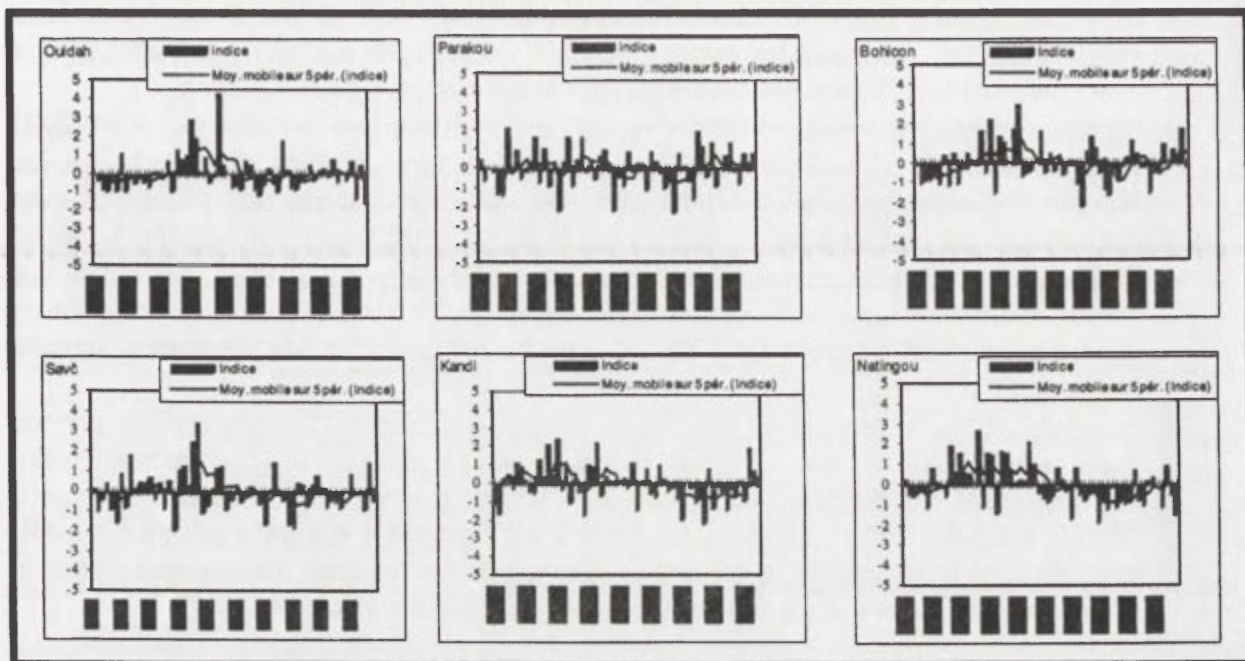


Fig. 4 Tendances pluviométriques (1941-2000) au Bénin

L'évolution des indices pluviométriques est fortement contrastée. L'analyse fréquentielle permet de réaliser globalement que la période 1971-2000 est plus marquée par des séquences sèches. Sur toute la série on note qu'après les abats de l'année 1968 (Bokonon-Ganta, 1987), la tendance à la baisse caractérise désormais le champ pluviométrique béninois.

Le tableau 1 résume la baisse des hauteurs pluviométriques moyennes de la période 1971-2000 comparées à celles de 1941-1970.

Tableau 1. Evolution (%) de la moyenne pluviométrique par station ciblée

Stations	Ouidah	Bohicon	Savè	Parakou	Kandi	Natitingou
Evolution (%) de la pluviométrie moyenne	-13.90	-5.21	-7.77	-1.32	-9.94	-15.50

Source: Résultats de calcul à partir des fichiers pluviométriques de l'ASECNA, 2002

Par ailleurs, la pluviométrie en terme de cumul trentenaire est marquée par une baisse comprise globalement entre 3 et 10%, toute station confondue. Bien entendu Parakou reste stationnaire puis Natitingou et Ouidah, distantes de 600 km, connaissent une baisse de même grandeur (10%).

Du reste, la réduction du nombre de jours de pluie, la multiplication des séquences sèches au démarrage et au cœur des saisons pluvieuses, la forte emprise des irrégularités pluviométriques, le déplacement du mois de maximum pluviométrique, le passage d'un statut humide à un statut sec ou moins humide de certains mois (Fig. 2) etc. sont en somme quelques indicateurs de changement dans la variabilité pluviométrique. Les nuances climatiques régionales tendent à disparaître (Afouda, 1990). Dans tous les cas, la variabilité climatique, tend à augmenter d'ampleur, d'intensité ou d'occurrence. Crues, inondations, sécheresse agricole, réchauffement, faible pluviométrie, déficits hydriques, pénurie d'eau, etc. caractérisent désormais le climat béninois (Boko, 1988 ; Afouda, 1990 ; Houndénou, 1999).

Conclusion

La présente étude, à partir d'une analyse comparative de l'évolution de la pluviométrie sur les "normales" 1941-1970 et 1971-2000 identifie les changements intervenus dans les continuums pluviométriques béninois. Il s'ensuit que:

- le Bénin depuis les trois dernières décennies est sujet à de fortes variabilités pluviométriques, tant spatiales que temporelles. La présente recherche confirme que la "normale" 1941-1970 a été effectivement plus arrosé que celle de 1971-2000;
- les répartitions spatio-temporelles des précipitations au cours de la "normale" 1970-2000 en comparaison à celle de 1941-1970 ne sont en rien superposables et que la baisse des moyennes pluviométriques est significative pour 50% des stations échantillonnées avec des déficits plus accusés pour les stations de Ouidah (13,90%) et de Natitingou (15,50%);
- les ruptures pluviométriques au Bénin sont intervenues dans les 1970 et témoignent des grands bouleversements généralement climatiques qui s'imposent désormais et qui sont donc à prendre en compte dans l'élaboration des politiques de développement agricole notamment;
- la variabilité pluviométrique au Bénin n'est pas statique, elle est changeante d'une période à une autre. Et on note que les différentes régions du Bénin sont différemment affectées. Si Parakou semble être moins concernée, les 5 autres stations ont été fortement marquées. Mais il est prématuré d'affirmer que Parakou est réellement épargnée des changements évoqués dans la mesure où la collecte et la tenue des statistiques par exemple restent et demeurent problématique au niveau de certains postes pluviométriques.

Bibliographie

- AFOUDA, F., 1990: *L'eau et les cultures dans le Bénin central et septentrional: étude de la variabilité des bilans de l'eau dans leurs relations avec le milieu rural de la savane africaine*. Thèse de doctorat nouveau régime. Paris IV Sorbonne.
- BOKO, M., 1988: *Climat et communautés rurales au Bénin, rythmes climatiques et rythmes de développement*. Thèse de doctorat d'Etat. Dijon, Université de Bourgogne.
- BOKONON GANTA, E.B., 1987: *Les climats de la région du Golfe du Bénin. (Afrique Occidentale)*. Thèse de doctorat du 3ème cycle. Paris IV, Sorbonne.
- HOUNDENOU, C., 1999: *Variabilité climatique et maïsiculture en milieu tropical humide: l'exemple du Bénin, diagnostic et modélisation*. Thèse de doctorat nouveau régime. Dijon.
- PERARD, J., 1992: Estimation des contraintes climatiques en Afrique tropicale, approche méthodologique. *Publication l'AIC*, 12: 99-104.
- YABI, I., 2002: *Particularités de la variabilité pluviométrique entre 7° et 8°N au Bénin*. Mémoire de maîtrise. FLASH/UAC, Abomey-Calavi.

APPLICATION DE LA TELEDETECTION ET DES TECHNIQUES DE SYSTEMES D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE DANS LES ETUDES DU CLIMAT URBAIN

Katarzyna OSIŃSKA-SKOTAK

Institut de Photogrammétrie et Cartographie, Ecole Polytechnique de Varsovie

Pl.Politechniki 1, 00-661 Varsovie, Pologne

kos@gik.pw.edu.pl

Mots clés: SIG, climat urbain, images satellitaires, température de brillance, température de surface

Abstract: Possibilities of GIS in climate researches, especially in urban climate are invaluable. The paper present brief information about current possibilities of new GIS techniques for urban climate researches and also GIS as decision support system among other things for spatial planning of urban areas.

Introduction

Les possibilités d'étude du climat, en particulier du climat urbain, à l'aide des SIG sont importantes. On peut intégrer des données de sources différentes et de formats différents (raster, vecteur, table, ou descriptives) dans un seul système d'information qui permettra d'effectuer une série d'analyses spatiales et temporelles intéressantes. D'autre part, les données climatologiques et la configuration géographique d'une certaine région constituent une source d'information très importante qui peut être utilisée dans l'aménagement du territoire, en particulier celle des régions urbaines. Malheureusement c'est une source de données encore sous-estimée.

Utilisation de données satellitaires dans les études climatiques

Les données satellitaires sont aujourd'hui une des sources d'information les plus intéressantes sur la surface terrestre. Dans les études climatologiques, ces données permettent une acquisition d'informations continues dans l'espace. C'est une caractéristique fondamentale des données satellitaires par opposition aux données venant de mesures faites sur le terrain (les mesures ponctuelles). Elles permettent une observation plus précise des phénomènes se produisant sur la surface de la Terre et dans l'atmosphère.

A partir des images satellitaires enregistrées dans un large spectre de rayonnement électromagnétique, il est possible d'obtenir les distributions de la température radiative et de l'émissivité de surface, de déterminer le bilan radiatif de surface, le pourcentage de couverture végétale de la surface analysée, le pourcentage des différents types dans une surface urbaine, le modèle numérique du terrain (MNT). On peut également classifier les éléments d'occupation du sol pour une application concrète.

Une image thermique présente le terrain en niveaux de gris en fonction de la température des objets et leurs propriétés d'émissivité. De la réciproque de la formule de Planck on peut obtenir une température équivalente d'un corps noir qu'on appelle aussi une température radiométrique:

$$T_{surf} = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{sat}} + 1\right)}$$

où $K_1 = \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5}$ $K_2 = \frac{hc}{k\lambda}$ sont les constantes pour un capteur donné (elles dépendent de la longueur d'onde enregistrée par ce capteur). On mesure ici une valeur de la luminance énergétique L_{sat} (une énergie enregistrée au niveau du capteur).

Dans le cas de mesures par la télédétection, l'émissivité d'une surface active représente une émissivité moyenne de cette surface dans le spectre enregistré par le capteur. En comparant la loi de Stefan-Boltzmann pour le corps noir et pour le corps gris, on peut

trouver une dépendance théorique entre la température radiative T_{rad} et la température d'une surface active (réelle) T_{surf} du corps:

$$T_{rad} = T_{surf} \cdot \epsilon^{1/4}$$

Le problème de la prise en compte de l'indice d'émissivité dans le calcul de la température de la surface à partir des images aériennes et satellitaires a été étudié plusieurs fois (Osińska-Skotak, 2001). Il est très important de prendre en compte l'émissivité lors de la détermination de la température d'une surface à partir des données de la télédétection, car un petit changement d'émissivité peut causer d'importantes erreurs dans la détermination de la température de cette surface. Un changement d'émissivité de l'ordre de 1% cause un changement dans la détermination de la température radiative de cette surface de l'ordre de 0,4K (Desjardins et al., 1990).

Il existe plusieurs méthodes pour calculer une émissivité. Malheureusement un grand nombre de ces méthodes sont très onéreuses et exigent des mesures effectuées sur le terrain. Cependant il existe une possibilité de calculer la valeur d'indice d'émissivité à partir des images satellitaires. Les méthodes qui permettent le calcul de cet indice à partir de mesures de télédétection, utilisent une valeur d'indice de végétation normalisé:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R}$$

où la valeur ρ_{NIR} signifie la réflectance d'un objet dans le proche infrarouge et la valeur ρ_R signifie la réflectance de cet objet dans le rouge.

Van de Griend et Owe (1993) ont obtenu comme résultat de leurs études sur l'émissivité thermique de rayonnement (ϵ) dans le domaine 8-14 μm de rayonnement électromagnétique la relation suivante:

$$\epsilon = 1,0094 + 0,047 \cdot \ln(NDVI)$$

Même si c'est une formule empirique, elle donne cependant de très bons résultats à l'exception des surfaces d'eau et des terrains industriels. Toutefois il est possible d'effectuer les masques pour ces terrains et de déterminer l'émissivité d'une autre manière (Osinska-Skotak, 2001).

On dispose d'une autre méthode qui donne de bons résultats pour les terrains sol-végétation. Elle a été proposée par Valor et Caselles (1996) selon la formule suivante:

$$\epsilon = \epsilon_{veg} P_{veg} + \epsilon_{soil}(1 - P_{veg})$$

avec: ϵ_{veg} – indice d'émissivité pour la végétation, ϵ_{soil} – indice d'émissivité pour les sols et P_{veg} – pourcentage de la végétation dans un pixel donné. Pour déterminer P_{veg} on utilise l'indice NDVI. Cette méthode est encore développée et détaillée par les autres chercheurs (Badenas, 1998).

L'indice NDVI, mentionné plusieurs fois ici, donne entre autres une information sur la participation de la couverture végétale dans une surface donnée. Cet indice est aussi utilisé dans les études d'île urbaine de la chaleur (Gallo et al., 1993; Gallo, Tarpley, 1996).

Les données satellitaires enregistrées en mode spéciale stéréoscopique (par exemple SPOT) permettent de créer un modèle numérique de terrain d'occupation du sol: possibilité de produire les images en 3D (Fig. 1). On obtient un modèle plus ou moins précis en fonction de la précision de données satellitaires. L'obtention d'un modèle numérique de terrain très précis nécessite, malheureusement, l'utilisation d'images aériennes. A présent on dispose de modèle numérique de bâtiments (préparé par Geosystem Polska) pour quelques villes polonaises (entre autres pour Varsovie et Poznań) et il est possible d'effectuer des analyses en 3D pour les besoins d'aménagement du territoire, d'urbanisme et des études de microclimat urbain.

Les éléments mentionnés ne présentent plus de grandes difficultés et il est possible de les utiliser pour différentes analyses dont les analyses climatiques.

Les analyses spatiales

L'intégration, en une image 3D, des données de distribution spatiale, de la température de surface et d'autres paramètres météorologiques des climatiques avec un modèle numérique de terrain et un modèle numérique d'élévation d'occupation du sol facilite les analyses. Son interprétation donne clairement, par exemple, la cause de la fréquence plus élevée du brouillard dans une zone ou encore facilite le repérage des secteurs potentiellement exposés à une stagnation et à un échange plus faible de l'air dans une ville. Sans modèle numérique de terrain, ce type d'analyse exige un grand nombre de mesures effectuées pendant longtemps.

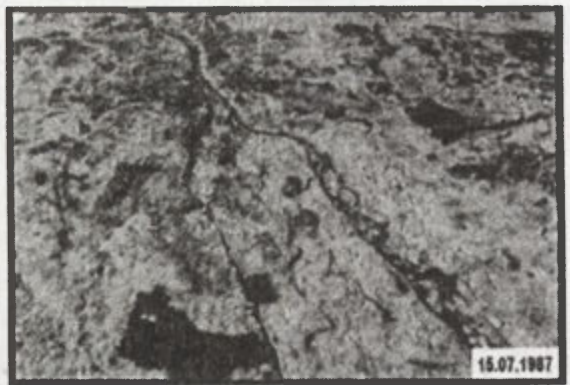


Fig. 1. Distribution de température d'une surface 3D (MNT mis à disposition par Geosystems Polska)

A présent le progrès technologique donne aussi la possibilité de prévoir les changements qui se produiront probablement après, par exemple, la construction d'un nouveau bâtiment ou d'une cité dans un lieu donné. Dans ce cas, ayant des données spatiales, on peut effectuer les analyses concernant les prévisions des changements thermiques du sol comme celles des changements du vent. A Varsovie on observe des exemples de bâtiments mal placés. Ce type de mauvaise localisation ou orientation fait subir des contraintes sur la construction du bâtiment.

Les SIG facilitent l'acquisition systématique de données très différentes, leur intégration et les études concernant par exemple les changements du climat à long ou à court terme. Les analyses temporelles effectuées le plus souvent sont surtout les suivis de changement d'îlot urbaine de chaleur. A présent en utilisant les données satellitaires de haute résolution spatiale, une acquisition (avec des conditions météorologiques favorables) est possible tous les 16 jours (LANDSAT ETM+, 60×60 m). Les données dont la résolution spatiale est inférieure (1×1 km) peuvent être acquises avec une fréquence de quelques images par jour (NOAA). Dans certains cas c'est insuffisant et il reste soit l'utilisation des photographies aériennes soit un grand nombre de mesures sur le terrain.

On observe, par l'analyse des données du satellite LANDSAT à partir de 1979, les changements urbains à Varsovie, en conséquence les changements dans le bilan radiatif de la surface de ville. En analysant ces images on aperçoit clairement une expansion de Varsovie au sud (Fig. 2), à l'ouest (le développement de Bemowo) et au nord-est (l'agrandissement de Tarchomin). Récemment on observe des tendances à densifier la construction dans les autres quartiers de Varsovie et à boucher les anciens corridors de ventilation. Jusqu'à présent ces corridors assuraient les bonnes conditions pour la régénération et le changement d'air à Varsovie. A cause de ces tendances les conditions bioclimatiques du centre de Varsovie empirent continuellement la ventilation naturelle de la ville, la régénération et l'échange de l'air sont limités. L'influence de la densification de construction sur la croissance de la valeur moyenne de la température de surface active est visible aussi. Depuis des années les climatologues donnent des remèdes pour neutraliser les résultats négatifs de la croissance de l'urbanisation, mais leur avis n'est pas pris en considération dans la planification d'agrandissement et de réaménagement des villes. La plupart des nouvelles cités (Kabaty par exemple) sont conçues de manière à être fonctionnelles sans prendre en considération les aspects bioclimatiques. Au lieu des structures fermées il faudrait prévoir des cités ouvertes, cela étant favorable à la ventilation, ce que l'on peut démontrer en analysant différents projets d'aménagement à l'aide d'outils comme les SIG.

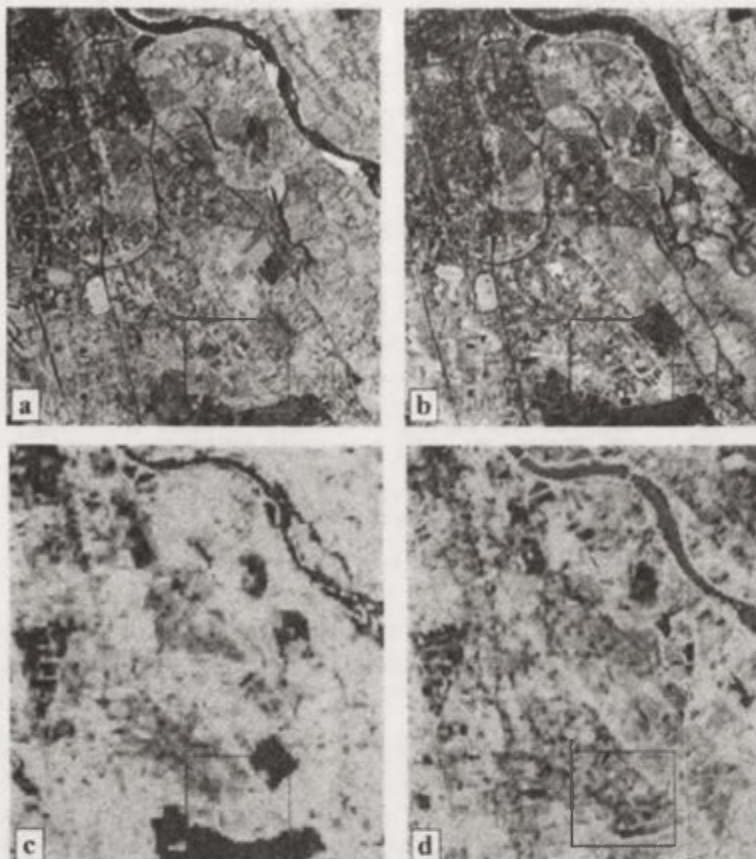


Fig. 2. Les changements de types d'occupation du sol entre 1987 et 2001 dans une zone du sud de Varsovie:
 a) Une composition colorée effectuée à base d'images LANDSAT TM acquises 15 juillet 1987.
 b) Une composition colorée effectuée à base d'images LANDSAT ETM+ (3 mai 2001).
 c) Une répartition de la température calculée à partir d'image thermique LANDSAT TM (15 juillet 1987).
 d) Une répartition de la température de la surface – image thermique LANDSAT ETM+ (3 mai 2001).

Conclusion

Les SIG apportent de nouvelles possibilités dans les études climatiques à différentes échelles. Malgré le grand progrès technologique en matière de systèmes d'information géographique et les nouvelles possibilités d'exploiter ces techniques dans les différents domaines de la science et de l'économie, une exploitation de ces techniques est encore insuffisante dans les applications concrètes, comme l'aide à la décision dans l'aménagement et les études du climat urbain. L'utilisation de techniques de SIG dans le domaine de la climatologie est encore traitée plutôt comme l'outil des scientifiques et non des praticiens.

Bibliographie

- BADENAS, C., 1998: Review and improvement of an algorithm for determining emissivity of a heterogeneous cavity in thermal infrared remote sensing, *Int. J. Rem. Sens.*, 19, 4: 731-741.
- DESJARDINS, R., GRAY, J. et BONN, F., 1990: Atmospheric corrections for remotely-sensed thermal data in a cool humid temperature zone, *Int. J. Rem. Sens.*, 11, 8: 1369-1389.
- GALLO, K.P., MCNAB, A.L., KARL, T.R., BROWN, J.F., HOOD, J.J. et TARPLEY, J.D., 1993: The Use of a Vegetation Index for Assessment of the Urban Heat Island Effect. *Int. J. Rem. Sens.*, 14: 2223-2230.
- GALLO, K.P. et TARPLEY, J.D., 1996: The comparison of vegetation index and surface temperature composites for urban heat-island analysis. *Int. J. Rem. Sens.*, 17: 3071-3076.
- OSIŃSKA-SKOTAK, K., 2001: *Analiza wybranych metod przetwarzania satelitarnych zdjęć termalnych LANDSAT TM*, These de Doctorat, Wydział Geodezji i Kartografii, Politechnika Warszawska.
- VALOR, E. et CASELLES, V., 1996a: Mapping Land Surface Emissivity from NDVI: Application to European, African, and South American Areas, *Rem. Sens. Environ.*, 57: 167-184.
- van de GRIEND, A.A. et OWE, M., 1993: On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces, *Int. J. Rem. Sens.*, 14, 6: 1119-1131.

ECHANGE DE L'ENERGIE A L'INTERFACE TERRE-ATMOSPHERE COMME BASE D'UNE CLASSIFICATION DES TOPOCLIMATS

Janusz PASZYNSKI
Varsovie, Pologne

Mot clés: cartes topo-climatiques, bilan de l'énergie

Abstract: The paper presents the method of topoclimatic mapping which is based on the analysis of the heat balance of an active surface. The classification considers the structure of the radiation balance as well as the quantity of another components of the heat balance equation.

Introduction

Une connaissance précise de conditions climatiques à l'échelle locale est d'une grande importance pour la réalisation des plans d'aménagement des espaces urbains et ruraux.

La différenciation topo-climatique du terrain est conditionnée avant tout par les processus de l'échange de l'énergie entre l'atmosphère et son substrat, donc à l'interface appelée souvent „surface active”. Tenant compte de cette influence d'une importance cruciale, on a pris le mode d'échange comme critère fondamental d'une classification ayant pour but la distinction de différents types de topo-climats. Ajoutons que par les topo-climats nous comprenons les unités spatiales de caractère typologique et de dimensions de l'ordre de quelques centaines de mètres, qui se forment sous l'influence de différents facteurs locaux et pas nécessairement du relief. La notion du topo-climat correspond donc à la notion du climat local, le terme grec „*topos*” signifiant la même chose que terme latin „*locus*”. Il nous semble opportun d'utiliser un seul mot ce qui permet la formation facile des expressions dérivées comme par exemple la topo-climatologie, le topo-climatologue, ou des adjectifs comme topo-climatique ou topo-climatologique, ce qui ne serait pas possible à partir du „climat local”.

Méthode

Nous pouvons présenter l'échange de l'énergie à l'interface (la surface limite) sous la forme de l'équation du bilan thermique dont les termes individuels correspondent aux principales modes du transfert de l'énergie: par rayonnement, par convection, par conduction. La forme la plus simplifiée de cette équation est:

$$Q^* + H + E + G = 0,$$

où Q^* est le rayonnement net (flux radiatif résultant),

H est le flux turbulent de chaleur sensible,

E est le flux turbulent de chaleur latente de vaporisation,

G est le flux conductif de chaleur dans le sol (dans le substrat).

Chacun de ces flux peut être positif ou négatif. On admet que les valeurs du flux sont positives quand il est dirigé vers la surface active (soit de haut soit d'en bas), c'est à dire quand le flux considéré apporte de l'énergie à la surface. De cette façon leur somme algébrique doit être toujours égale à zéro, parce que une surface bidimensionnelle ne peut pas contenir de l'énergie.

De son côté le flux radiatif Q^* se compose du rayonnement d'origine solaire (K) et du rayonnement d'origine terrestre (L), conformément à l'équation du bilan radiatif:

$$Q^* = K^* + L^* = K\downarrow - K\uparrow + L\downarrow - L\uparrow,$$

où K^* est le rayonnement net de courtes longueurs d'onde,

L^* est le rayonnement net de grandes longueurs d'onde,

et $K\downarrow$ est le rayonnement solaire global,

$K\uparrow$ est le rayonnement solaire réfléchi par la surface active,

$L\downarrow$ est le rayonnement de l'atmosphère,

$L\uparrow$ est le rayonnement émis par la surface terrestre.

A partir de ces deux équations on a construit une classification des types de l'échange d'énergie. Cette classification se rapporte en principe à la saison de végétation et au temps „anticyclonique”, c'est à dire au ciel clair ou peu nuageux et au calme ou vent faible. Cette classification a été dressée séparément pour le jour et pour la nuit, parce que l'action des facteurs locaux sur le processus de l'échange d'énergie se manifeste d'une manière différente pendant ces deux périodes de la journée.

Comme critères principaux de cette classification nous avons adopté les valeurs relatives du rayonnement solaire absorbé $K^* = K\downarrow - K\uparrow$ pour la phase diurne, et les valeurs relatives du flux de la chaleur sensible H pour la phase nocturne. La notion „valeurs relatives” signifie ici des écarts du flux considéré par rapport à ses valeurs „standard” par lesquelles nous comprenons les valeurs qu'on aurait observé simultanément dans un lieu de référence, qui est un site plat, à l'horizon dégagé et couvert d'une végétation basse de type de pelouse, donc représentatif aux conditions typique de l'entourage direct des stations météorologiques.

De cette manière on a distingué trois principaux types de l'échange d'énergie pour la période diurne et trois pour la période nocturne, correspondant aux valeurs relativement fortes, intermédiaires ou réduites du flux K^* pendant le jour, et du flux H pendant la nuit. Au sein de chacun de ces six types principaux on a distingué encore plusieurs sous-types tenant compte de différentes structures en termes de dépenses ou de recettes du bilan thermique. Cette subdivision en unités typologiques de deuxième ordre repose pour la période diurne sur les relations réciproques des flux turbulents de chaleur sensible H et de chaleur latente E , déterminées par le rapport Bowen $\beta = H/E$, tandis que pour la période nocturne on a pris comme critère la part relative des flux H et G qui apportent la chaleur de l'atmosphère et du sol à la surface limite pendant les nuits claires.

On a présenté les unités spatiales des types d'échange de l'énergie sur les cartes, en tenant compte des paramètres les plus importants qui déterminent les propriétés physiques de la surface active et des couches adjacentes de l'atmosphère et du substrat. Il s'agit ici des propriétés radiatives (albedo, émissivité...), thermiques (conductivité, capacité thermique...), hygroscopiques (degré d'humidification...), aérodynamiques (rugosité)... Nous avons dressé les deux paires des cartes (pour les jours et pour les nuits) qui se rapportent à deux petites régions polonaises aux conditions naturelles très différentes, dont une située en Pologne septentrionale et représentant un paysage de plaine, et l'autre – en Pologne méridionale, représentant un relief très diversifié.

Résultats

A partir de ces deux classifications concernant les types structuraux d'échange de l'énergie (diurne et nocturne) nous avons établi une classification de topoclimats, en distinguant leurs 16 types. On a discuté les différentes méthodes de la présentation cartographique des topoclimats en reproduisant à titre d'exemple les cartes topoclimatiques à l'échelle 1:50.000 de deux régions déjà mentionnées.

Une telle carte „fondamentale” des topoclimats peut être utile pour la construction de plusieurs cartes topoclimatiques „dérivées” ou „appliquées”, représentant l'utilité de différents topoclimats pour répondre à besoins pratiques divers, comme par exemple pour l'agriculture, l'horticulture, tourisme et repos, transport routier... etc., en constituant de cette manière un outil important dans la planification d'aménagement à l'échelle locale ou régionale.

VARIATION DES CONDITIONS BIOTHERMIQUES DEFAVORABLES A CRACOVIE

Katarzyna PIOTROWICZ

Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Jagielloński

Grodzka 64, Kraków, Pologne

K.Piotrowicz@iphils.uj.edu.pl

Mots clés: variation bioclimatique, conditions biothermiques, Cracovie

Abstract: The paper presents the analysis of the variability and tendencies of change (trends) of unfavourable biothermal conditions in Cracow. The study used the diurnal records of air temperature from Cracow in the years 1826-2002. It was concluded that unfavourable biothermic conditions for the human body are more frequent in the warm half of the year.

Introduction

Jusqu'à présent, dans les études bioclimatiques on ne s'occupait que très rarement de l'analyse de la variabilité pluriannuelle des différents critères et indicateurs permettant d'évaluer le climat ressenti. Parmi de telles études, nous pourrions citer notamment celles qui ont été effectuées dans le centre de recherche de Cracovie (Hess et al., 1989 ; Limanówka, 1991 ; Mroccka, 1992 ; Obrębska-Starkłowa, 1992 ; Niedźwiedz et al., 1994-1995 ; Błazejczyk, Twardosz, 2002).

La température de l'air constitue l'un des éléments météorologiques, dont la très forte variabilité journalière (sur 24 heures), influe de manière négative sur l'organisme humain, sur son comportement et sur sa santé. Les critères permettant d'évaluer le degré de stimulation causées par les conditions thermiques sont: la fréquence de journées caractéristiques (chaudes, très chaudes, froides et très froides), la fréquence des changements de la température moyenne journalière de l'air d'un jour à un autre et l'amplitude journalière de la température (Kozłowska-Szczęśna et al., 1997)

Dans cette étude, nous avons analysé la variabilité pluriannuelle et annuelle des conditions thermiques néfaste à la santé humaine en se référant aux valeurs journalières (sur 24 heures) de la température de l'air à Cracovie en se basant sur une série d'observations de 177 années (1826-2002).

Données et méthodes

Nous avons utilisé les valeurs journalières de la température de l'air (maximale et minimale) enregistrées à Cracovie. Comme conditions biothermiques néfaste, nous avons retenu les données suivantes: le nombre de jours chauds ($t_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$), de jours très chauds ($t_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$), de jours froids ($t_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$) et de jours très froids ($t_{\max} < -10^{\circ}\text{C}$), l'écart de plus de 6°C entre les températures journalières moyennes pour deux journées consécutives ($\Delta t_{\text{moy}} > 6^{\circ}\text{C}$), l'écart de la température de l'air entre deux d'observation (I – 6h UTC, II – 12h UTC, III – 18 UTC) (I-II, II-III; $\Delta t_{\text{I-II}} > 10^{\circ}\text{C}$, $\Delta t_{\text{II-III}} > 10^{\circ}\text{C}$) supérieur à 10°C et l'amplitude journalière de la température de l'air supérieure à 12°C ($t_{\max} - t_{\min} > 12^{\circ}\text{C}$).

Résultats

Le nombre de jours chauds ($t_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$) et celui de jours très chauds ($t_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$)

On considère que les journées chaudes et très chaudes constituent des conditions thermiques particulièrement pénibles pour l'homme. A Cracovie, leur nombre moyen annuel, entre les années 1826 et 2002, était respectivement de 43,5 et 7,2 jours (Tabl. 1). Les études concernant la variabilité de la température de l'air permettent de constater que la température moyenne en été ne présente aucune tendance significative d'un changement. Pendant certaines

années, on a même observé une légère baisse, ce qui voudrait dire que la température en été contredit l'opinion selon laquelle on assisterait à un réchauffement global (Trepínska, 1997).

Il s'avère cependant qu'à Cracovie, dans la seconde moitié du XX^{ème} siècle, le nombre de journées chaudes et très chaudes a augmenté. De telles journées apparaissent de plus en plus relativement tôt dans l'année (en avril ou en mai). A titre d'exemple, l'évolution du nombre annuel de journées avec une t_{max} supérieure à 30°C indique une faible tendance à la baisse ce qui est non significatif du point de vue statistique (Fig. 1). Sur l'ensemble de la période d'étude, nous remarquerons une nette distinction de la première période d'observation, jusqu'à l'année 1880, également pour la période déjà mentionnée qui couvre la seconde moitié du XX^{ème} siècle, après une longue interruption, on a constaté une augmentation du nombre de jours très chauds d'environ 5 jours pour 10 ans (tendance significative, au niveau de 0,05).

Tableau 1. Valeurs moyennes mensuelles et annuelles des critères biothermiques choisis à Cracovie de 1826 à 2002

Critères biothermiques	Mois												Année
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
$t_{max} > 25^{\circ}\text{C}$	.	.	.	0,6	4,4	9,7	13,9	11,4	3,3	0,2	.	.	43,5
$t_{max} > 30^{\circ}\text{C}$	.	.	.	0,0	0,4	1,5	3,0	2,1	0,2	.	.	.	7,2
$t_{max} < 0^{\circ}\text{C}$	13,6	9,0	2,9	0,1	.	.	.	.	.	0,1	2,9	10,0	38,6
$t_{max} < -10^{\circ}\text{C}$	1,6	0,7	0,0	.	.	.	.	.	.	.	0,0	0,9	3,2
$\Delta t_{mov} > 6^{\circ}\text{C}$	2,1	1,3	0,9	0,8	0,8	0,6	0,5	0,4	0,4	0,5	0,7	1,7	10,6
$\Delta t_{I-II} > 10^{\circ}\text{C}$	0,6	1,8	4,5	6,6	5,0	2,9	3,7	6,1	8,2	6,5	1,1	0,3	47,4
$\Delta t_{II-III} > 10^{\circ}\text{C}$	0,1	0,1	0,1	0,2	0,4	0,5	0,6	0,5	0,2	0,2	0,0	0,1	3,1
$t_{max} - t_{min} > 12^{\circ}\text{C}$	0,8	1,7	4,7	8,4	10,7	9,6	9,9	10,0	8,8	5,9	1,0	0,6	72,0

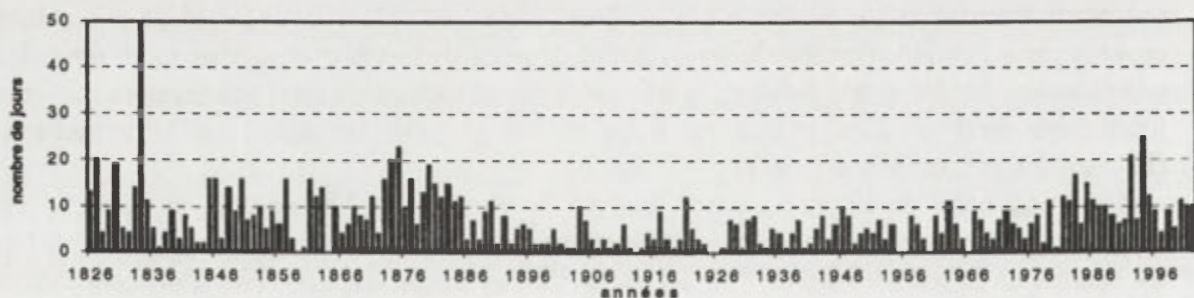


Fig. 1. Nombre de jours très chauds ($t_{max} > 30^{\circ}\text{C}$) à Cracovie de 1826 à 2002

Le nombre de jours froids ($t_{max} < 0^{\circ}\text{C}$) et de jours très froids ($t_{max} < -10^{\circ}\text{C}$)

L'un des traits caractéristiques du climat de la Pologne est l'apparition, en hiver, de journées avec une température maximale de l'air inférieure à 0°C. Durant les 177 dernières années, on a recensé en moyenne 38,6 jours avec une t_{max} inférieure à 0°C et 3,2 jours avec une t_{max} inférieure à -10°C dans l'année (Tabl. 1). L'analyse de la variabilité des jours $t_{max} < 0^{\circ}\text{C}$ et $t_{max} < -10^{\circ}\text{C}$ démontre que jusqu'à la moitié des années quatre-vingt-dix du XIX^{ème} siècle, on a observé une diminution très nette du nombre de jours froids et très froids. La plus forte a été enregistrée durant la décennie soixante-dix et dans la seconde moitié des années quatre-vingt. Dès le début de la période, faisant l'objet de l'étude, on remarque que la période d'apparition potentielle des journées froides devient de plus en plus courte. La première journée de ce type survient une vingtaine de jours plus tard par rapport au début de la période analysée, alors que le dernier jour froid apparaît environ 20 jours plus tôt. Cela montre que, depuis 1826, la période potentielle avec une t_{max} inférieure à 0°C s'est raccourcie d'environ un mois en moyenne.

Particulièrement défavorables pour l'organisme de l'homme sont les longues périodes pendant lesquelles les journées froides et très froides se suivent sans interruption. Dans des cas extrêmes, les journées avec une t_{max} inférieure à 0°C apparaissent pendant 49 jours de

l'hiver 1847/48, pendant 37 jours en 1941/42 et durant 35 jours de l'hiver de 1892/93. Dans la seconde moitié du XX^{ème} siècle, des journées très froides n'apparaissent qu'occasionnellement (Fig. 2). Dans le cas le plus extrême, de telles journées ne sont pas du tout apparues pendant 6 années successives, entre 1979 et 1984.

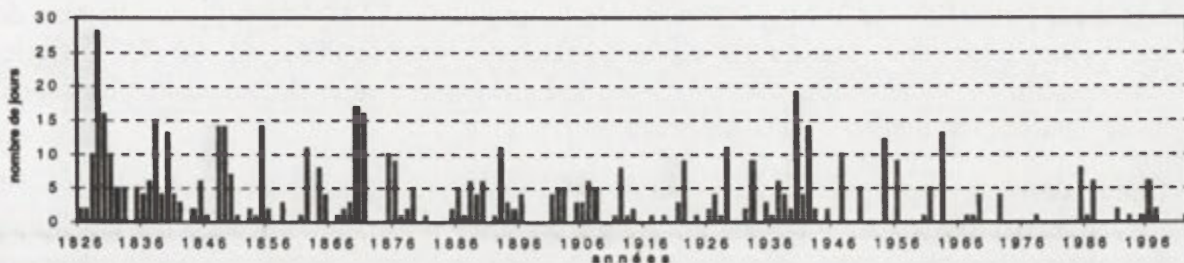


Fig. 2. Nombre de jours très froids ($t_{\max} < -10^{\circ}\text{C}$) à Cracovie de 1826 à 2002

L'écart de plus de 6°C entre les températures journalières moyennes pour deux journées consécutives ($\Delta t_{\text{moy}} > 6^{\circ}\text{C}$)

L'un des indicateurs valables permettant d'évaluer l'influence (le stimulus) des conditions thermiques est notamment celui de l'analyse de la fréquence de l'évolution de la température moyenne journalière de l'air durant les journées qui se succèdent. Si cette valeur dépasse 6°C , de telles journées doivent être considérées comme provoquant un agacement chez l'homme. Pendant la période pluriannuelle étudiée, en moyenne, de tels changements de température d'un jour à l'autre, intervenaient seulement 11 fois dans l'année. Le plus fréquemment, on les enregistrait pendant les mois d'hiver: en décembre, janvier et février (Tabl. 1). Dans le cas de cet indicateur, là aussi, on observait une tendance à la diminution du nombre de tels jours pendant la période pluriannuelle analysée.

L'écart de la température de l'air de plus de 10°C entre deux moments d'observation ($\Delta t_{\text{I-II}} > 10^{\circ}\text{C}$ i $\Delta t_{\text{II-III}} > 10^{\circ}\text{C}$)

Les changements de température de l'air entre les différentes périodes d'observation, dans un intervalle se situant entre $10,1$ et $15,0^{\circ}\text{C}$, sont considérés comme forts. Alors, lorsque ces changements de température sont supérieurs à 15°C , on les considère comme très forts. Dans le présent travail, on s'est limité à un seul intervalle, à savoir celui qui est supérieur à 10°C . A Cracovie, de manière très nette, le nombre le plus élevé de changements de température influant fortement et très fortement, du point de vue de la stimulation, a été enregistré entre le I^{er} et le II^{ème} moments d'observation ($\Delta t_{\text{I-II}} > 10^{\circ}\text{C}$); en moyenne, ce chiffre était de 47,4 durant l'année, alors qu'entre le II^{ème} et le III^{ème} moment, ce chiffre était à peine de 3,1 (Tabl. 1).

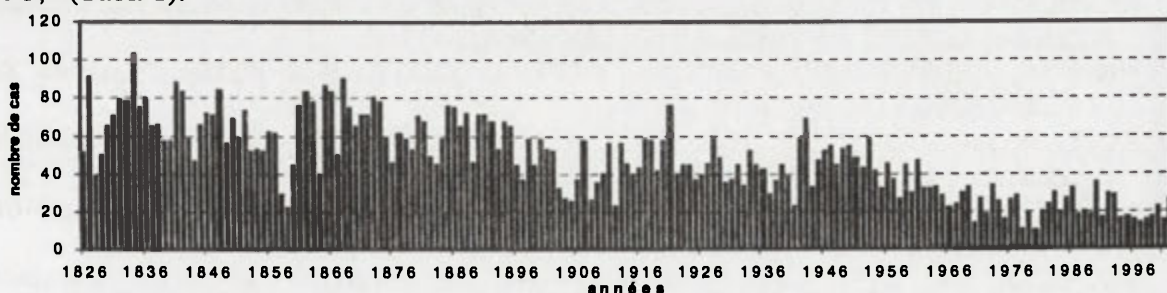


Fig. 3. Nombre de cas de variation de température de l'air supérieure à 10°C entre le I^{er} et le II^{ème} moment de l'observation ($\Delta t_{\text{I-II}} > 10^{\circ}\text{C}$) à Cracovie de 1826 à 2002

En ce qui concerne les changements de température de l'air entre les différents moments d'observation (Fig. 3), on observait une tendance très nette à la baisse, ceci en particulier lorsqu'il s'agit des changements qui interviennent entre le I^{er} et le II^{ème} moment d'observation. La diminution enregistrée représentait 30,4 cas sur 100 ans. La valeur de cette

tendance est significative au niveau de 0,01. A partir des années soixante du XX^{ème} siècle, les cas de $\Delta t_{II-III} > 10^{\circ}\text{C}$ n'apparaissent qu'occasionnellement au maximum 3 fois par an.

L'amplitude journalière de la température de l'air supérieure à 12°C ($t_{\max} - t_{\min} > 12^{\circ}\text{C}$)

En moyenne, dans les années 1826-2002, à Cracovie, il y avait 72 jours avec une amplitude journalière de la température de l'air supérieure à 12°C. Le plus grand nombre de telles journées apparaît pendant les six mois chauds de l'année (Tabl. 1). Au XX^{ème} siècle, leur nombre se situait entre 45 et 100 jours dans l'année et le déroulement pluriannuel n'indiquait aucune tendance au changement.

Conclusion

Pendant les six mois chauds de l'année, on observe une intensification des conditions thermiques pénibles pour l'organisme de l'homme. Des conditions particulièrement défavorables provoquant un stress thermique significatif ont commencé à apparaître dans les années soixante-dix du XX^{ème} siècle, relativement tôt, en avril et en mai, lorsque l'organisme humain, après l'hiver, ne s'adapte que progressivement à une température plus élevée. La diminution constatée du nombre de jours froids et très froids pendant l'hiver nous amène à conclure que les stimulus qui provoquent une pression sur l'homme dans le sens du refroidissement, sont nettement à la baisse. En hiver, les journées de confort thermique apparaissent plus fréquemment. Malheureusement, après une série d'hivers doux, viennent relativement souvent les hivers froids isolés qui se caractérisent par un nombre de jours important avec une température maximale inférieure à 0°C et une température maximale inférieure à -10°C. D'autre part, et ceci en particulier pendant les six mois froids de l'année, la fréquence d'apparition des cas avec intensification de stimulus thermiques irritants (c'est-à-dire avec un écart de température pour deux journées consécutives supérieur à 6°C) diminue progressivement. Ainsi, en période hivernale de la seconde moitié du XX^{ème} siècle, il y aurait une augmentation de la fréquence d'apparition des stimulus thermiques faibles et modérés dans la région de Cracovie. Malheureusement, l'augmentation de la fréquence d'apparition de stimulus faibles est aussi défavorable pour l'homme car cela fait que l'organisme humain devient plus fragile et qu'il perd ses possibilités d'adaptation en cas d'apparition de stimulus plus forts.

Les valeurs interannuelles moyennes concernant les indicateurs biothermiques analysés, et en particulier les changements de température de l'air entre deux observations $\Delta t_{II} > 10^{\circ}\text{C}$, semblent confirmer la thèse selon laquelle durant les 40 et 50 dernières années le climat de Cracovie était un «climat salubre».

Bibliographie

- BLAZEJCZYK, K., TWARDOSZ, R., 2002: La variabilité des charges thermiques de l'homme à Cracovie au XX^e siècle. *Publications de l'AIC*, 14: 413-419.
- HESS, M., NIEDŹWIEDŹ, T., et OBREBSKA-STARKLOWA, B., 1989: Bioklimat Krakowa. *Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr.*, 73: 7-55.
- KOŹŁOWSKA-SZCZĘSNA, T., BŁAŹEJCZYK, K., et KRAWCZYK, T., 1997: *Biometeorologia człowieka. Monografie*, 1.
- LIMANÓWKA, D., 1991: Ekstremalne warunki bioklimatyczne w rejonie Krakowa. *Acta Univ. Wratisl.*, 1213: 309-313.
- MROCZKA, A., 1992: Zróżnicowanie czasowe i przestrzenne wybranych wskaźników biometeorologicznych na terenie Krakowa. *Rocz. Nauk. AWF*, 25.
- NIEDŹWIEDŹ, T., OBREBSKA-STARKLOWA, B., LIMANÓWKA, D., MROCZKA, A., USTRNUL, Z., 1994-1995: Zmienność bioklimatu Krakowa. *Folia Geogr., ser. geogr.-phys.*, 26-27: 89-105.
- OBREBSKA-STARKLOWA B., 1992: Surowość pogody okresu zimowego w Krakowie. *Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr.*, 88: 167-181.
- TREPIŃSKA, J., 1997: *Wahania klimatu w Krakowie (1792-1995)*. IGiGP UJ.

RESEAU METEOROLOGIQUE URBAIN AU PORTUGAL PREMIERE ANNEE D'OBSERVATIONS

V. Prior, R. Deus, C. Brandão, R. Carvalho
Instituto de Meteorologia; Rua C, Aeroporto, 1749-077 Lisboa, Portugal

Mots clés: réseau météorologique urbain et observation

Abstract: Over the last decades there has been an increasing growth in urban areas, associated with the growth and development of the surrounding and industrial areas. This urban growth has a direct impact on local and regional climate conditions, causing them to become substantially different from those in suburban and rural areas. Climate research and investigation in urban areas, as well as validation of climate models, will only be possible with resort to the results of local meteorological observation, and it is essential to have records/meteorological stations available in the major urban centres for that purpose.

Introduction

On présente dans ce travail les résultats des premières observations du réseau météorologique urbain, particulièrement à Lisbonne. Un ensemble de données de ce réseau (température et humidité de l'air, précipitation, rayonnement solaire global, vitesse et direction du vent), est disponible au public sur www.meteo.pt et à la météo pour différentes applications, particulièrement pour la surveillance du temps dans les zones urbaines et pour l'avis à la sécurité civile, planification urbaine, études sur la pollution de l'air et climatologie.

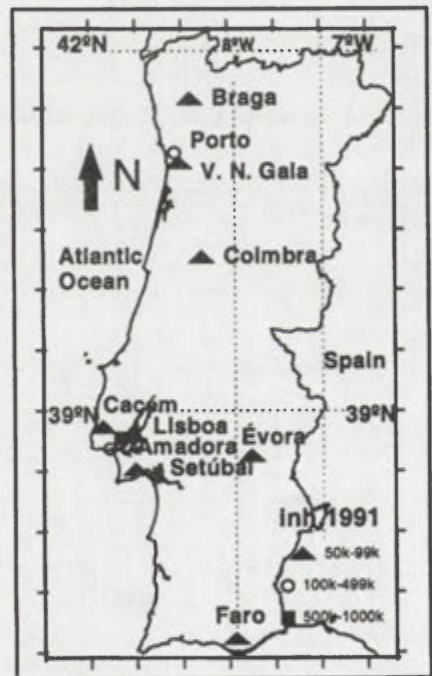


Fig. 1. Réseau météorologique urbain

Réseau météorologique urbain

À la fin de l'année 1998, l'Institut de Météorologie au Portugal a décidé d'implémenter un réseau urbain de stations météorologiques automatiques (SM) (Fig. 1). Le réseau est en exploitation opérationnel depuis janvier 2002 et il est constitué par 18 stations météorologiques (fig.1), 5 centres régionaux (CR) et 1 centre national (CN). Le critère choisi est basé surtout sur le nombre d'habitants: Une SM par 100.000 habitants pour la région de Lisbonne (700.000) et Porto (300.000) et une SM par 50.000 habitants pour les autres villes.

L'information météorologique essentielle, en particulier la température et l'humidité relative de l'air, précipitation, rayonnement solaire globale, vitesse et direction du vent est organisée dans les CR et CN dans des différentes bases de données; ces bases permettent différents modes de visualisation, graphique et alpha-numérique.

Réseau météorologique à Lisbonne

À Lisbonne il y a 7 stations météorologiques, 5 du réseau urbain (Benfica, Alvalade, Estefânia, Estrela et Baixa) et 2 station du réseau national (Gago Coutinho et Geofísico). Toutes les stations sont équipées avec des captures de la température et humidité de l'air, précipitation et rayonnement solaire. Les stations de Benfica et Alvalade sont également équipées avec des captures du vent à 6m, la station de Gago Coutinho à 10m et Geofísico à 10m, sur un immeuble de 27m

Fig. 2. Réseau météorologique à Lisbonne



Première année d'observations à Lisbonne

Sur le graphique de la fig. 3, on présente les températures moyennes mensuelles des 7 stations météorologiques de Lisbonne ; les températures minimales et maximales pour chaque mois de l'année 2002. La température minimale moyenne la plus basse a eu lieu la plus part des mois à Benfica et aussi à Gago Coutinho et la température minimale la plus élevée à la station de Baixa, sauf au mois de janvier, où la minimale la plus élevée a été enregistrée à Estefânia. La température minimale a été de 11,5°C au mois de janvier et la maximale 21,1°C au mois d'août, à la station de Benfica.

Le même type de présentation graphique est fait pour l'humidité de l'air. Les plus grandes valeurs de l'humidité ont été obtenues la plus part des mois à Gago Coutinho et à Benfica et les minimales ont été obtenues à Estefânia et Geofísico. L'humidité moyenne a varié entre 59% au mois de Juillet et 84% au mois de décembre.

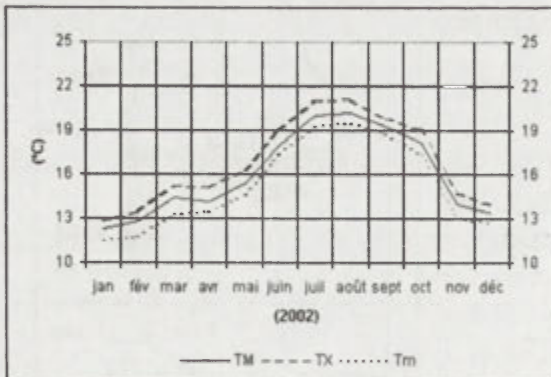


Fig. 3. Température de l'air

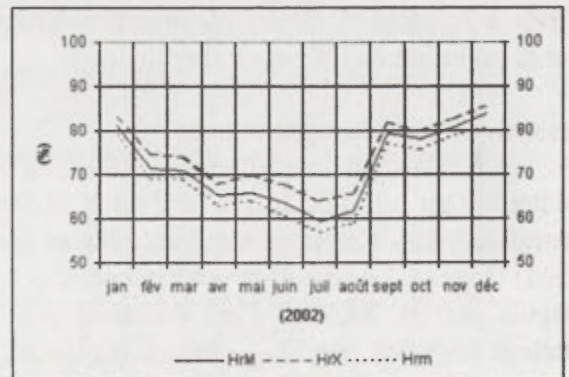


Fig.4. Humidité de l'air

Sur le graphique de la fig.5 on présente la précipitation moyenne à Lisbonne, les minimales et les maximales. La moyenne a varié entre 0.3mm au mois d'août et 177mm au mois de novembre. La précipitation minimale a été obtenue à Alvalade et Baixa 0,1mm au mois d'août et la maximale 188,3mm à Geofísico au mois de novembre. La précipitation totale moyenne annuelle a été 673,7mm. Les valeurs les plus élevées ont été obtenues sur différentes stations, Alvalade, Estefânia, Benfica, Geofísico et Gago Coutinho et les plus basses à Alvalade, Estefânia, Baixa Estrela et Benfica.

Sur la fig. 6 on présente la vitesse du vent à Estefânia, Benfica et Gago Coutinho. La vitesse du vent sur les deux premières stations a été observée sur un mat de 6m, la vitesse du vent à Gago Coutinho a été mesurée sur un mat de 10m, proche de l'aéroport, libre d'obstacles. A la station de Estefânia, où sont observées les valeurs les plus basses (moyennes inférieures à 1m/s), est une station qui est influencée par des bâtiments très proches et le vent à Benfica est un peu moins influencé par des immeubles. Les moyennes

maximales des mois d'avril à août / septembre (3 – 5m/s), sont principalement associées à la brise maritime.

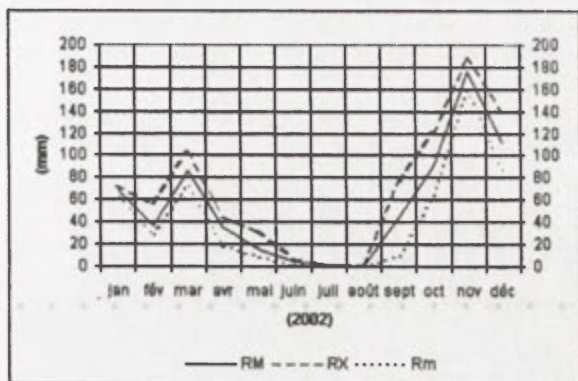


Fig. 5. Précipitation

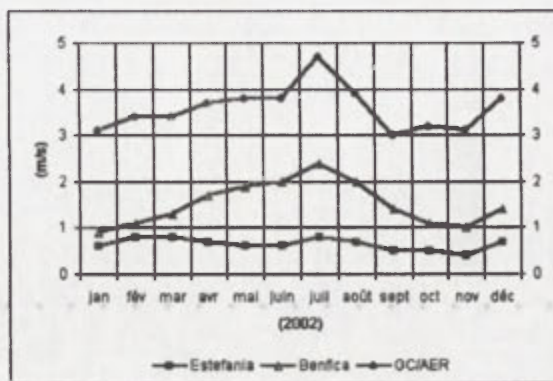


Fig. 6. Vitesse du vent

Résultats dans la Campagne CLIMLIS

Les premières observations, à la phase d'installation, du réseau urbain à Lisbonne ont été utilisées pour étalonner des observations faites pendant la campagne CLIMLIS 2001 sur des mesures de la température de l'air et de surface en utilisant une voiture avec un capteur IR et un capteur de la température de l'air rottronique. Sur la fig. 7 on présente les valeurs des températures de l'air obtenue avec les capteurs sur la voiture et des valeurs de la température de l'air obtenue dans les stations de Gago Coutinho (aéroport) et Alvalade (Campo Grande).

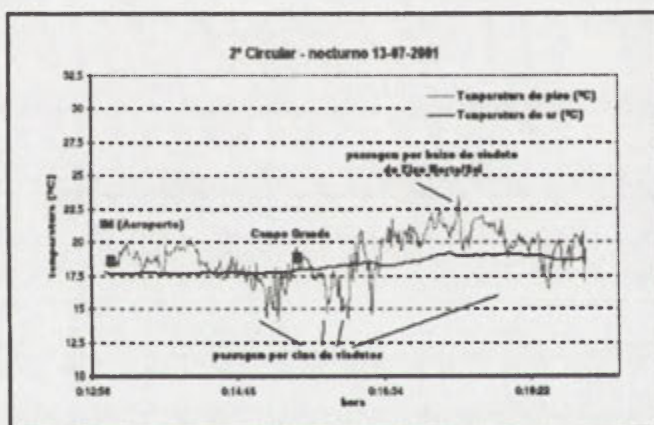


Fig. 7. Mesures de la température à Lisbonne

Conclusions

Avec ce type de données obtenues sur le réseau urbain il est possible de reconnaître quelques différences importantes qui peuvent caractériser des climatologies locales sur les villes en ce qui concerne particulièrement la température l'humidité et la précipitation. La vitesse du vent, il est bien connu quelle dépend du site, de l'exposition et aussi de la hauteur des capteurs comme on l'a montré sur la fig. 6. Les données obtenues aux stations de Lisbonne seront aussi utilisées pour étalonner des données obtenues pendant des campagnes qui sont encore prévues dans le Project CLIMLIS, des mesures de la température de l'air et de surface à partir d'une voiture avec un capteur IR et un capteur de la température de l'air rottronique et aussi une campagne, ou sera utilisé un radiomètre aérotransporté.

Remerciements

Le projet CLIMLIS (POCTI/34683/GEO/2000) est financé par la *Fundação Para a Ciência e Tecnologia (FCT)*.

POA – Programa Operacional do Ambiente

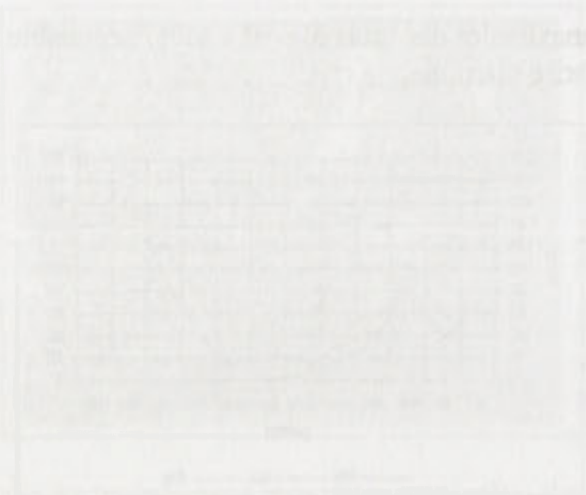


Fig. 1. Relationship between temperature and parameter.

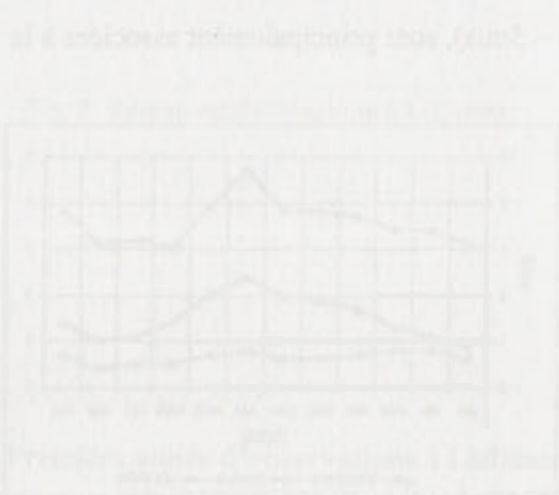


Fig. 2. Relationship between temperature and parameter.

...the results of the study... the temperature... the parameter... the relationship... the data... the results... the study... the temperature... the parameter... the relationship... the data... the results... the study...



Fig. 3. Relationship between temperature and parameter.

...the results of the study... the temperature... the parameter... the relationship... the data... the results... the study... the temperature... the parameter... the relationship... the data... the results... the study...

...the results of the study... the temperature... the parameter... the relationship... the data... the results... the study... the temperature... the parameter... the relationship... the data... the results... the study...

ETUDE DE LA VARIABILITE SPATIALE DES TEMPERATURES MINIMALES EN MILIEU CLOS (HAIES BRISE-VENT) ET MISE EN PLACE D'UNE STRATEGIE RAISONNEE DE PROTECTION CONTRE LE GEL PRINTANIER

H. QUÉNOL*, G. BELTRANDO**

**Laboratoire de Géographie des Milieux Anthropisés CNRS UMR 2170.*

*Université des Sciences et des Technologies de Lille 59655 Villeneuve d'Ascq, France
quenol@hotmail.com*

***UMR 8586 du CNRS. PRODIG Equipe Dynamique des Milieux et Risques.*

*Université Denis Diderot (C.C. 7001) 2 place Jussieu 75251 Paris Cedex 05, France
beltrando@paris7.jussieu.fr*

Mots clés: haies, gel printanier, lutte antigel, fruitiers

Abstract: In spring-frost situation, shelterbelts generate a strong spatial variability of the minimal temperatures. The objective of this work is to evaluate the shelterbelt influence on the distribution of freezing and to propose methods of protection against spring-frost.

Introduction

Au printemps, le gel cause des dommages sur les cultures fruitières dont les organes végétatifs (bourgeon ou fleur) sont sensibles au fort refroidissement nocturne. La variabilité spatiale du gel est importante et souvent les dégâts agronomiques sont très hétérogènes dans l'espace notamment en situation nocturne radiative (ciel clair, vitesse du vent < 2 m/s) où les caractéristiques de surface (topographie, environnement...) conditionnent fortement la distribution des températures minimales (Carrega, 1994). Ces variations spatiales, peu accentuées sur les parcelles en zone plane et ouverte, sont importantes lorsqu'il y a des obstacles naturels ou anthropiques à l'écoulement de l'air (replat, cuvette, talus...). Les haies brise-vent constituent aussi des obstacles à l'écoulement froid de surface.

Les effets d'un brise-vent, sur la température de l'air au cours d'une nuit gélive, sont difficiles à évaluer car ils varient en fonction des caractéristiques de la haie (perméabilité, hauteur, nature), des paramètres météorologiques (rayonnement solaire et IR nocturne, l'humidité de l'air, la vitesse et la direction du vent...) et de la topographie (notamment l'orientation de la haie par rapport aux écoulements nocturnes). Ces différents facteurs engendrent une forte variabilité microclimatique des températures minimales. Celle-ci pose un véritable problème pour le choix de stratégie de lutte antigel. Quel type de protection choisir, sachant que le rayon d'action du système est relativement limité par la présence des haies? Y-a-t-il un secteur de la parcelle à protéger plus qu'un autre? La méthode de protection choisie sera-t-elle opérationnelle quelque soit le type de gel (radiatif, advectif ou combinaison des deux)?

Pour tenter de répondre à ces questions, un protocole expérimental basé sur des mesures météorologiques à l'échelle parcellaire (microclimatique) a été mis en place sur des exploitations de pommiers et de poiriers des communes de Mallemort/Senas (Bouches-du-Rhône). Les mesures sont intentionnellement effectuées pendant des situations gélives différentes afin de créer une banque de données regroupant les divers types de temps à fort refroidissement nocturne (42 nuits de mesures).

Méthode et site de mesures

L'expérimentation s'est déroulée sur sept parcelles « tests » protégées par des brise-vent et une parcelle ouverte (témoin). Les vergers sont choisis en fonction des caractéristiques de la haie (perméable ou imperméable) et de leur position par rapport à la pente. Sur les parcelles, les capteurs de température de l'air ainsi que de la direction et de la vitesse des écoulements (régionaux et locaux) ont été disposés, à des points plus ou moins proches des haies. Sur la parcelle témoin, les mesures sont réalisées en milieu de parcelle. Les capteurs

sont disposés soit de façon à quadriller toute la parcelle, soit selon un axe perpendiculaire aux haies (Quénol, 2002).

Pour l'acquisition des données de température, des thermomètres électroniques (tiny talk) reliés à un data logger, enregistrent la température de l'air en indice actinothermique suivant un pas de temps de 1 minute. Les mesures anémométriques sont effectuées avec un anémomètre à hélice relié à un data logger. Les mesures de directions des écoulements gravitaires sont réalisées avec une girouette manuelle en balsa ultra sensible. Les instruments sont placés à 1m50 du sol (hauteur moyenne des bourgeons).

Les mesures ont eu lieu au cours de trois types de situations gélives: radiatif, advectif et advectif/radiatif (arrêt de mistral). Le gel radiatif se produit au cours de situations atmosphériques stables avec un ciel clair ou peu nuageux et un vent faible (<2-3 m/s). Cette situation favorise un fort refroidissement nocturne par rayonnement. Par temps advectif, les gelées sont généralement dues à l'arrivée d'une masse d'air froid (véhiculée ici par le mistral) provenant du nord-nord-ouest sur la région d'étude. Les plus fortes gelées sont souvent provoquées par la combinaison de ces deux phénomènes (advectif et radiatif). Les gelées provoquées par un «arrêt de mistral» se déroulent en deux phases: tout d'abord une phase advective, où l'apport d'une masse d'air provenant du nord refroidit l'atmosphère, puis une phase radiative où le ciel dégagé par le vent est favorable aux fortes pertes radiatives. Au moment où le vent de nord s'arrête, l'air froid et sec, plus dense et plus lourd que l'air ambiant, reste au niveau du sol par subsidence.

Résultats: les aires les plus froides sont fonction du type de gel

- En situation radiative, la perméabilité et la position de la haie par rapport aux écoulements gravitaires (blocage d'air froid) sont les facteurs les plus influant sur l'évolution microlocale des températures nocturnes. Lorsque la parcelle protégée par une haie imperméable n'entrave pas les écoulements gravitaires, il semble que seul l'effet de réémission du rayonnement infrarouge par la haie agit significativement sur les températures nocturnes. Cet effet est comparable au «sky view factor» (Groot, Carlson, 1996; Blennow, 1998). La répétition des mesures a permis de définir une amplitude thermique moyenne proche de 1°C entre la partie centrale de la parcelle et les rangs en bordure de haies (Fig 1). Le même effet bénéfique sur le rayonnement nocturne a été observé lorsque la haie est perméable. La perméabilité n'est donc pas un facteur limitant la réémission du rayonnement infrarouge par la haie. Si le verger est exposé à des entrées d'air froid (écoulements gravitaires), le facteur radiatif n'est plus aussi déterminant. Une haie imperméable, soumise aux écoulements nocturnes, crée un barrage à l'écoulement naturel de cet air. Sur des vergers protégés de haies imperméables faisant obstacle aux écoulements nocturnes (situés en contre-bas d'une pente d'environ 30°), nous distinguons deux secteurs où la haie imperméable a des effets opposés. En amont de la haie, l'air froid, s'écoulant par gravité, est ralenti par la haie. Cela provoque la formation d'une masse d'air froid et accentue le refroidissement et à l'aval, les actions thermiques et protectrices de la haie redeviennent prépondérantes puisque l'air froid n'atteint pas ce secteur. Le différentiel thermique entre la surface affectée par l'air froid bloqué par la haie imperméable et la surface en aval qui en est protégée peut atteindre plusieurs degrés. Par exemple, durant la première partie de la nuit radiative (léger vent de 3 m/s) du 21 au 22 décembre 1999, on note une différence de 2°C entre les deux côtés de la haie imperméable. Le ralentissement des écoulements gravitaires et donc le refroidissement de l'air en amont d'un obstacle ne se vérifie qu'en présence de haies imperméables. Si les brise-vent sont perméables (ex: peupliers), l'air s'écoule en permanence et limite ainsi le refroidissement et les différences entre l'amont et l'aval. La ré-émission du rayonnement IR par la haie limite à nouveau le refroidissement nocturne. L'action des haies brise-vent sur le rayonnement nocturne est valable autant sur un site plat que sur un site en pente.

- En situation advective avec ciel clair (généralement le mistral dégage le ciel de sa couverture nuageuse), le vent limite le refroidissement d'origine radiatif en brassant l'air froid favorisé par la protection des haies imperméables. Sur la partie de la parcelle protégée du

vent, l'air étant moins turbulent, le refroidissement est accentué par les pertes radiatives. L'écart entre la zone protégée et la zone brassée du verger est en moyenne proche de 1°C.

Lors d'épisodes advectif avec mistral, il est fréquent que le vent s'arrête au cours de la nuit. L'arrêt de mistral est souvent néfaste pour les cultures car la chute des températures est très brutale. Les secteurs influencés thermiquement par le brise-vent varient au cours de la nuit. Durant la première partie de la nuit, lorsque le vent souffle, la situation thermique est similaire à celle du gel advectif. La parcelle est divisée en un secteur où le vent limite le refroidissement et un autre où l'effet de protection du brise-vent l'accroît. Après l'arrêt de mistral, c'est le facteur radiatif qui redevient prépondérant. L'action des haies sur le rayonnement infrarouge ainsi que les conditions microclimatiques créées (antérieurement) pendant la période advective occasionnent des baisses de température plus ou moins intenses suivant l'endroit de la parcelle. En définitive, le point de mesure situé en milieu de parcelle subit le refroidissement le plus fort. Ce secteur correspond à la limite du brassage (phase advective) et de la fin de l'effet du «sky view factor» des haies (phase radiative) (Fig 2).

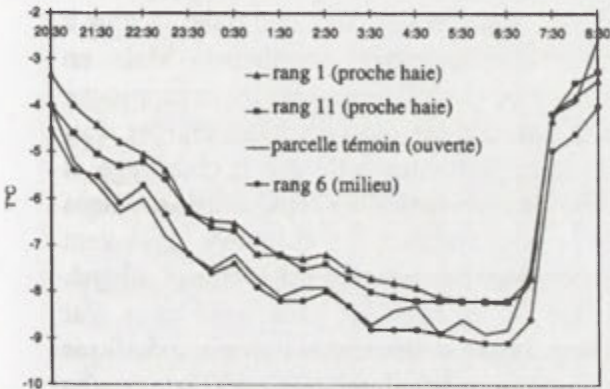


Fig. 1. Températures nocturnes en milieu clos (rang 1, 6 et 11) et ouvert en situation de gel radiatif: (26-27/01/00)

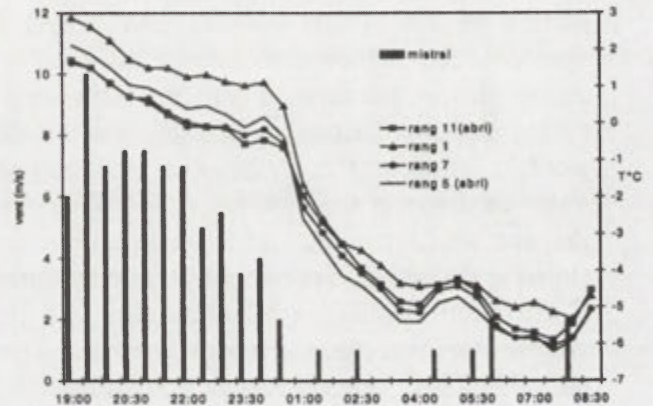


Fig. 2. Evolution des températures en fonction de la vitesse du vent sur une parcelle bordée de deux haies brise-vent imperméables par situation d'arrêt de mistral: (02-03/02/1999)

Quelle protection faut-il envisager?

L'analyse des températures nocturnes sur des parcelles protégées par des haies brise-vent a mis en évidence d'une part, une forte variabilité spatio-temporelle des températures et d'autre part, un comportement thermique différent suivant le type de refroidissement nocturne. En schématisant les résultats de ces mesures, nous considérons:

- qu'en situation radiative, lorsque la haie ne bloque pas les écoulements nocturnes, le secteur le plus froid correspond au milieu de la parcelle (2-4H)¹ (Fig 3) ;
- que lorsque la haie imperméable fait barrage aux écoulements nocturnes, un fort refroidissement dû à l'accumulation d'air froid est présent à l'amont de la haie ;
- qu'en situation advective, le secteur le plus froid est celui abrité par la haie (0-2H).
- qu'en situation d'arrêt de mistral, durant la période advective, le secteur le plus froid est celui abrité par la haie (0-2H). puis, après l'arrêt du vent, le refroidissement est plus fort en milieu de parcelle (entre 2 et 4H).

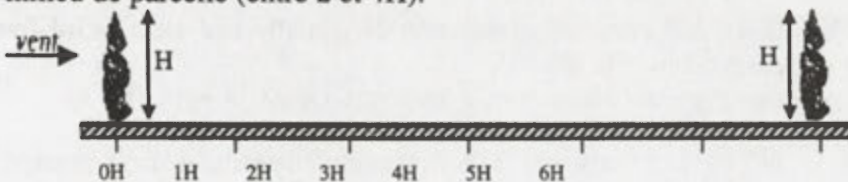


Fig. 3. Longueur moyenne des parcelles entre les deux haies imperméables (distance en nombre de fois la hauteur de la haie).

¹ La distance d'influence des haies variant dans la majorité des cas en fonction de leur hauteur, elle est exprimée en nombre de fois la hauteur de la haie ; par exemple 2H pour un brise-vent de 10 m représente une longueur de 20 m.

Des observations agronomiques, réalisées après de fortes gelées, ont validé ces résultats en montrant que la répartition des dégâts (bourgeons ou fleurs grillés) correspondaient aux secteurs les plus froids. Ces constatations ont permis d'envisager une stratégie de lutte antigel raisonnée en fonction de la répartition théorique des secteurs les plus froids et des caractéristiques de la parcelle (type de haie, pente, ...).

Pour le gel radiatif, la méthode de protection contre le gel, la plus répandue et la plus efficace, est l'aspersion d'eau sur frondaison. Cette technique n'implique pas d'adaptation spécifique au milieu de haie brise-vent. Ce système est disposé sur la parcelle de manière uniforme (un asperseur tout les x arbres suivant les caractéristiques de l'asperseur), mais il nécessite un gros investissement financier à l'installation (en moyenne 8450 euros à l'ha d'après Ctifl, 1998) et surtout la présence d'un réseau d'eau sous pression, ce qui n'est pas possible dans certaines régions où les réserves d'eau sont trop faibles. Il faut donc se tourner vers d'autres techniques. L'utilisation d'une tour à vent (Wind Machine) est envisageable sur une parcelle dont la surface est supérieure à 2ha (rare en milieu de brise-vent) sachant que la surface protégée maximale est de 3 ha. Sinon l'investissement est trop important pour la surface protégée (entre 9000 et 1000 euros). Pour que la protection soit optimale, la tour à vent doit être disposée au niveau des entrées d'air froid (écoulement gravitaires). Mais, en milieu clos, ce système ne peut être installé qu'en milieu de parcelle, car plus on se rapproche de la haie, plus l'action de brassage est limitée. Si la parcelle est soumise à des entrées d'air froid, il est nécessaire d'y associer une autre technique de protection telle que le chauffage. Il s'agit de disposer des bougies de paraffine au niveau des arrivées d'air froid ainsi que dans l'espace où s'accumule l'air froid en amont de la haie imperméable. En milieu de brise-vent (lorsque l'aspersion est impossible), le système de chauffage par bougies est le mieux adapté. Il est le moins onéreux à l'installation et à l'utilisation, si les épisodes gélifs sont rares. Par contre, son installation demande une main d'œuvre importante et une méthodologie spécifique au milieu clos. La meilleure façon d'utiliser les bougies est de distribuer 400 à 500 bougies/ha et de commencer par en allumer 1/3, puis 2/3 et enfin 3/3 selon l'évolution de la température (CTIFL, 1998). Sur les parcelles protégées par des haies perméables ou imperméables non soumises à des écoulements d'air froid, il conviendra d'allumer en priorité les bougies disposées dans le secteur entre 2 et 4H. Il est même conseillé de mettre plus de bougies sur ces rangées que sur celles se situant entre 0-2H et 4-6H. Pour une parcelle située en amont d'une haie imperméable soumise aux écoulements d'air froid, des bougies supplémentaires doivent être disposées au niveau des entrées d'air froid et dans la zone de blocage de l'air froid. Ces bougies doivent également être allumées en priorité.

Conclusion

Ces différentes méthodes de protection contre le gel sont efficaces en situation de gel radiatif et dans une moindre mesure (si le vent s'arrête suffisamment tôt dans la nuit) en situation d'arrêt de mistral. Par gel advectif, la présence du vent limite très fortement l'action du chauffage (dissipation de l'apport calorifique), l'aspersion de l'eau peu accentuer le risque gélif (forte évaporation) et les tour à vent ne peuvent pas être utilisées (vibration de l'hélice provoquée par le vent). Toutefois, en milieu de brise-vent, l'apport de chauffage dans le secteur protégée par la haie imperméable (0-2H) peut limiter très localement le refroidissement.

Bibliographie

- BLENNOW, K., 1998: Modelling minimum air temperature in partially and clear felled forests. *Agricultural and Forest Meteorology*, 91: 223-235.
- CARREGA, P., 1994: *Topoclimatologie et habitat*. Rev. d'Ana. Spat. Quant. et Appl., Th. Et.
- CTIFL, 1998: *Gel de printemps*. Brochure Ctifl.
- GROOT, A., CARLSON, D. W., 1996: Influence of shelter on night temperatures, frost damage, and bud break of white spruce seedlings. *Canadian Journal of Forest Research*, 26: 1531-1538.
- QUENOL H., 2002: *Climatologie appliquée aux échelles spatiales fines: influence des haies brise-vent et d'un remblai ferroviaire sur le gel printanier et l'écoulement du mistral*. Thèse de doctorat.

L'IMPACT DU TEMPS ATMOSPHERIQUE SUR LA MORTALITE D'HIVER A BARCELONE

Josep Miquel RASO, Lidia GÓMEZ, M. Carmen MORENO
Grup de Climatologia. Dpt. Geografia Física i AGR. Universitat de Barcelona
C/Baldiri i Reixac, 2. 08028 Barcelona, L'Espagne
Raso@trivium.gh.ub.es

Mots clés: Mortalité, température, pression, corrélations, type de temps, Barcelone.

Abstract: The aim of this study is a better knowledge of the influences of temperature and pressure on the mortality in Barcelona during the cold months (November-March). Significant negative correlations can be found between temperatures and mortality (total population and older than 65). Synoptic weather types and critical days with high mortality are considered.

Introduction

L'influence du temps sur la santé est un thème d'étude d'une énorme importance en terme de surveillance et de planification des services médicaux, et spécialement dans les grandes aires urbaines. L'évolution de la mortalité est sensible au rythme des saisons, et particulièrement à la moitié froide de l'année (Donaldson, Keatinge, 2002), malgré que d'autres études ont mis en évidence l'influence des hautes températures sur la mortalité estivale (Raso, 2002). Plus rares sont celles qui établissent une relation entre mortalité et pression atmosphérique (Gonzalez et al, 2001) et les types de temps (Kalkstein, 1991; McGregor, 1999). Dans ce contexte, il s'agit d'étudier en détails la relation entre certains paramètres du temps, atmosphérique, de température, de pression, et la mortalité à Barcelone, pendant la période de froid des années comprises entre 1990 et 1997.

Méthode

Les valeurs météorologiques de pression et de température proviennent de l'observatoire Fabra, situé à 420m au-dessus du niveau de la mer et il est établi dans celles-ci une résolution quotidienne (maximales, minimales, moyenne). Les registres de mortalité de Barcelone proviennent de « l'Institut Municipal de la Salut » et comprennent les années 1990-1997, faisant la différence entre le total de décès par million, et ceux se produisant chez les personnes de plus ou de moins de 65 ans. La période d'étude se concentre sur les mois dits froids, qui composent l'hiver climatique (décembre, janvier et février) et des mois antérieurs et postérieurs (novembre et mars), il tient compte de 1210 jours au total.

La relation entre les valeurs atmosphériques, températures et pressions, et la mortalité s'établit à partir de corrélations. Les seuils de divers quantums (premier et quatrième quintile, premier et neuvième décile) ont été sélectionné dans le but d'améliorer le sens des corrélations dans les valeurs extrêmes des variables. On essaie en même temps de déterminer les seuils à partir desquels la mortalité en période de froid de l'année augmente ou diminue. Le classement en types de temps de chaque jour dont se compose l'étude et sa fréquence d'apparition offre la clé synoptique, et aide en même temps à compléter les résultats. Les journées froides au-dessus de 4 quintiles inscrites sur le calendrier indiquent une série de jours, 22, situés en décembre, janvier et quelques uns en février, où la probabilité de dépasser les 36 décès est supérieure à 50%.

Résultats

Les résultats initiaux montrent des corrélations négatives significatives entre la mortalité et la température, alors que celles réalisées avec la pression atmosphérique ont très peu d'importance (Tabl. 1).

Tableau 1. Relation entre la mortalité et les températures (minimales, maximales et moyennes) et la pression atmosphérique (minimales et maximales), en période froide: coefficients de corrélation (r) et signification statistique (p)

Variables météorologiques	Mortalité journalière totale et selon groupes d'âge					
	Tous âges		0 à 64 ans		65 ans et plus	
	r	p	r	P	r	p
Temp.minimales	-0.173	0.0000	-0.06	0.0344	-0.17	0.0000
Temp.moyennes	-0.19	0.0000	-0.06	0.0660	-0.192	0.0000
Temp.maximales	-0.185	0.0000	-0.04	0.1638	-0.19	0.0000
Pres.minimales	-0.06	0.0265	0.019	0.5185	-0.08	0.0075
Pres.maximales	-0.03	0.2548	0.03	0.3001	-0.05	0.1040

Les valeurs de corrélation supérieures à -0.15 s'inscrivent parmi les températures, moyennes, maximale et minimale, et la mortalité totale parmi les personnes de plus de 65 ans. Les meilleurs résultats sont obtenus dans les corrélations entre les décès de personnes de 65 ans et plus et les températures moyennes et maximales (-0.19), et celles avec des températures inférieures, minimales (-0.17). En général, à des températures inférieures la mortalité augmente dans ce segment de la population, et par conséquent, le total.

A la vue de ces résultats, on applique comme critère de sélection les valeurs du premier et du quatrième quintil (1K, 4K), ainsi que celles du premier et le neuvième décile (1D, 9D). Il s'agit ici de réduire l'échantillon au nombre de cas qui dépasse ce seuil (un peu plus de 240 pour les quintils, et autour de 120 pour les déciles) pour nuancer les valeurs des variables dans ces cas (Tabl. 2).

Tableau 2. Valeurs des seuils statistiques de la température, pression et mortalité. K1 et K4 signifie premier et quatrième quintil; D1 et D9 signifie premier et neuvième décile

Seuil statistique	Températures			Pression		Mortalité		
	T.max	T.min	T.moy	Pr.máx	Pr.mín	t.âge	0-64	65 et +
Moyenne	13.2	7.0	10.1	1021.4	1016.3	31.7	25.6	6.1
K1	10.4	4.6	7.6	1014.4	1008.1	26.8	21.3	4.5
K4	16.2	9.6	12.7	1027.9	1024.1	35.9	29.7	7.8
D1	8.7	3.0	6.2	1010.5	1003.5	25.1	19.2	3.7
D9	17.6	10.8	14.0	1031.1	1027.2	39.6	32.8	8.8

- Températures

On travaille pour chaque température avec les 4 seuils déterminés pour les valeurs des quartils (1K, 4K, 1D et 9D). Les enregistrements thermiques maximums quotidiens montrent, qu'autant avec le seuil du premier quintil (10.04°C) qu'avec celui du premier décile (8.78°C), il se produit une augmentation dans les moyennes de la mortalité, si bien que les valeurs de corrélation ne sont pas significatives. En considérant seulement les cas où les températures maximales se situent au-dessus de 16.2°C (4K) et de 17.6°C (9D), on observe une baisse des valeurs de mortalité moyenne. L'incidence de la valeur des enregistrements minimums sur la mortalité dépend des seuils de travail. Ainsi, les jours où ces valeurs minimums se trouvent en dessous de 3.0 (1D) et de 4.6° (1Q) on remarque une légère augmentation de la mortalité.

Les valeurs significatives de corrélation négatives s'obtiennent entre la mortalité totale et celle des personnes de plus de 65 ans par rapport aux températures et à la pression si l'on prend en compte les 20% des journées avec des minimales plus élevées (4K), au-dessus des 9.6°C . La valeur moyenne de la mortalité dans tous les cas est en-dessous de la valeur qui s'obtient pour l'ensemble des jours qui composent la période d'étude. Les températures nocturnes douces, tel qu'il l'est indiqué précédemment (au-dessus de 9.6°C) montrent une corrélation significative négative avec la mortalité, laquelle disparaît si l'on augmente le seuil de température à 9D (10.8°): dans ce cas on observe de nouveau une baisse du nombre de décès total et des personnes de plus de 65 ans (22.9 et 29.05).

- Pression

En utilisant comme seuil les valeurs des quintils et des décils de pression plus élevée, on améliore sensiblement les corrélations entre la mortalité, particulièrement dans le groupe des personnes de plus de 65 ans, et la température. Les pressions quotidiennes minimales montrent aussi cette tendance générale, vu que dans les cas contenus à partir de la valeur 4K (1024.14 hPa) et 9D (1027.18hPa) on atteint des corrélations entre les températures et la mortalité au-dessus de -0.3.

En dépit du travail avec les valeurs quotidiennes plus élevées de pression minimale, on n'observe aucun changement des valeurs ni de la mortalité, par rapport à la moyenne de toute la période, ni de la température. Les pressions minimales quotidiennes les plus basses qui composent les 20% de la distribution à gauche (1K, 1008.1hPa) et spécialement les 10% des plus extrêmes (1D, 1003.6hPa) marquent en moyenne une augmentation des décès par rapport à la valeur de la période, et une diminution des températures.

- Mortalité

La mortalité totale montre dans ces valeurs extrêmes (4K, 9D) une corrélation négative avec la pression, dans le premier cas, et non significative avec la température pour les deux seuils. On estime que les 240 cas retenus qui outrepassent le seuil des 35.9 décès par jour (4K) montrent en moyenne des pressions légèrement en dessous de la moyenne générale qui correspondent à des températures moyennes, particulièrement la maximale et la moyenne, de l'ordre de -15 et -13 avec des valeurs minimales et maximales. La corrélation avec la mortalité des personnes anciennes offre des résultats meilleurs, dans ce cas les valeurs négatives montent jusqu'à -0.2 et -0.18 dans chaque cas.

Pour les valeurs de mortalité totale plus basses (1D, 1K), il semble que le facteur ayant la plus grande importance est la valeur de la température, qui monte de 0.8 à 1°C, alors que les pressions dans les deux cas obtiennent des valeurs similaires à celles que l'on a extrait comme moyenne dans tous les cas (1016hPa de pression minimum et 1021hPa comme valeur maximum). Dans tous les cas des valeurs significatives n'apparaissent pas dans la corrélation entre la mortalité totale et la température, ou la pression.

L'étude détaillée de la mortalité des personnes de moins de 65 ans, suivant la même technique, ne produit pas de résultats distinctifs, vu que cette population est, en général, la moins exposées aux problèmes cardio-vasculaires et respiratoires, et pour cela, c'est la frange pour laquelle le temps aura le moins de répercussions. Il faut simplement noter que pour les seuils supérieurs de mortalité la corrélation négative s'améliore considérablement entre les valeurs de températures et le décès des personnes anciennes, et du total de celles-ci: dans le cas du 9D les valeurs s'échelonnent entre -0.30 et -0.33.

Tableau 3. Fréquence des types de temps synoptique des 1210 jours.

Fréquence des ces types les 121 jours où la taxe de mortalité dépasse de neuvième décile

Types de temps synoptiques	Tous les jours		Mortalité totale Taxe >39.6 (9D)		Mortalité plus 65 ans Taxe >32.85 (9D)	
	Freq. Abs.	Percentage	Freq. Abs.	Percentage	Freq. Abs.	Percentage
Anticyclone	289	0.2427	17	0.1404	26	0.2149
Advection d'E	182	0.1528	12	0.0992	13	0.1074
Advection de N	82	0.0688	4	0.0331	4	0.0331
Advection de NE	108	0.0907	8	0.0661	8	0.0661
Advection de NW	130	0.1092	12	0.0992	9	0.0744
Advection de SW	85	0.0714	14	0.1157	15	0.1240
Advection d'W	242	0.2032	44	0.3636	38	0.3140
Dépression	58	0.0487	10	0.826	8	0.661
Marais barométrique	15	0.0126	--		--	

Par rapport aux types de temps, souligner que malgré le fait que le type le plus représenté durant la période d'étude est l'anticyclone (A, 24.3% des cas), celui qui s'associe à des journées où le nombre de décès dépasse le 9D, c'est à dire, 39.6 décès, est le AW (advection de l'ouest), qui cumule les 36.7% des cas. Aussi bien le type AW que le type ASW (advection du sud ouest), associé à des flux d'ouest, offrent des augmentations de la mortalité associé à de légères augmentations de la température et à la baisse de la pression par rapport à la normale de la période (Tabl. 3).

Conclusions

On a montré comment, bien qu'en général les corrélations significatives entre la mortalité, la pression et la température ne sont pas très élevées, il existe une connexion entre elles. Aux journées d'hivers avec des températures au-dessus de la moyenne autour de 1°C et des pressions normales, correspondent des baisses dans le calcul total des décès, particulièrement sensible chez les personnes de plus de 65 ans. D'autre part, et cela coïncide avec les types de temps comme AW et ASW, à une baisse de la pression entre 3-5hPa, et une augmentation de la température de 0.5 à 1.3 °C, qui supposent une augmentation de la mortalité totale au-dessus des quasi 40 décès quotidiens. Ces jours se concentrent de préférence entre la mi-décembre et la mi-janvier, les 28-29 décembre, les 4-11 janvier et les 18-19 janvier étant entre autre les jours critiques.

Bibliographie

- DONALDSON, G.C. et KEATINGE, W.R., 2002: Excess winter mortality: influenza or cold stress? Observational study. *British Medical Journal*, 324: 89-90.
- GONZALEZ, S., et al., 2001: Relationship between atmospheric pressure and mortality in the Madrid Autonomous Region: a time-series study. *International Journal of Biometeorology*, 45: 34-40.
- KALKSTEIN, L. S., 1991: A New Approach to Evaluate the Impact of Climate on Human Mortality. *Environmental Health Perspectives*, 96: 145-150.
- McGREGOR, G.R., WALTERS, S. et WORDLEY, J., 1999: Daily hospital respiratory admissions and winter air mass types, Birmingham, UK. *International Journal of Biometeorology*, 43: 21-30.
- RASO, J.M., 2002: Rapport entre les situations synoptiques et la mortalité en été à Barcelone. *Publications de l'AIC*, 14: 437-444.

PRECIPITATIONS EN AFRIQUE DU SUD
OBSERVATIONS (1969-1998) ET SIMULATIONS
(1969-1998, 2019-2049 ET 2070-2099)

Yves RICHARD, Clotilde MARCEL, Yan ZHAO, Pierre CAMBERLIN
Centre de Recherches de Climatologie, CNRS – Université de Bourgogne,
6 Bd Gabriel, 21000 Dijon, France
yrichard@u-bourgogne.fr

Mots clés: Afrique du Sud, précipitations, observations, modèle couplé océan-atmosphère de circulation générale, scénario B2 IPCC, changement climatique

Abstract: The study focuses on rainfall changes over South Africa as simulated from the ocean-atmosphere coupled general circulation model ARPEGE/OPA, under the IPCC B2 scenario. Simulations for 1970-1999 are compared with observed data in order to assess the ability of the model to reproduce South African climate. Spatial patterns and seasonal variations are correctly simulated, but precipitation amounts are overestimated. Projections for the XXI century display a small decrease of both the rainfall amounts and the number of rain days.

Introduction

En Afrique du Sud, la question de la ressource en eau est cruciale. Les sécheresses récentes l'attestent. Dans ce contexte, notre objectif est d'évaluer les changements pluviométriques qui pourraient se produire au XXI^{ème} siècle, compte tenu de l'évolution projetée de la composition chimique (Gaz à Effet de Serre (GES) et aérosols) de l'atmosphère.

Données et Méthodes

Nous analysons des sorties du modèle couplé océan-atmosphère ARPEGE/OPA développé par Météo-France (Royer et al., 2002) et le Laboratoire d'Océanographie DYnamique et de Climatologie (LODYC). Le scénario d'émission de GES et d'aérosols est le SRES B2 du GIEC (IPCC, 2001). Il s'agit d'une simulation de 150 ans. Elle est effectuée avec les concentrations observées de 1950 à 1999 et celles prévues sur la base d'émissions assez contrôlées de 2000 à 2099. Une simulation de contrôle a également été réalisée avec des concentrations constantes: celles de 1950. La différence entre simulations B2 et de contrôle est donc la conséquence des modifications anthropiques.

Dans un premier temps, pour vérifier l'aptitude du modèle à reproduire le climat de l'Afrique australe, nous confrontons les simulations 1969-1998 avec 3 jeux indépendants de données:

- Des précipitations quotidiennes sur l'Afrique du Sud du South African Weather Service (SAWS) permettent de calculer des indices (moyennes spatiales des volumes et des nombres de jours de pluie par mois) correspondant à 6 points de grille du modèle situés sur le plateau intérieur (Marcel, 2003) ;
- Les précipitations (depuis 1979) continentales et océaniques CMAP (Xie, Arkin, 1996) ;
- Les pressions, vents et températures issues des réanalyses du NCEP (Kalnay et al., 1996).

Ensuite, le climat moyen simulé de 1969-1998 est comparé avec ceux de 2019-2049 (pour les douze mois) et de 2070-2099 (pour janvier-mars, cœur de la saison des pluies), ce sur les simulations de contrôle et B2, afin de voir si les changements éventuels peuvent être attribués aux modifications de la composition chimique de l'atmosphère.

Aptitude du modèle couplé à simuler le climat (octobre 1969 – septembre 1998)

A l'échelle globale, l'aptitude d'ARPEGE/OPA à simuler le climat et sa variabilité a été éprouvée (Terray et al., 1995). Le lien entre l'échelle globale et celle de l'Afrique australe a été étudié (Camberlin et al., 2003). Ces deux études montrent que le modèle couplé est performant en ce qui concerne la dynamique de l'atmosphère (niveaux géopotentiels, vents) et les structures spatiales des différents éléments du climat (température, précipitations), mais évalue rarement correctement le volume précipité.

La comparaison entre précipitations Janvier-Mars ARPEGE/OPA (Fig. 1A) et CMAP (fig 1B) montre, un gradient sud-ouest / nord-est très correctement reproduit, mais une surestimation des volumes. ARPEGE/OPA, comme la plupart des modèles (Joubert et Hewitson, 1997), même pour les versions couplées les plus récentes (Hudson et Jones, 2002), surévalue fortement les précipitations sur l'Afrique australe, particulièrement sur le Drakensberg (problème de représentation du relief?).

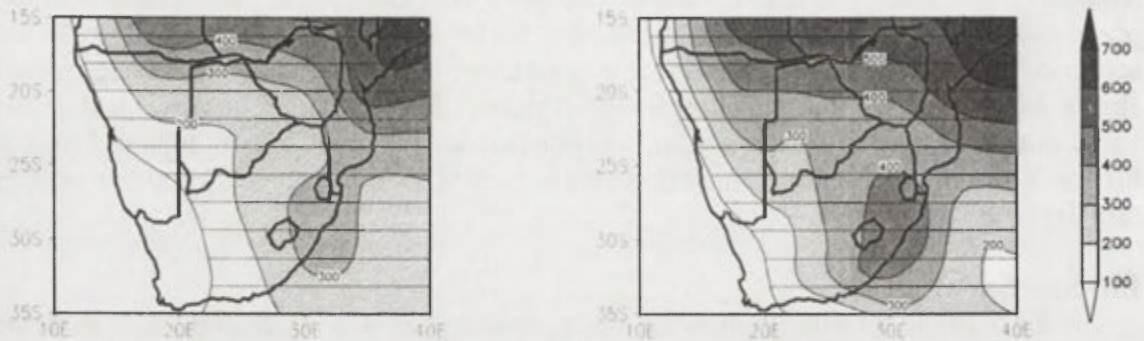


Fig. 1. Précipitations Moyennes de Janvier-Mars 1979-2000 (en mm)
A. ARPEGE/OPA B. CMAP

Le rythme saisonnier est correctement reproduit (Fig. 2). Toutefois les maxima (mars contre février) et minima (août contre juillet) simulés (B2) présentent un retard d'un mois par rapport aux observations (SAWS). La surestimation des volumes (Fig. 2A) est maximale durant la saison humide (décembre-avril) et minimale durant la saison sèche (juillet à octobre).

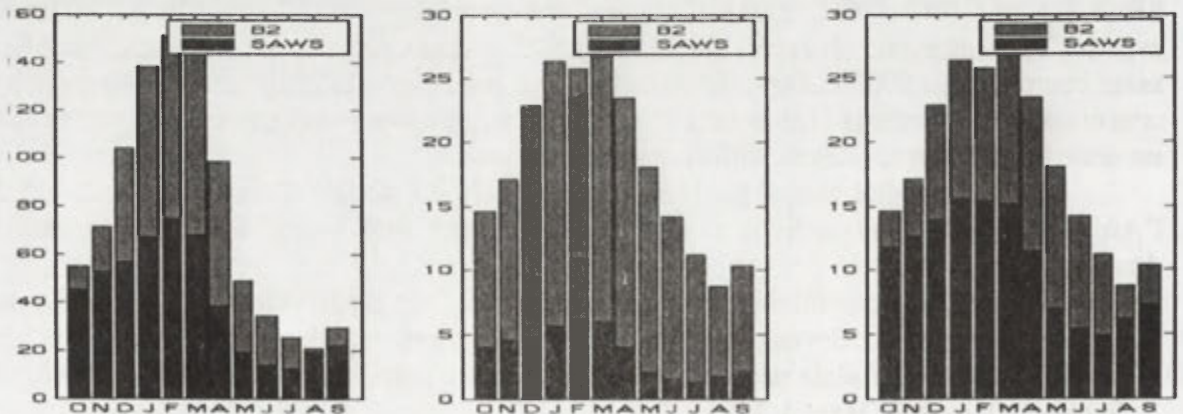


Fig. 2. Moyennes mensuelles (Octobre 1969-Septembre 1998)
A. Volume B. Nbre jours Tech.1 C. Nbre jours Tech.2

On pourrait attribuer cette surestimation à un trop grand nombre de jours de pluie (fig 2B). Mais la comparaison entre des nombres de jours de pluie émanant de stations et de points de grille est malaisée. Pour transformer les séries stationnelles de nombre de jours de pluie en une série correspondant à une aire, deux techniques sont mises en oeuvre:

1/ Moyenne spatiale des moyennes mensuelles stationnelles de nombre de jours de pluie (Fig. 2B). On obtient ainsi l'information suivante: «en moyenne, en un point quelconque de l'aire,

il pleut n jours». Cette valeur est peu sensible à l'échantillonnage (nombre de stations considérées) mais diffère sensiblement des valeurs ARPEGE/OPA. Le modèle surestime ce nombre, en particulier durant la saison des pluies (Fig 2B).

2/ On considère qu'un jour est pluvieux lorsqu'il a plu dans au moins l'une des stations (Fig. 2C). On obtient ainsi «le nombre de jours où, dans l'aire considérée, il a plu quelque part». Cette moyenne est très sensible à l'échantillonnage, mais se rapproche beaucoup des valeurs ARPEGE/OPA lorsque les points de grille comportent au moins 30 stations (Marcel, 2003).

Simulations climatiques avec scénario GIEC SRES B2 (2070-2099)

Les précipitations simulées par le modèle sont de maille grossière (2°5). Un modèle statistique de désagrégation régionale (Busuioc et al., 1999) fondé sur les relations statistiques existant dans le climat actuel entre la pression au niveau de la mer et les précipitations stationnelles observées (Zhao et al., 2003), permet d'établir des projections plus fines spatialement et plus réalistes en termes de volumes.

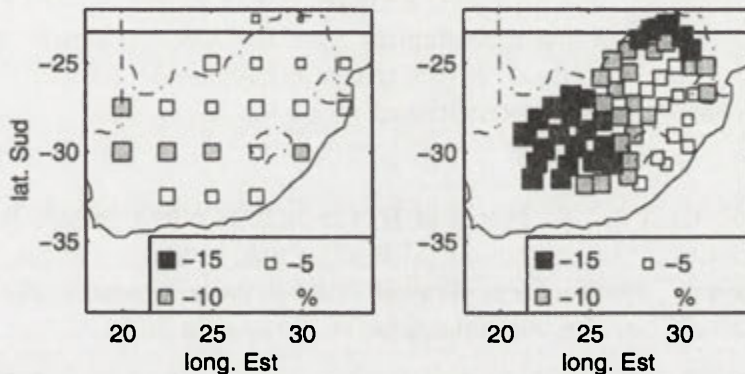


Fig. 3. Evolution simulée des précipitations de Janvier-Mars (2070-2099 / 1969-1998)
A. B2 B. Désagrégation régionale

On calcule les différences entre les précipitations de 2070-2099 et celles de 1969-1998. ARPEGE/OPA, forcé par le scénario B2, simule une diminution des précipitations estivales: 8.2% de la moyenne de Janvier-Mars calculée sur les points de grille situés en Afrique du Sud (Fig 3A). Le modèle statistique de désagrégation régionale conforte l'hypothèse d'une diminution, en l'amplifiant (16%) et en précisant les contours: le Sud-Ouest du plateau intérieur serait le plus affecté (Fig. 3B).

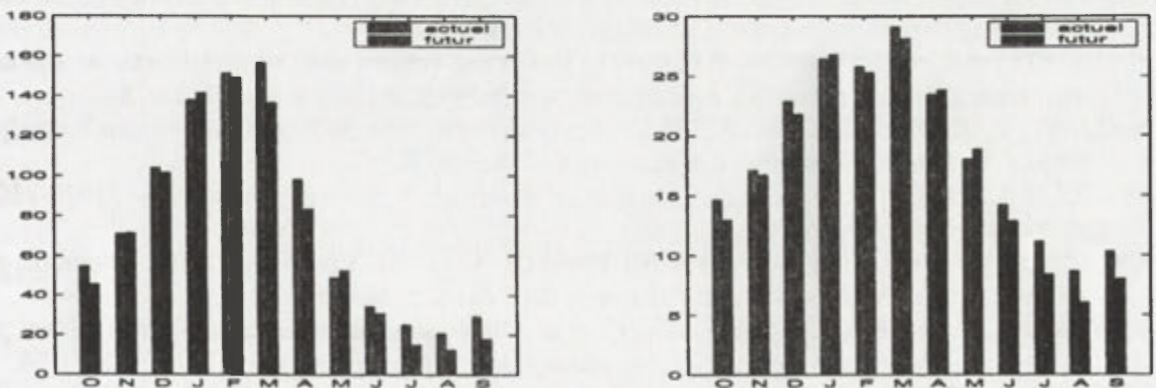


Fig. 4. Evolution simulée des précipitations quotidiennes (1969-1998 / 2019-2049)
A. B2 Volume B. B2 Nombre de jours de pluie

En 2019-2049, la plupart des mois de l'année seraient plus secs qu'en 1969-1998 (fig 4A). Les diminutions sont significatives (Student) au seuil 95% pour mars et août, 99% pour juillet et septembre. C'est principalement la saison sèche qui subirait cette péjoration associée

à une diminution du nombre de jours de pluie, également maximale en saison sèche (significative à 99% pour juillet, août et septembre). Les mêmes analyses ont été effectuées sur la simulation de contrôle. Seul le mois d'août présente une diminution significative du volume (95%) et du nombre de jours de pluie (90%).

Conclusion

1/ Au pas de temps saisonnier, le modèle couplé ARPEGE/OPA simule de façon réaliste plusieurs traits du climat sud-africain (pression, vent, températures...).

2/ ARPERGE/OPA en décrit bien le rythme pluviométrique saisonnier ainsi que les structures spatio-temporelles de variabilité interannuelle. Mais il surestime les volumes.

3/ La surestimation des volumes précipités peut être liée à une trop grande fréquence des précipitations ou/et à de trop forts abatements par épisode pluvieux. La confrontation avec les données quotidiennes de précipitations ne permet pas de trancher, car comparer des observations stationnelles ponctuelles, et des simulations par mailles est délicat.

4/ Forcé par le scénario SRES B2 du GIEC, le modèle simule une légère diminution des volumes et du nombre de jours de pluie, attribuable à la modification de la composition chimique de l'atmosphère, proportionnellement plus marquée en saison sèche qu'en été, saison pour laquelle une technique de désagrégation régionale permet de proposer une géographie possible des déficits pluviométriques.

Remerciements

JF. Royer, F. Chauvin, S. Tyteca et H. Douville (CNRM, Météo-France Toulouse) pour la mise à disposition des simulations ARPEGE-OPA, le South African Weather Bureau pour les précipitations quotidiennes. Travail réalisé dans le cadre de l'ACI «Jeunes chercheurs» n°67625 «Variabilité pluviométrique en Afrique du Sud».

Bibliographie

- BUSUIOC, A., von STORCH, H. et SCHNUR, R., 1999: Verification of GCM-Generated regional seasonal precipitation for current climate and of statistical downscaling estimates under changing climate conditions. *Journal of Climate*, 12, 258-272.
- CAMBERLIN, P., RICHARD, Y. et ZHAO, Y., 2003: Simulation du climat par le modèle couplé ARPEGE/OPA aux échelles globales et de l'Afrique australe (1970-1999 et 2070-2099). *La Météorologie*, soumis.
- HUDSON, D.A. et JONES, R.G., 2002: *Simulations of present-day and future climate over Southern Africa using HadAM3H*. Bracknell: Hadley Centre technical note 38.
- HULME, M., DOHERTY, R., NGARA, T., NEW, M. et LISTER, D., 2001: African Climate Change: 1900-2100. *Climate Research*, 17: 145-168.
- IPCC, 2001: *Climate Change 2001: the scientific basis*. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press.
- JOUBERT, A.M. et HEWITSON, B.C., 1997: Simulating present and future climates of southern Africa using general circulation models. *Progress in Physical Geography*, 21: 51-78.
- KALNAY, E., KANAMITSU, M., KISTLER, R., et al., 1996: The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis Project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77: 437-471.
- MARCEL, C., 2003: *Précipitations en Afrique australe: observations et simulations (1950-2100)*. Mémoire de DEA, Dijon, 50p.
- RICHARD, Y., CAMBERLIN, P., FAUCHEREAU, N. et POCCARD, I., 2001: Evolution des précipitations au XXème siècle en Afrique du Sud. *Publications AIC*, 14 : 134-142.
- ROYER, J.F., CARIOLLE, D., CHAUVIN, F., et al., 2002: Simulation des changements climatiques au cours du XXIe siècle incluant l'ozone stratosphérique. *C. R. Geoscience*, 334 (3): 147-154.
- TERRAY, L., THUAL, O., BELAMARI, S., et al., 1995: Climatology and Interannual Variability Simulated by the Arpege-Opa Coupled Model. *Climate Dynamics*, 11: 487-505.
- XIE, P. et ARKIN, P., 1996: Analyses of global monthly precipitation using gauge observations, satellite estimates, and numerical model predictions. *Journal of Climate*, 9: 840-858.
- ZHAO, Y., CAMBERLIN, P. et RICHARD, Y., 2003: Validation of coupled GCM and projection of summer rainfall change over South Africa by the use of statistical downscaling method. *Climate Research*, soumis.

RADON ET INVERSIONS DE TEMPERATURE DANS L'AGGLOMERATION GRENOBLOISE

Isabelle ROUSSEL, Jacques DECHENAUX
'Association pour la Prévention de la pollution atmosphérique
10 rue P.Brossolette 94 270 Le Kremlin Bicêtre
isaroussel69@aol.com

Mots clés: radon, inversion de température

Abstract: In the paper a relation between radon radiation and temperature inversion is presented through the example of Grenoble agglomeration.

Introduction

L'agglomération Grenobloise (377 000 hab) n'est pas située dans les zones les plus concernées par le risque lié au radon puisque le socle est enfoui en profondeur dans cette zone des Préalpes (IPSN)¹. En effet, le radon est un gaz radioactif issu de la désintégration du radium provenant de l'uranium présent dans la croûte terrestre ce qui explique sa localisation préférentielle dans certaines zones géographiques où la présence du socle est plus proche. Il peut s'accumuler dans les parties basses des locaux. Le risque lié au radon mesuré dans l'air extérieur est, en lui même, faible. Il faudrait des conditions de confinement inhabituelles au sein d'un domicile particulièrement étanche pour que les concentrations, à l'intérieur des locaux, puissent atteindre des valeurs inquiétantes sauf dans certaines régions du centre de la France ou en Bretagne où des valeurs proches de 1200 Bq/m³ ont été relevées. Néanmoins, l'agglomération grenobloise, au sein de laquelle existe des installations susceptibles d'émettre des rayons ionisants, dispose de sites de surveillance de la radioactivité ambiante sur lesquels des mesures de radon sont effectuées depuis une dizaine d'année. Ce sont les mesures enregistrées depuis 1991 par l'APPA² selon le souhait du Conseil Général de l'Isère qui sont exploitées ici.

Le site de Grenoble, comme dans toutes les vallées alpines, est très fréquemment soumis à des inversions de température. Or, la mesure du radon peut être considérée, sous certaines conditions, comme un bon indicateur de la stabilité de l'air qui permet une mauvaise dispersion d'autres polluants d'origine anthropique. C'est la relation entre les inversions de température, considérées comme des indicateurs de la stabilité de l'atmosphère, et les niveaux de radon mesurés qui est présentée. L'objectif de la communication consiste à exploiter les données enregistrées depuis 11 ans entre le 1^{er} janvier 1991 et le 31 décembre 2001 afin de préciser quelles sont les caractéristiques des inversions thermiques au dessus de l'agglomération grenobloise (fréquence d'occurrence, saison, niveau, ampleur...). Ces inversions, selon leurs caractéristiques sont ensuite croisées avec les mesures du radon qui, peuvent alors être utilisées comme de bons indicateurs des inversions thermiques comme certaines publications l'ont déjà mis en évidence (Guedalia, 1980 ; Pont 2000).

Méthode

Les inversions thermiques grenobloises sont suivies, en continu, sur deux sites de mesures situés pour l'un à proximité du lieu où est effectuée la mesure du radon (pylône du CNEG³ portant des thermomètres à différents niveaux entre 215 m et 313 m) et pour l'autre à l'opposé de la vallée sur un transect spécialement équipé par le réseau de mesure de la qualité

¹IPSN J.P. GAMBARD, M.H. El JAMMAL Bilan SEGR de janvier 199

² Association pour la Prévention de la Pollution Atmosphérique

³ CNEG Centre National d'études géophysiques

de l'air ASCOPARG⁴, (avec trois points de mesure situés respectivement à 237, 363 et 935 m).

Les deux inversions ont été évaluée heure par heure au cours de la période 1991-2001. L'inversion calculée à partir des valeurs du mât du CNEG est une inversion basse, caractéristique de l'inversion de rayonnement nocturne tandis que l'inversion calculée à partir des mesures d'ASCOPARG se situe entre 300 et 900 m. Elle peut être qualifiée d'inversion haute même si elle est encore caractéristique des basses couches et ne représente pas le niveau de l'inversion de subsidence mesurée souvent autour de 2000 m. d'altitude.

Tableau 1: Moyennes mensuelles des niveaux de radon mesurés à Grenoble par l'APPA (Bq/m³)

	J	F	M	A	M	Juin	JT	A	S	O	N	D
1997	8,70	5,82	4,57	3,13	2,93	3,27	4,03	5,55	7,43	8,36	9,68	8,73
1998	7,93	9,61	4,05	2,73	4,61	4,55	4,83	6,97	4,20	4,54	4,95	6,23
1999	4,48	4,01	2,73	1,58	1,01	0,75	2,03	1,47	1,08	1,82	3,15	3,66
2000	5,73	3,20	2,14	1,42	1,02	1,49	2,63	4,74	4,62	3,88	2,93	4,18
2001	5,23	4,67	2,75	2,27	3,38	3,47	4,07	5,32	3,73	5,62	5,04	4,66

Chaque journée a été intégrée dans une des trois classes différenciées selon l'occurrence de l'inversion:

Classe n°	Type d'inversion
0	Aucune inversion constatée au cours des 24 h de la journée
1	Inversion haute observée pendant au moins une heure de la journée et inversion basse observée au moins quelques heures
3	Inversion basse seulement observée surtout en fin de nuit

La valeur horaire maximale du niveau de radon journalier a été retenue. Cette classification reste néanmoins assez grossière car elle ne prend pas en compte ni la persistance de l'inversion au cours de la journée ni son intensité.

Le tableau n° montre la répartition des journées entre les différentes classes et le niveau moyen maximal horaire du radon correspondant.

Résultats

L'occurrence de l'inversion basse est différenciée en fonction de son intensité. Si elle est, le plus souvent, comprise entre 0 et 1°, elle dépasse fréquemment l'amplitude de 1°. Même si l'inversion basse est très fréquente (elle apparaît plus d'un jour sur deux en moyenne), ces deux inversions peuvent survenir tout au long de l'année sans être nécessairement concomitantes. Même les inversions hautes ne se rencontrent pas uniquement en hiver. Ces inversions sont moins fréquentes en avril et mai peut être en raison d'un plus fort brassage de l'atmosphère. C'est également au cours du printemps que les niveaux de radon sont les plus faibles (Tabl. 1).

Les niveaux de radon suivent le rythme circadien imposé par les inversions thermiques. Le niveau maximal journalier de radon est, la plus souvent observé en fin de nuit. Au cours de la journée, la disparition des inversions permet un meilleur brassage de l'atmosphère et donc une plus forte dispersion du radon.

On observe un léger décalage dans le temps des inversions hautes qui se dissipent plus lentement (Fig. 2)

⁴ ASCOPARG Réseau de mesure de la qualité de l'air

Fig. 1 Fréquence d'occurrence horaire des inversions haute et basse à Grenoble au cours des différents mois de l'année (sources CNEG et ASCOPARG)

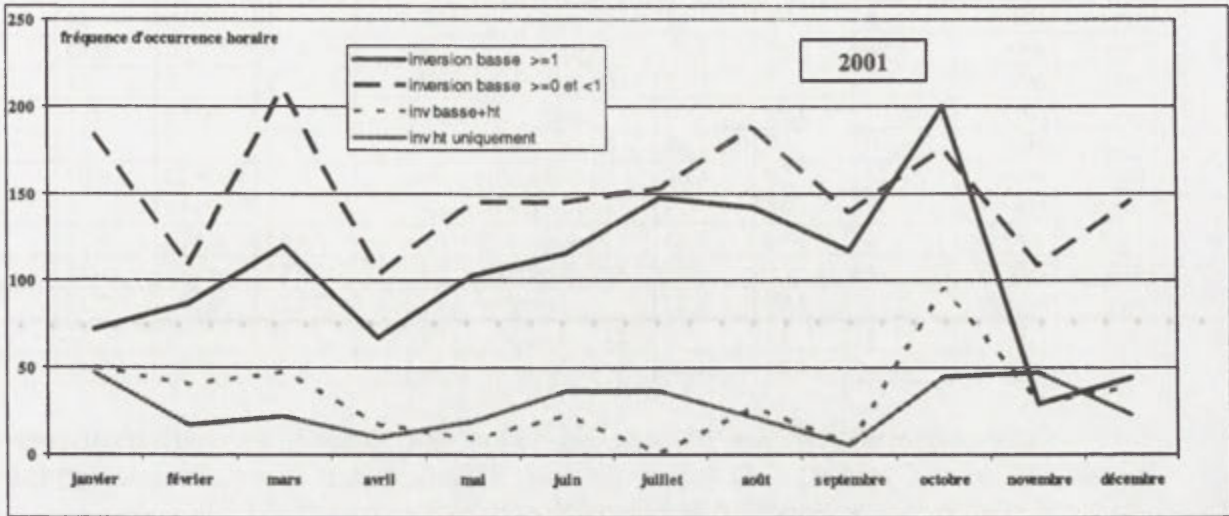
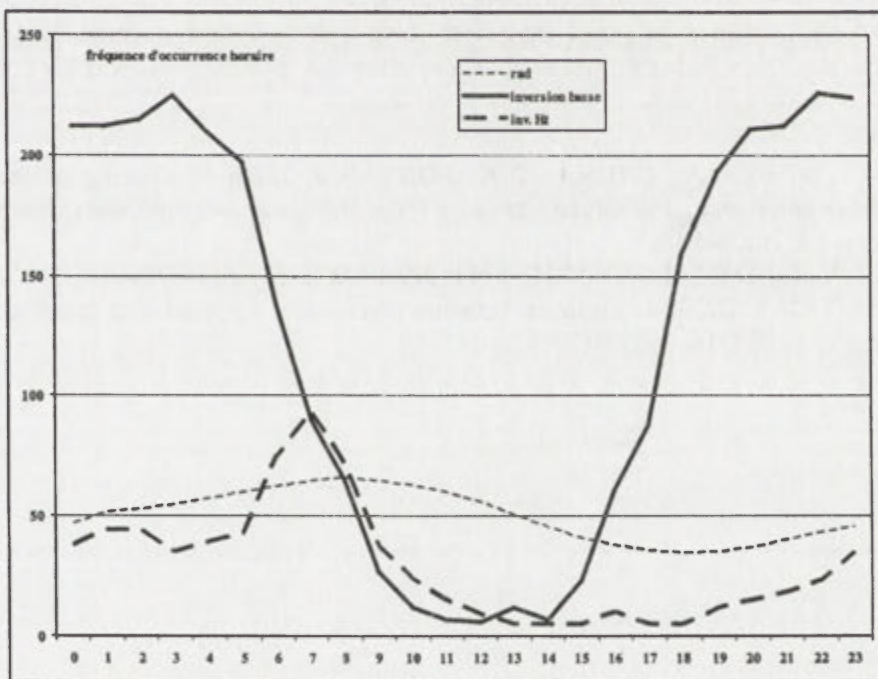


Fig. 2 Fréquence d'occurrence horaire des inversions haute et basse et des niveaux de radon à Grenoble au cours de la journée (sources APPA, CNEG et ASCOPARG)



Globalement, les niveaux de radon les plus élevés sont bien observés quand les deux inversions sont présentes. Ce qui signifie que les conditions de dispersions sont surtout contrôlées par la présence d'une inversion haute. L'inversion de rayonnement nocturne qui n'affecte que les couches les plus superficielles de l'atmosphère pendant quelques heures n'est pas suffisante pour influencer, de manière significative les niveaux de radon observés.

Tableau 2: Valeurs moyennes des niveaux journaliers maximaux de radon (Bq/m^3) selon l'état des inversions du jour V.M. = valeurs manquantes

2001		0	1	3	VM	2001		0	1	3	VM
janv	NB	8	8	13	2	juillet	NB	1	16	14	0
janv	moy	8,96	8,56	6,97		juillet	moy	2,14	7,86	5,92	
fev	NB	7	7	15	0	août	NB	0	9	21	1
fev	moy	5,74	9,59	8,28		août	moy		10,52	7,201	
mars	NB	0	7	24	0	septembre	NB	5	7	16	2
mars	moy	7,70	9,29	4,06		Septembre	moy	4,36	8,22	6,07	
avril	NB	14	5	10	1	octobre	NB	2	19	8	2
avril	moy	2,71	4,45	5,13		octobre	moy	4,32	9,723	4,74	
mai	NB	4	5	12	10	novembre	NB	11	7	11	1
mai	moy	3,55	7,99	5,25		novembre	moy	4,83	9,926	7,45	
juin	NB	3	11	5	21	décembre	NB	11	6	13	1
juin	moy	2,66	8,12	3,00		décembre	moy	5,38	8,87	7,84	

Cette augmentation des niveaux de radon qui dépend des caractéristiques de l'inversion devrait permettre de mieux préciser les précautions à prendre pour utiliser la mesure du radon dans les modèles de dispersion et de diffusion.

Conclusion :

La relation déjà soulignée entre les niveaux de radon et la stabilité de l'air a été confirmée par les observations effectuées à Grenoble. Cette relation pourrait être améliorée en utilisant un type de classification plus sophistiqué mais pourrait-elle être modélisée en raison de nombreux phénomènes pouvant interférer dans cette relation comme la fréquence des masses d'air océaniques qui sont moins chargées en radon que les masses d'air continentales.

Bibliographie

- GUEDALIA D., NTSILA A., DRUILHET A., FONTAN J. 1980: Monitoring of the atmospheric stability above an urban and suburban site using sodar and radon measurements, *Journal of Applied Meteorology*, 19, 7: 839-848.
- GAMBARD, J.P., EL JAMMALIPSN M.H., 1994: *Bilan SEGR de janvier 1994*.
- PONT V., FONTAN J. 2000 : Correlation between continental air mass and ozone concentrations. *J.Geophys. Res* ; 105 D14, 17699-17707.

LA VARIABILITE PLUVIOMETRIQUE DE LA SAISON AGRICOLE AU SUD DU CONGO (1950-1998)

Gaston SAMBA, Marcel MPOUNZA

*Centre de Recherches sur les Tropiques Humides, Université Marien Ngouabi,
BP 3069 Brazzaville, Congo
crth_umng@yahoo.fr*

Mots clés: Sud du Congo, Variabilité des précipitations saisonnières, cycle cultural

Abstract: In the last three decades, important rainy deficits rainfall have characterised the climate trend of the main southern agricultural regions of the Republic of Congo (Vallée du Niari and the Plateau des Cataractes) that represents 95000 km² is 28% the Congolese territory. The rainy deficit rainfall is approximately 10% and had been accompanied by seasonal precipitation disorganisation. Increasingly, the great dry season (of June to September) lengthens, what induced the shortening of the first rainy episode (on the average of October to December) or delays of rain beginning. To the south of Congo, as everywhere elsewhere under humid tropics the agriculture is essentially pluvial is strongly dependent the seasonal precipitation distribution. Characteristics of precipitation such that the onset, the end and the rainy season length and the total rainfall, as well as the different lengths of sequences dry during the vegetative season have important effect on the plants development.

The main goal of this study after having defined beginning and end dates of rains from criteria agroclimate is the analysis of their variability (shortening or lengthening of the agricultural cycle). This instability us pipe to a proposal of adaptation measures of operations cultural and the choice of varieties to long cycle or short cycle.

Introduction

Dans ce travail il s'agit d'analyser de l'évolution des précipitations saisonnières dans le sud de la République du Congo. Le sud du Congo est une aire géographique qui s'étend approximativement entre les latitudes 3° et 5°Sud et entre 8°Est et 18°Est de longitude. Il se caractérise par des précipitations moyennes annuelles relativement importantes, entre 2000 mm sur les plateaux Batéké dans la partie nord et 1200 mm sur le littoral congolais au sud.

Peu de travaux ont intéressé cet espace pour étudier la variabilité inter-annuelle des précipitations saisonnières (Maoba Makanga et Samba, 1997, Samba et al, 1999) et la majorité d'entre eux se sont focalisés sur l'analyse des régimes moyens. La cohérence inter-stationnelle semble par ailleurs toujours plus faible, que Janicot (1986) et Moron (1994) attribuent à l'influence des facteurs d'échelle locale. Dans le sud du Congo la répartition spatiale des pluies est en relation avec les états de surface tel que le relief avec l'effet de fœhn entre la chaîne de montagnes du Mayombe et la vallée du Niari.

Le but principal de cette étude après avoir défini les dates de début et de fin des pluies à partir des critères agroclimatiques est l'analyse de leur variabilité (raccourcissement ou allongement du cycle agricole). Cette instabilité nous conduit vers une proposition des mesures d'adaptations des opérations culturales et du choix des variétés à cycle long ou court. Après une rapide présentation des données et des méthodes utilisées, une seconde section présente les régimes pluviométriques moyens inter-décennaux. A partir de ces résultats, le choix des mois les plus pluvieux est effectué. Une troisième partie analyse, pour chaque année le début effectif des pluies des principales saisons pluvieuses. Une dernière section expose rapidement les principales caractéristiques des chroniques temporelles associées à chaque saison, ainsi que leurs possibles tendance d'évolution.

Données et Méthodes

Les données des précipitations utilisées sont extraites de la base de données développée par le Centre de Recherches sur les Tropiques Humides (CRTH) à partir des observations de la météorologie nationale. Le fichier est constitué des données des précipitations journalières sur la période 1950-1998. Un ensemble de 13 stations, parmi les plus complètes et permettant la couverture spatiale la plus régulière possible a été sélectionné (Fig 1).

L'essentiel de ce travail repose sur l'étude de la variabilité inter-décennale des précipitations saisonnières effectuée à partir des anomalies centrées réduites des cumuls mensuels. Cette méthode permet de comparer sans influence d'une part d'une à année à l'autre ou d'une décennie à l'autre et d'autre part d'une station à l'autre. En outre, ce travail analyse les occurrences des précipitations journalières intra-saisonnières à partir du modèle de chaînes de Markov. La chaîne de Markov, est un modèle stochastique, itératif, qui met en relation des probabilités de passage ou de transitions d'un état a un autre ou de persistance d'un état d'un système, et pour deux états (Navaro, 1996). Elle suppose que l'occurrence d'un jour sec ou pluvieux dépend de l'état du jour précédent. Ainsi l'état du jour k ne dépend que de l'état $k-1$ pour le processus de Markov d'ordre 1.

Variabilité inter-décennale des régimes pluviométriques

La figure 1 montre les précipitations mensuelles au cours les différentes décennies à partir de 1950. Le sud du Congo connaît sur toute son étendue un régime pluviométrique de type austral (pluies maximales entre octobre et avril). La recherche des structures spatiales cohérentes à l'échelle inter-annuelle s'est fait à partir des deux principales saisons des pluies mars-avril-mai et septembre-octobre-novembre. Ces deux saisons que Samba et al, (1999) définissent comme des SPPU, correspondent, sur presque l'ensemble du sud, à plus de 60% des précipitations annuelles (Fig 1).

La décennie 50-59 se caractérise par un régime bimodal très tranché, avec deux maximum des précipitations mensuelles, en novembre et mars. Le maximum de novembre n'est pas systématique, tel est les cas de Djambala et Mpouya où le premier maxima se situe au mois d'octobre. La décennie 60 conserve le régime bimodal avec d'importantes anomalies positives en novembre, mars et avril. En revanche, la décennie 70 est celle qui connaît de forte diminution des totaux pluviométriques sur les mois mars, avril et mai. Le régime prend une tendance unimodale dont le maximum est centré sur le mois novembre. Cette tendance unimodale persiste à Djambala au cours de la décennie 80. Alors que pour la majorité des stations, on note une augmentation importante des précipitations au mois de novembre de cette décennie 70. A Pointe-Noire les précipitations mensuelles des décennies 50 et 70 prend une tendance unimodale avec un maximum centré au mois de mars (en 50-59) et sur janvier (en 70-79) qui marque ainsi un grand décalage (de novembre à janvier). Ce type de régime décennal est on net est semblable à celui de la décennie 1950 bien que celui-ci ait un maximum au mois de mars.

Application de la chaîne de Markov

Le tableau 1 résume les différentes probabilités d'occurrence des précipitations journalières et de transition. Sur la figure 2, sont rapportées les courbes des observations et les ajustements du modèle Markovien. La majorité des stations montrent un meilleur ajustement des occurrences des précipitations journalières.

Tableau 1. Probabilités d'occurrence des précipitations journalières (séquences sèches)

Stations	Pointe-Noire	Dolosie	Mouyondzi	Brazzaville	Mpouya	Djambala
P(00)	0,63	0,56	0,61	0,66	0,62	0,49
P(01)	0,47	0,64	0,39	0,44	0,48	0,51

Discussion et Conclusion

La variabilité pluviométrique saisonnière du Sud du Congo semble donc s'effectuer selon des rythmes complexes. La faible conservation des régimes cohérents d'un mois à l'autre peut s'expliquer par le fait que les phénomènes qui régissent les saisons humides sont essentiellement aléatoires, tant dans leur déroulement temporel que dans leur intensité (Fehr, 1990). Les caractéristiques des saisons sèches sont beaucoup plus stables. C'est grâce à une méthode statistique (anomalies centrées réduites) il est possible d'identifier des modifications inter-decenale des régimes.

Ces caractéristiques des régimes et des occurrences des précipitations journalières génèrent plusieurs remarques: La plaine côtière, représentée ici par la station de Pointe-Noire, ne constitue pas un obstacle aux masses d'air humide de l'océan atlantique. De même la station de Loubomo située à faible altitude, de surcroît du côté Sous-le-Vent (versant est) de la chaîne de montagnes du Mayombe est sous l'emprise de l'effet de fœhn au passage des masses d'air océaniques. La station de Mouyondzi bien qu'étant à une altitude plus élevée (plateau Bembé) est elle aussi traversée par des masses d'air relativement asséchée. Djambala, station d'altitude, bénéficie d'une meilleure exposition à l'humidité apportée par des perturbations d'Est.

A cette circulation générale favorable, il faut associer les orages thermoconvectifs. Ces facteurs aérologiques et orographiques concourent à une meilleure distribution des jours pluvieux au niveau de ces stations.

Bibliographie

- BIGOT, S., CAMBERLIN, P., MORON, V., RICHARD, Y., ROUCOU, P., 1995: Modes of rainfall variability in tropical Africa and their stability through time. *21 st Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology*, April 24-28, 1995, Miami, FL by AMS, Boston, MA: 448-449.
- BUISSON, A., 1985: Une anomalie climatique au Gabon en 1984. *La Météorologie*, VII, 36-47.
- CADET, D., GARNIER, R., 1988: L'oscillation australe et ses relations avec les anomalies climatiques globales. *La Météorologie*, VII : 4-18.
- CAMBERLIN, P., 1994: *Les précipitations dans la corne orientale de l'Afrique: climatologie, variabilité et connexions avec quelques indicateurs oceano-atmosphériques*. Thèse, Université de Dijon.
- FEHR, S., 1993: *La climatologie du Gabon*. Institut Pédagogique National, Département d'Histoire-Géographie, Libreville, Gabon.
- FONTAINE, B., 1990: *Etude comparée de la mousson indienne et ouest-africaine: caractéristiques, variabilité et téléconnexions*. Centre de Recherches de Climatologie, URA 909, CNRS, Université de Bourgogne, Dijon, tome 1 et 2.
- GUILLOT, B., 1985: Températures de surface et pluviosité du golfe de guinée. *Veille Clim. Satellitaire*, CS, 6 : 13-16.
- JANICOT, S., 1986: Les précipitations aux échelles annuelle et mensuelle en Afrique de l'ouest et centrale. *Cahier du CRC*, n° 12, Dijon: 95-104.
- KAISER, H.F., 1958: The Varimax criterion for analytic rotation in factor Analysis. *Psychometrika*, vol. 23, n° 3: 187-200.
- LEGATES, D.R., 1987: A climatology of global precipitations. *Publications in climatology*, vol. 40(1).
- MALоба MAKANGA, J.D., 1995: Variabilité pluviométrique du Gabon 1951-1990. *Veille Clim. Satellitaire*, CS, 52 : 43-57.
- MALоба MAKANGA, J.D., et Tchiadeu G., 1996: Variabilité pluviométrique du Cameroun 1951-1993. *Colloque "Les risques liés au climat"*, 2-4 mai, Dijon.
- NICHOLSON, S.E., 1986: The nature of rainfall variability in Africa south of equator. *J. Clim.*, 6, 515-530.
- MAHE, G., 1992: *Les écoulements fluviaux sur la façade atlantique de l'Afrique. Etudes des éléments du bilan hydrique et variabilité interannuelle, analyse de situations hydroclimatiques moyennes et extrêmes*. Thèse, Université d'Orsay.

- MORON, V., 1994: *Variabilité des Précipitations en Afrique tropicale au nord de l'équateur (1933-89) et relations avec les températures de surface océanique et la dynamique de l'atmosphère*. Thèse, Université de Bourgogne.
- O'LENIC, E.A., LIVEZEY, R.E., 1988: Practical considerations in the use of rotated principal components analysis in diagnostic studies of upper height fields. *Mon. Wea. Rew.*, 116: 1682-1689.
- RICHMAN, M.B., 1986: Rotation of principal component. *J. Clim.*, 6 : 293-336.
- SAMBA-KIMBATA, M.J., 1991: *Précipitations et bilans de l'eau dans le bassin forestier du Congo et ses marges*. Thèse d'état, Université de Bourgogne.
- SIGHOMNOU, D., SIGHANKAMDJOU et TANYILEKE, G., 1993: Les fortes pluies de la région du mont Cameroun, Le cas d'Idenau. *La Météorologie*, VIII série : 41-47.
- SUCHEL, J.B., 1988: *Les climats du Cameroun*. Thèse d'état, Université de Saint Etienne.
- ZEBIAK, S.E., 1993: Air-sea interactions in the equatorial Atlantic region. *J. Clim.*, vol.6, 8: 1567-1586.

QUELQUES ASPECTS SPATIAUX DES PLUIES EXTREMES

Victor SOROCOVSCHI, Ionel HAIDU
Université Babeş-Bolyai, Faculté de Géographie,
5-7, rue Clinicilor, 3400 Cluj-Napoca, Roumanie
svictor@geografie.ubbcluj.ro
ionel_haidu@yahoo.com

Mots clés: pluies extrêmes, loi de probabilité, relief, risque, Transylvanie

Abstract: By frequency analysis we found some laws of probabilities having regional character in the Depression of Transylvania: Log-Pearson III for monthly 24h max., Gumbel for annual 24h max. and Weibull for rain intensity. The suggested relationships between the model parameters and the altitude emphasize that the risks of extremities depend on the first and second order relief, the shape of depression and the altitude.

Introduction

L'étude des événements climatiques extrêmes, c'est-à-dire, le risque de leur manifestation a une grande importance pour la sécurité des êtres humains et pour la stabilité économique, mais elle est accompagnée des incertitudes significatives. Il y a des méthodes pour l'estimation probabilistique des pluies extrêmes au niveau ponctuel, mais, la relation entre le processus de pluviosité extrême et les traits majeurs de l'espace (orographie, degré d'isolation dépressionnaire, orientation des crêtes face au circulation atmosphérique, degré de continentalité etc.) est encore inconnue. Pour la Roumanie, E. Bordei et I. Bordei (1970) ont déjà montré la complexité du cyclogénèse orographique à l'intérieur de Dépression de la Transylvanie à cause de configuration presque circulaire des Carpates. Le relief de la dépression est aussi importante dans le processus du pluviogénèse (Mac, Sorocovschi, 1981; Sorocovschi, Maier, 1981) mais son rôle sur la distribution spatiale de degrés d'occurrence des pluies extrêmes est inconnue. Dans ce contexte, l'article cherche les meilleures lois de probabilités pour décrire la pluviosité extrême et cherche les possibles liaisons entre les paramètres des lois et l'altitude des stations climatiques. Il cherche aussi, si le risque de pluviosité extrême a un caractère spatial ou non, dans la Dépression de Transylvanie.

Données et méthodes

On tient compte de trois types de données: des précipitations maximales mensuelles durant les 24 heures (1950-1999), des précipitations maximales annuelles durant les 24 heures (1950-1999) et des pluies d'intensité maximale annuelle (1977-1999). La région investiguée est représentée par la Dépression de la Transylvanie avec dix stations climatiques: Bistrița, Cluj, Dej, Făgăraș, Odorhei, Sibiu, Târgu Mureș, Turda, Sărmaș, Sebeș.

Par l'analyse de fréquence, première méthode, on cherche la détermination de pluviosité extrême, les quantiles X_T d'une certaine loi de probabilité (Meylan, Musy, 1999). Pour spatialiser les informations probabilistiques s'impose de trouver une seule loi pour chaque type de données, qui soit acceptable de point de vue de critères statistiques dans toute la région analysée. Le logiciel HYFRAN (Bobée et al., 1993-1999; Perreault et al., 1994). Les étapes de travail avec cet algorithme, aussi qu'un exemple de calcul de la risque d'occurrence des précipitations extrêmes est publiée par Haidu (2002).

Deuxième méthode c'est l'analyse de régression, utilisé pour trouver un possible liaison entre les paramètres de la loi de probabilité régional et un trait de relief, les altitudes des stations climatiques. À cause de l'orographie circulaire des Carpates qui entoure la dépression, c'est difficile de trouver un autre indice pour les conditions de la pluviogénèse (par exemple un degré de continentalité). Cette relation c'est nécessaire pour voir si c'est possible d'extrapoler une loi de probabilité ayant une signification ponctuelle à une signification

régionale. L'existence d'un possible gradient altitudinal qui expliquerait (partiellement) la pluviogénèse et la pluviosité extrême peut être valoriser pour construire en future des quartes de risque (à l'aide de SIG).

Résultats

Premièrement on a choisi la plus adéquate loi de distribution parmi les plusieurs possibles. Les tests statistiques Wald-Wolfowitz, Kendall et Wilcoxon démontrent que pendant la période soumise à l'analyse, les données sont indépendantes et réparties d'une manière identique. L'adéquation d'un modèle est vérifiée avec le test Khi-carré de K.Pearson. L'encadrement des données dans l'intervalle de confiance est aussi, importante. Les éléments statistiques de la population engendrée doivent être proches de celles de l'échantillon source. Pour le choix de la plus adéquate loi probabilistique on a tenu compte des critères de l'AIC (Critère d'Information d'Akaike) et de la BIC (Critère d'Information Bayésien, méthode de Schwartz).

La plus plausible conclusion est que les échantillons de données proviennent d'une population statistique binômiale, plus précisément Log-Pearson type III, spécifique pour les précipitations maximas mensuelles durant 24 heures. D'autres lois utilisables pourraient être: Gamma et Gamma généralisée. Pour les pluies maximas annuelles durant 24 heures, on a utilisé une loi des extrêmes, Gumbel, mais Log-Pearson tipe III est aussi acceptable. Les pluies d'intensité maxima annuelles sont mieux décrites par la loi de Weibull, puis l'exponentielle, Gumbel, GEV et Pareto. Première figure pressente ces résultats pour la station de Turda. On peut voir que les probabilités de maxima annuelles «couvrent» les probabilités de maxima mensuelles.

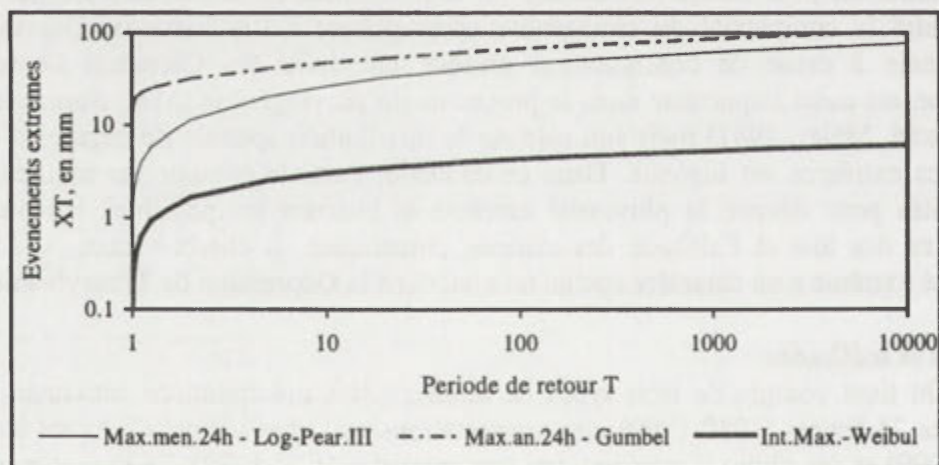


Fig. 1. Résultats de l'analyse de fréquence pour les pluies extrêmes de Turda

Un problème important à résoudre a été celui visant la possibilité que ces lois aient une correspondance spatiale étant spécifique pour toutes les 10 stations, sinon pour certaines stations peuvent être employées plusieurs lois. Mais le résultat est affirmatif ainsi qu'on peut accepter une seule loi pour chacune des types de données.

Parmi les résultats on a retenu non seulement les quantiles X_T des différentes périodes de retour, mais aussi les paramètres des lois de la probabilité. Par exemple dans le cas de la loi **Log-Pearson III** on a étudié la liaison entre les paramètres, m , et α d'un part et l'altitude de station climatique. En fonction de position des stations à l'intérieure du «cercle» montagneuse et par rapport avec l'altitude on a obtenu des liaisons spatiales de ces paramètres (Fig. 2). Par exemple le paramètre λ de la proximité de deux «ports orographiques de la Transylvanie» ouverts vers l'Ouest. Sebes et en face de porte de Sud-ouest, tandis que Dej et Sarvas sont en face de porte de Nord-ouest. Cluj, Sibiu, Fagaras et Odorhei se trouvent dans l'espace de dépressions périphérique (relief de «deuxième» degré) la grande Dépression de Transylvanie.

Au milieu, entre ces deux cas, mais aussi au milieu de la dépression se trouve Tg. Mures, Turda et Bistrița. La distribution spatiale du paramètre m ressemble au cas de la distribution spatiale de λ .

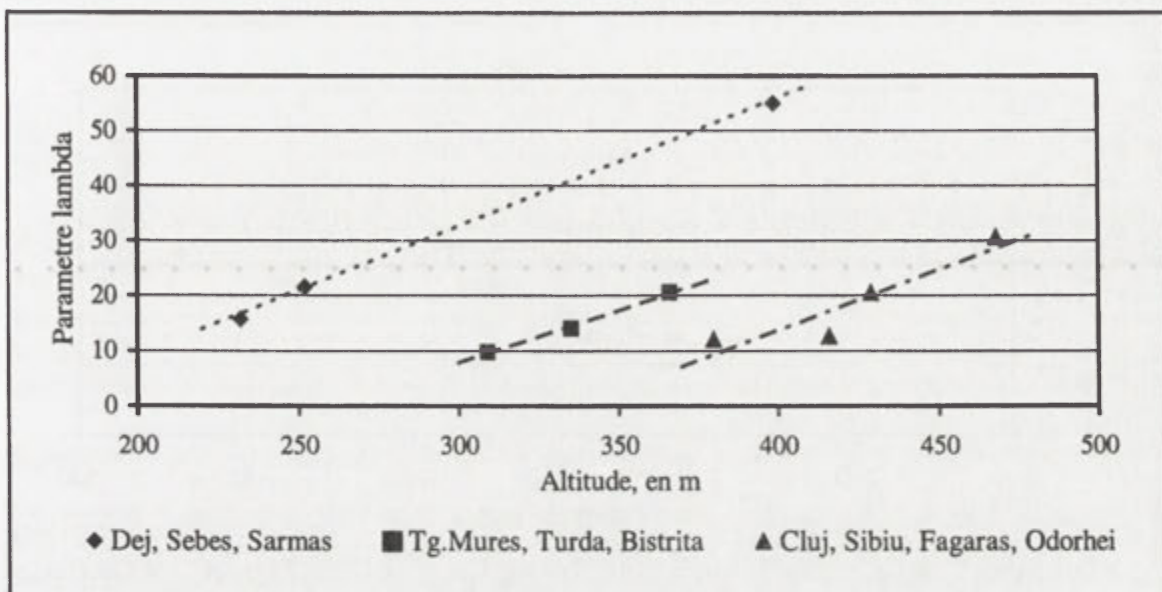


Fig. 2. Représentations de paramètre λ de la loi Log-Pearson III en fonction de l'altitude des stations climatiques

Cela c'est explicable parce qu'il y a une certaine relation directe proportionnelle entre λ et m . Par contre, le paramètre α a une relation inverse proportionnelle avec l'altitude des stations climatiques (Fig. 3). Dans ce cas, la position des stations dans l'espace de graphique est aussi ordonnée en fonction de la distance de « ports » d'un part, et le degré d'isolation dépressionnaire (Cluj, Sibiu, Fagaras, Odorhei) de l'autre part.

Par l'application de loi Log-Pearson III on résulte les quantiles X_T de périodes de retour T spécifié. La représentation graphique de la relation entre les quantiles $X_{T=100}$ et l'altitude de stations climatiques (Fig. 4) ne suggère pas que une seule régression. Dans le centre de la dépression où les fronts atmosphériques sont rétablent le risque d'occurrence des pluies extrêmes augmente avec l'altitude (Tg. Mures, Turda, Bistrița, Cluj et Sarmas). Mais, tout en face des « porte » c'est un autre patron cyclogénétique inconnu (Dej et Sebes).

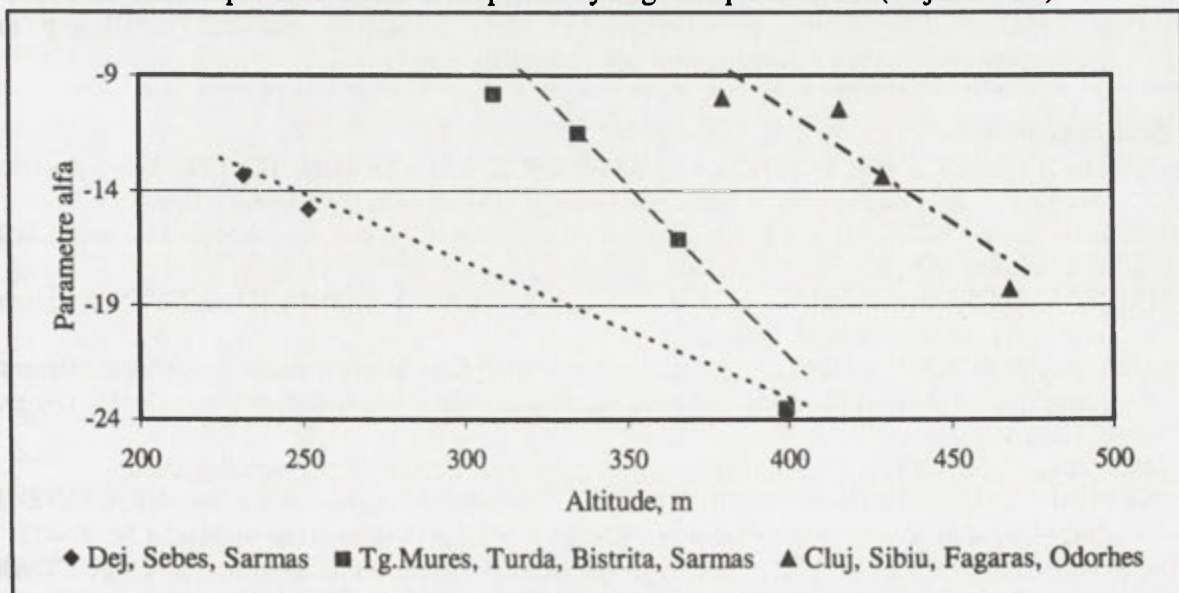


Fig. 3. Représentations de paramètre α de la loi Log-Pearson III en fonction de l'altitude des stations climatiques

Le risque des pluies extrêmes dans l'espace dépressionnaire du midi (Sibiu et Fagaras) augmente. La station Odorhei est isolée sur le graphique car il est à l'Est de la Transylvanie où la convection devient orographique.

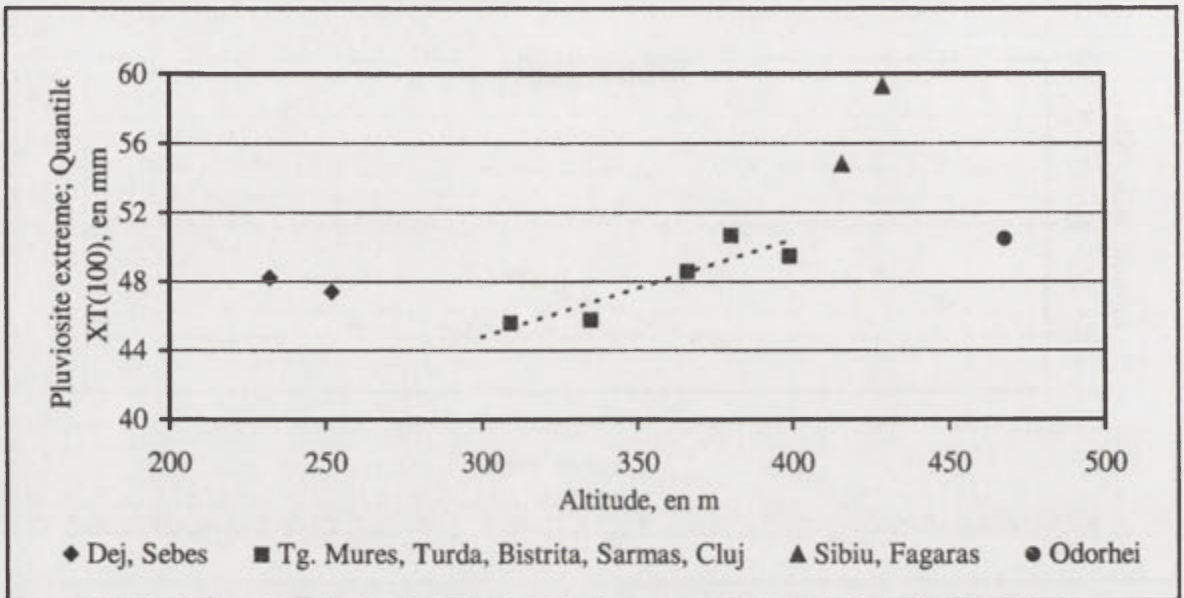


Fig. 4. La variabilité spatiale de la quantile XT (100) déterminé par l'application de la loi Log-Pearson III en fonction de l'altitude et de positions de stations dans le cadre de la Dépression de Transylvanie

Conclusions

1. Les lois de probabilités qui décrivent la pluviosité extrême à l'échelle régionale dans la Dépression de la Transylvanie sont: Log-Pearson type III, spécifique pour les précipitations maximales mensuelles durant 24 heures; Gumbel pour les pluies maximales annuelles durant 24 heures et Weibull pour les pluies d'intensité maximale annuelles.
2. Les régressions entre les paramètres de lois et l'altitude des stations climatiques suggèrent l'influence de la forme de dépression face à la circulation atmosphérique de l'Ouest, l'influence du relief de première et de deuxième ordre ainsi que l'influence de l'altitude sur le risque d'occurrence des pluies extrêmes.
3. Par rapport à l'altitude et au relief les plus grands risques des pluies extrêmes sont à Sibiu et Fagaras (dépressions périphériques en sud) à Sarmas (milieu du Champ de Transylvanie) et à Cluj (contact entre trois unités de relief).

Bibliographie

- BOBÉE, B., HACHE, M., FORTIN, V., PERREAULT, L. et PERRON, H., 1993-1999: *Logiciel HYFRAN*, Chaire en hydrologie statistique Hydro - Québec / CRSNG, INRS - Eau.
- BORDEI, E. et BORDEI, I., 1970: Bazinul Transilvaniei centru de ciclogeneză orografică, *Hidrotehnica*, XV, 8.
- Haidu, I., 2002: Analiza de frecvență și evaluarea cantitativă a risurilor. [Dans:] V. Sorocovschi (edit.), *Riscuri și catastrofe*: 180-207.
- MAC, I. et SOROCOVSCHI, V., 1981: Le rôle du relief dans la distribution de certains éléments climatiques au Nord - Ouest de la Roumanie, *Studia Univ. "Babeș-Bolyai", ser. Geol. - Geogr.*, XXXII, 3: 3 - 8.
- MEYLAN, P. et MUSY, A., 1999: *Hydrologie fréquentielle*, Editura *H*G*A*, Bucuresti.
- PERREAULT, L., BOBÉE, B., LEGENDRE, P., 1994: *Rapport général du logiciel AJUSTE-II: Théorie et application*. Hydro-Québec / CRSNG, INRS-EAU, Rapport de recherche No. R-421.
- SOROCOVSCHI, V. et MAIER, A., 1981: Unele particularități ale precipitațiilor și scurgerii medii anuale din sud - vestul Munților Apuseni, *Studia Univ. "Babeș-Bolyai", ser. Geol. - Geogr.*, XXVI, 1: 59-67.

LA MISE EN PLACE DE LA MOUSSON EN AFRIQUE DE L'OUEST

Benjamin SULTAN et Serge JANICOT.
Laboratoire de Météorologie Dynamique du CNRS
Ecole Polytechnique, 91128 Palaiseau Cedex
sultan@lmd.polytechnique.fr

Mots clés: mousson, Afrique de l'Ouest, zone de convergence intertropicale, réanalyses NCEP-NCAR, démarrage de la saison humide, dépression thermique

Abstract: The onset of the monsoon system over West Africa is linked to the northward excursion of the Intertropical Convergence Zone (ITCZ) during the northern spring and summer. By using a daily gridded rainfall dataset over the 1968-1990 period, we have investigated this northward migration to give a new definition of the onset of the summer monsoon.

Introduction

L'agriculture en Afrique de l'Ouest, vitale pour la population locale, est extrêmement dépendante de la saison des pluies estivales. Un des éléments les plus cruciaux pour satisfaire aux besoins de sécurité optimale de cette agriculture est le choix de la date de semis des cultures. Ce choix nécessite une bonne appréhension du cycle saisonnier de la pluviométrie à travers la longueur de la saison des pluies et plus particulièrement la caractérisation de la date de démarrage de la saison des pluies. Notre étude vise donc à documenter le cycle saisonnier de la mousson pour définir une approche dynamique et régionale de la mise en place de la mousson en Afrique de l'Ouest.

Méthode

En se basant sur l'analyse des observations pluviométriques de l'IRD (Institut de Recherche pour le Développement) et des réanalyses atmosphériques du NCEP-NCAR sur la période 1968-1990, la mise en place de la mousson est étudiée à partir de la dynamique du déplacement méridien saisonnier de la Zone de Convergence Intertropicale (ZCIT). Le déplacement en latitude des pluies de mousson en l'Afrique de l'Ouest peut être appréhendé par la régionalisation du signal pluviométrique. La très forte zonalité de la distribution spatiale des précipitations oriente cette régionalisation vers une transformation des données brutes initiales en indices zonaux synthétisant la variabilité saisonnière des pluies pour chaque latitude et la construction d'un diagramme latitude-temps.

Un exemple de ce type de diagramme est représenté sur la figure 1 pour l'année 1978 pour laquelle on calcule la moyenne des pluies journalières de chaque point de grille entre 10°W et 10°E. On s'attache ainsi à intégrer régionalement le signal pluviométrique en éliminant les fluctuations locales qui masquent le signal à plus grande échelle. De manière à mieux mettre en évidence cette variabilité, le bruit induit par la variabilité haute fréquence journalière est atténué par un algorithme de lissage basé sur la technique des moyennes mobiles sur une fenêtre temporelle glissante de 11 jours. Ce diagramme permet de mettre en évidence que la dynamique méridienne de la ZCIT est caractérisée par une transition rapide entre une première position d'équilibre à 5°N en mai et en juin, marquant la première saison des pluies en Afrique guinéenne, et une deuxième latitude d'équilibre à 10°N en juillet et en août au moment du cœur de la saison humide en Afrique soudano-sahélienne. Le « saut » brutal de la ZCIT entre ces deux positions d'équilibre marque l'installation du régime de mousson aux latitudes soudano-sahéliennes et peut donc être considéré comme la mise en place de la mousson. La date de ce « saut » de la ZCIT peut être repérée au moyen des séries temporelles aux deux latitudes d'équilibre (Fig. 1b) au moment où l'on observe

simultanément une forte baisse de la pluviométrie à 5°N et une augmentation rapide des indices pluviométriques à 10°N et à 15°N. Il s'agit du 17 juin pour l'année 1978.

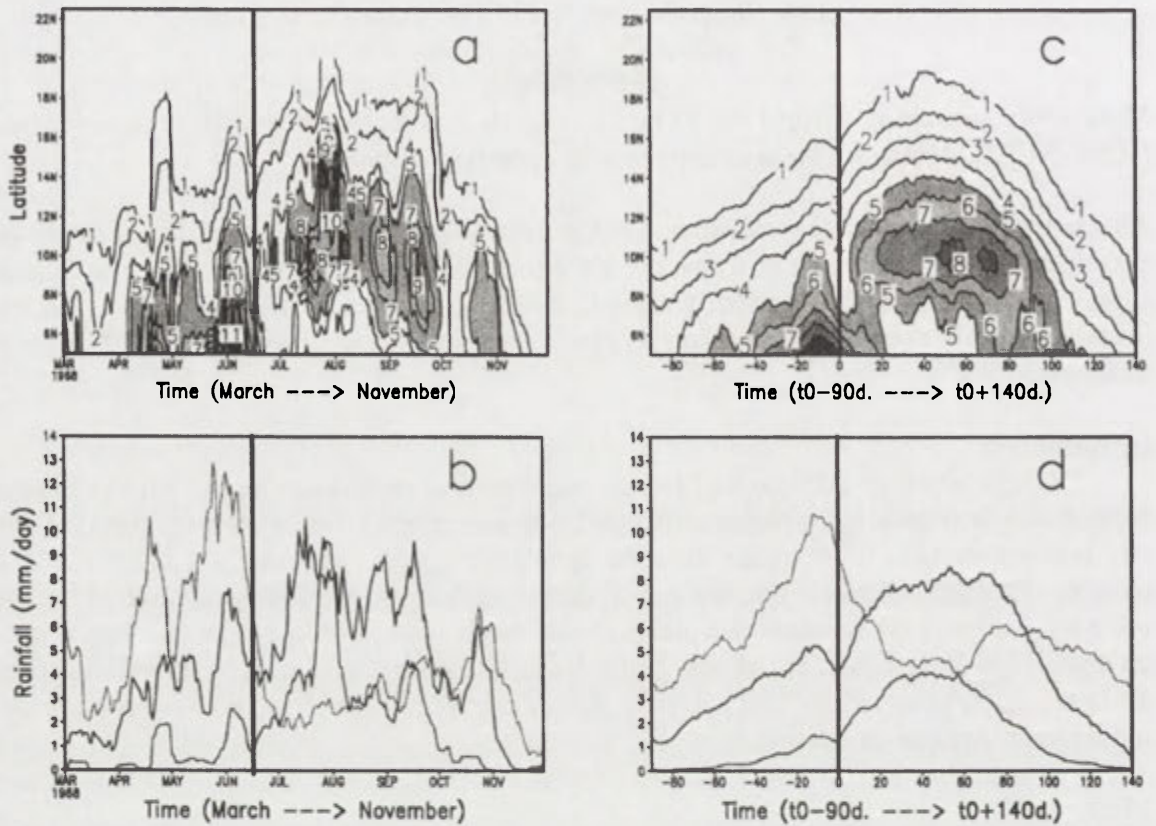


Fig. 1. Diagramme latitude-temps des précipitations moyennées entre 10W et 10E pour l'année 1978 (a) et en moyenne composite sur la période 1968-1990 (c) centrée sur la date du «saut» de la ZCIT marquée par un trait vertical. Les figures (b) et (d) représentent les séries temporelles des indices régionaux à 5N (gris clair), 10N (gris foncé) et 15N pour l'année 1978 (b) et en moyenne entre 1968 et 1990 (c). Les données pluviométriques ont été lissées par des moyennes mobiles sur 11 jours

Résultats

Cette méthode (Sultan et Janicot, 2000) a été utilisée pour déterminer les dates de «saut» de la ZCIT pour chaque année de la période 1968-1990 en se basant sur des Analyses en Composantes Principales (ACP) pour sélectionner les indices régionaux pluviométriques représentant les deux états d'équilibre du déplacement méridien saisonnier de la ZCIT. Pour plusieurs années, en particulier les années sèches comme 1983 et 1984, on a considéré la latitude 7.5°N comme position d'équilibre au lieu de 10°N du fait de la position anormalement basse de la ZCIT en été. Sur ces 23 années, la date moyenne est le 24 juin avec un écart-type de 8 jours.

La moyenne composite des précipitations entre 1968 et 1990 pour un point de grille donné peut être obtenue après un repositionnement des séries temporelles de chaque année dans un repère temporel dont l'origine, t_0 , est la date de «saut» de la ZCIT. Ainsi, le signal du «saut» dans la progression vers le Nord de la ZCIT peut apparaître plus clairement sur les champs pluviométriques moyens. La figure 1 ©représente sur un diagramme latitude-temps les variations du champ composite de précipitations, moyenné entre 10°W et 10°E pour les 90 jours qui précèdent et les 140 jours qui suivent la date moyenne de mise en place de la mousson. Elle met en évidence le déplacement brutal du noyau de forte pluviométrie de la latitude 5°N à la latitude 10°N, marquant ainsi le cœur de la saison des pluies au Sahel et

contrastant avec le retrait beaucoup plus progressif de la ZCIT qui commence environ 60 jours après la date de référence t_0 . Cette chronologie de la migration saisonnière de la ZCIT peut être observée au moyen des séries temporelles des indices de précipitations à 5°N , 10°N et 15°N (Fig. 1d) moyennées entre 10°W et 10°E . Le maximum pluviométrique à 5°N , également visible aux latitudes 10°N et 15°N , apparaît autour de 10 à 20 jours avant la date t_0 . Ce maximum est suivi d'une baisse des précipitations, faible mais généralisée sur toute l'Afrique de l'Ouest, jusqu'à un minimum relatif au moment du déplacement de la ZCIT. A cette date t_0 , le déplacement de la ZCIT est traduit par une augmentation rapide des indices pluviométriques à 10°N et à 15°N . La ZCIT atteint sa nouvelle position d'équilibre, à la latitude 10°N , environ 10 jours après la date de référence t_0 (Fig. 1c).

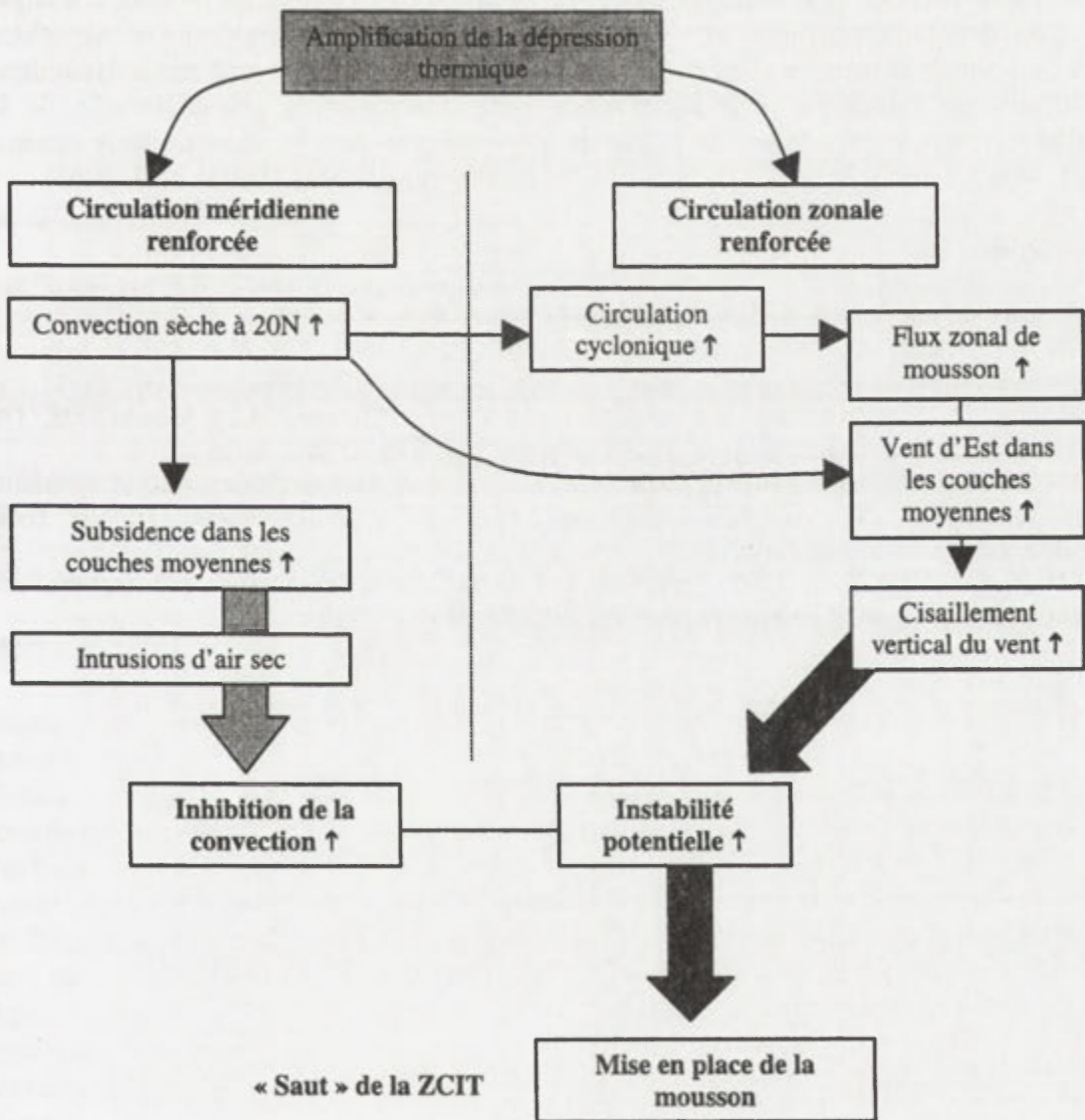


Fig. 2. Synthèse de la dynamique atmosphérique associée au « saut » de la ZCIT

L'analyse de la circulation atmosphérique au moment du « saut » de la ZCIT a montré que la baisse des précipitations à t_0 (Fig.1) coïncide avec le passage d'une large circulation cyclonique de basses couches qui se propage sur le Sahel d'Est en Ouest perpendiculairement au signal saisonnier de la remontée vers le Nord de la bande pluvieuse. L'origine de cette modulation de basses couches et son rôle sur le « saut » de la ZCIT était jusqu'à maintenant inconnue. Une hypothèse quant au rôle du relief au niveau de la chaîne de l'Atlas et de l'Hoggar en Afrique du Nord et de son influence sur la dynamique associée aux basses

pressions sahariennes a été proposée (Sultan, Janicot, 2003). En effet, il a pu être montré que le « saut » de la ZCIT coïncide avec un renforcement significatif des ascendances au niveau de la dépression thermique en bordure Sud de ces reliefs auquel on peut associer deux conséquences opposées sur la convection. La perturbation de la circulation méridienne de Hadley peut entraîner un blocage de la convection avec une subsidence dans les couches moyennes simultanément avec une instabilité accrue par des flux de mousson et un cisaillement vertical du vent plus forts. C'est la combinaison de ces deux aspects qui peut être à l'origine du caractère discontinu de la mise en place de la mousson (Fig. 2).

Conclusions

Il a été mis en évidence que la mise en place de la mousson en Afrique de l'Ouest est liée à un «saut» de la ZCIT entre la latitude 5N et la latitude 10N autour du 24 Juin. L'analyse de la circulation atmosphérique associée à ce «saut» a permis de proposer une hypothèse quant à l'origine de la mise en place de la mousson avec un rôle majeur joué par la dynamique de la dépression thermique. L'importance de cette description à grande échelle de la variabilité climatique en Afrique de l'Ouest a été soulignée dans la suite de cette étude à travers l'impact agronomique des fluctuations de la mousson au Sahel (Sultan et al, 2003).

Bibliographie

- SULTAN, B., JANICOT, S., 2003: The West African monsoon dynamics, Part II: the "pre-onset" and the "onset" of the summer monsoon, *Journal of Climate*, accepté.
- SULTAN, B., BARON, C., DINGKUHN, M., et JANICOT, S., 2003: The West African monsoon dynamics: Agricultural impacts in sahelian area, *Monsoon environments: Agricultural and Hydrological Impacts of seasonal variability and Climate Change*, 24-28 March 2003, The Abdus Salam international center of theoretical physics (ICTP), Trieste, Italie.
- SULTAN, B., 2002: *Etude de la mise en place de la mousson en Afrique de l'Ouest et de la variabilité intra-saisonnière de la convection. Applications à la sensibilité des rendements agricoles*, Thèse de doctorat, Université de Paris VII.
- SULTAN, B. et JANICOT, S., 2000: Abrupt Shift of the ITCZ over West Africa and intra-seasonal variability, *Geophysical Research Letter*, 27, 20: 3353-3356.

APPLICATIONS AGRONOMIQUES DE L'ETUDE DE LA DYNAMIQUE REGIONALE DE LA MOUSSON EN AFRIQUE DE L'OUEST

Benjamin SULTAN, Christian BARON**, Michael DINGKUHN**, Serge JANICOT**

** Laboratoire de Météorologie Dynamique du CNRS (Ecole Polytechnique)*

*** CIRAD-amis, Montpellier*

sultan@lmd.polytechnique.fr

Mots clés: mousson, Afrique de l'Ouest, modèle agronomique, applications agronomiques, démarrage de la saison humide, rendement agricole, mil, variabilité intra-saisonnière

Abstract: West African Sahel depends mainly on rain fed agriculture. Rainfall available for this agriculture is concentrated in a very short-time range leading to an extreme sensitivity of yield to monsoon fluctuations at different time-scales. The aim of this study is to document the impact of these fluctuations on the yield of mil crop through sensitivity experiments of a crop model.

Introduction

L'agriculture au Sahel, dans la seule région du monde où la production vivrière par habitant diminue, occupe une place très importante dans tous les projets gouvernementaux, et assurer un certain degré de stabilité des rendements des récoltes aux agriculteurs est devenu une priorité nationale pour les institutions de recherche de l'Afrique de l'Ouest. Cette agriculture se situe dans un contexte climatique à forte contrainte hydrique à la fois aux échelles interannuelles et décennales marquées par la sécheresse des 40 dernières années, mais aussi aux échelles saisonnière et intra-saisonnière avec des pluies utiles concentrées dans un intervalle de temps très court entre juin et septembre. Pour une gestion optimale des ressources en eau, il est donc apparu nécessaire de décrire et de comprendre le cycle saisonnier de la mousson au Sahel.

Méthode

A partir d'une étude régionale de la dynamique de la mousson, des événements majeurs ont pu être identifiés comme marquant la mise en place de la mousson (Sultan, Janicot, 2000) d'une part et l'occurrence de séquences sèches au cœur de la saison humide (Janicot, Sultan, 2001). Le but de ce travail est de mesurer l'impact ces événements qui structurent et modulent le cycle saisonnier des pluies à grande échelle sur le rendement à l'échelle locale. Cette première approche pour relier l'échelle climatique régionale et la parcelle a été menée en collaboration avec le CIRAD (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement) au moyen d'expériences de sensibilité sur un modèle agronomique SARRA-H (Système d'Analyse Régionale de Risques Agroclimatiques; Samba et al, 2000) qui simule la réponse du rendement à la contrainte hydrique. Ces expériences ont été menées pour 19 années de la période 1968-1990 pour mesurer la sensibilité du rendement agricole à la date de semis pour la culture du mil à Niamey. La variabilité du rendement potentiel au sein des différentes simulations sera discutée pour tenter d'extraire les différentes causes de cette variabilité: la validité du critère de décision pour le choix de la date de semis, le rôle de la variabilité interannuelle et l'impact des épisodes secs au cœur de la saison humide. On montrera alors l'apport de l'étude régionale de la mousson pour améliorer le rendement agricole à l'échelle de la parcelle (Sultan, 2002).

Résultats

Les simulations du modèle sur une parcelle de Niamey au cœur du Sahel ont montré qu'il est possible de relier la date de mise en place de la mousson définie à l'échelle régionale

et la date de semis à l'échelle fine de la parcelle. Par rapport à des méthodes classiques de type seuil, traditionnellement utilisée pour déterminer la date de semis, la prise en compte de l'installation de la mousson pour le choix de la date de semis montre une amélioration significative des rendements agricoles et une réduction de leur variabilité liée à l'occurrence de faux départs de la saison humide (Fig. 1).

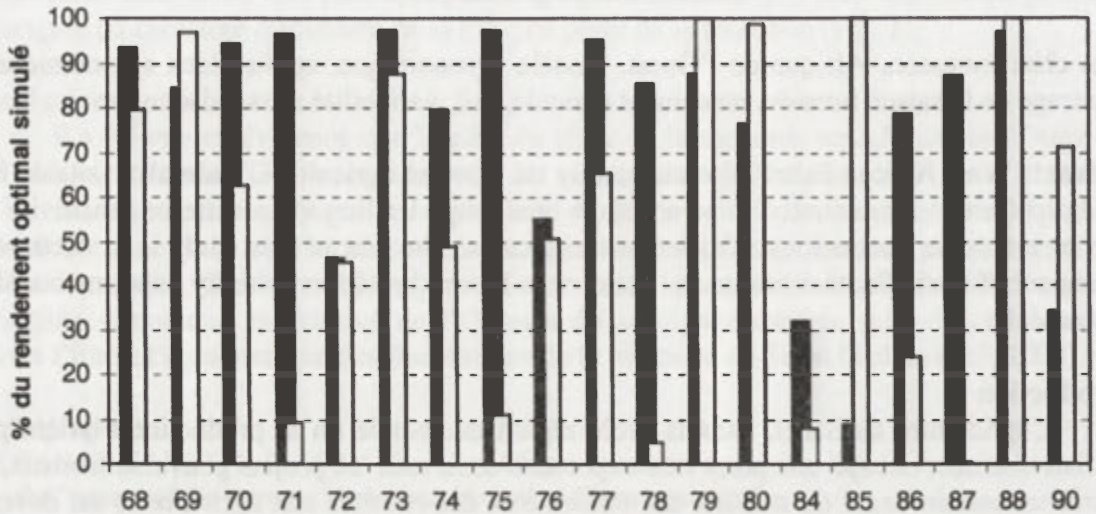


Fig. 1. Les rendements simulés avec la méthode des seuils (en blanc) et en prenant en compte la mise en place de la mousson comme date de semis (en noir). Le rendement est exprimé en pourcentage par rapport au rendement maximum de l'année obtenue avec la date de semis idéale

En semant au moment de la mise en place de la mousson, on obtient en moyenne sur près de 20 ans de simulations 75% du rendement maximum de l'année contre seulement 56% avec la méthode classique (Fig. 2). Le calcul de la date de semis idéale du modèle sur la période 1968-1990 pour une variété de mil à cycle constant adaptée à la région de Niamey a montré une date moyenne au 22 juin très similaire à la date de mise en place de la mousson au 24 juin.

	Mise en place de la mousson	Méthode des seuils
moyenne	75%	56%
écart-type	26%	36%
Coefficient de variation	34%	64%

Fig. 2. Paramètres caractéristiques pour 19 années de la période 1968-1990 du rendement simulé en semant au moment de la mise en place de la mousson et en utilisant la méthode des seuils pour le choix de la date de semis. Le rendement est exprimé en pourcentage par rapport au rendement maximum de l'année obtenue avec la date de semis idéale

Les phases sèches appartenant à la modulation à 40 jours de la mousson détectées à l'échelle régionale sur la zone sahélienne montrent une cohérence forte avec la pluviométrie à l'échelle locale. Les simulations du modèle mettent en évidence un impact fort de ces séquences sèches sur le rendement selon le degré de développement de la culture. Le rendement est très affecté si la séquence sèche survient au moment des phases de floraison et de remplissage des grains pendant lesquelles la plante est très sensible au stress hydrique. En revanche, il n'a pas pu être montré de relations entre les modulations de la mousson à 15 jours et le rendement agricole.

Conclusions

Cette étude a proposé une approche préliminaire transversale entre l'étude de la dynamique régionale de la mousson et ses impacts agronomiques à travers la réponse du rendement aux fluctuations pluviométriques. Les simulations du modèle sur une parcelle de Niamey au cœur du Sahel ont montré qu'il est possible de relier la date de mise en place de la mousson définie à l'échelle régionale et la date de semis à l'échelle fine de la parcelle. Par rapport à des méthodes classiques de type seuil, traditionnellement utilisée pour déterminer la date de semis, la prise en compte de l'installation de la mousson pour le choix de la date de semis montre une amélioration significative des rendements agricoles et une réduction de leur variabilité liée à l'occurrence de faux départs de la saison humide. D'autre part, les phases sèches appartenant à la modulation à 40 jours de la mousson détectées à l'échelle régionale sur la zone sahélienne montrent une cohérence forte avec la pluviométrie à l'échelle locale avec un impact fort de ces séquences sèches sur le rendement selon le degré de développement de la culture.

Les applications agronomiques abordées dans cette étude se sont appuyées sur les simulations d'un modèle agronomique intégrant la seule contrainte hydrique. Ces résultats devront être validées par des observations de dates de semis et rendements réels pour déterminer l'importance de cette contrainte hydrique par rapport aux autres contraintes non simulées (compétitions avec les plantes adventices, qualité du sol, apport minéral des premières pluies...) dans la stratégie de l'agriculteur pour le choix de la date de semis et la sélection variétale.

L'ensemble de ces travaux a été réalisé dans le cadre des projets européens WAMP (West African Monsoon Project ; 1997-2000) et PROMISE (PRedictability and variability Of Monsoons and the agricultural and hydrological ImpactS of climatE change ; 1999-2002) et leur continuité pourra s'inscrire dans les objectifs scientifiques du projet international et de l'expérience de terrain AMMA (Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine).

Bibliographie

- SULTAN, B., 2002: *Etude de la mise en place de la mousson en Afrique de l'Ouest et de la variabilité intra-saisonnière de la convection. Applications à la sensibilité des rendements agricoles*, Thèse de doctorat, Université de Paris VII.
- JANICOT, S., SULTAN, B., 2001: Intra-seasonal modulation of convection in the West African monsoon, *Geophysical Research Letter*, 28, 3: 523-526.
- SULTAN, B., JANICOT, S., 2000: Abrupt Shift of the ITCZ over West Africa and intra-seasonal variability, *Geophysical Research Letter*, 27, 20: 3353-3356.
- SAMBA, A., SARR, B., BARON, C., GOZE, E., MARAUX, F., CLERGET, B. et DINGKUHN, M., 2000: *La prévision agricole à l'échelle du Sael, Modélisation des agroécosystèmes et aide à la décision*, ISSN 1251-7224: 243-262.

The first part of the report is devoted to a general survey of the situation in the country. It is followed by a detailed account of the work done during the year. The report concludes with a summary of the results and a list of the names of the members of the committee.

The second part of the report is devoted to a detailed account of the work done during the year. It is followed by a summary of the results and a list of the names of the members of the committee.

The third part of the report is devoted to a detailed account of the work done during the year. It is followed by a summary of the results and a list of the names of the members of the committee.

The fourth part of the report is devoted to a detailed account of the work done during the year. It is followed by a summary of the results and a list of the names of the members of the committee.

The fifth part of the report is devoted to a detailed account of the work done during the year. It is followed by a summary of the results and a list of the names of the members of the committee.

The sixth part of the report is devoted to a detailed account of the work done during the year. It is followed by a summary of the results and a list of the names of the members of the committee.

The seventh part of the report is devoted to a detailed account of the work done during the year. It is followed by a summary of the results and a list of the names of the members of the committee.

VERIFICATION DE LA RELATION ENTRE CONDITION METEOROLOGIQUE ET LES CHARACTERISTIQUE DE POLLUTION DE L'AIR A CRACOVIE (1997-2002)

I. ŚLIWKA¹, D. LIMANOWKA³, M. JACKOWICZ-KORCZYNSKI¹, J. LASA^{1,2}

¹*Instytut Fizyki Jądrowej, Radzikowskiego 152, Kraków, Pologne*

²*Wydział Fizyki i Techniki Jądrowej, AGH, al. Mickiewicza 30, Kraków, Pologne*

³*Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, P. Borowego 14, Kraków, Pologne*
Danuta.Limanowka@imgw.pl

Mots clés: chlorofluorocarbones, fréons F-11, F-12, F-113, chloroforme (CHCl₃), trichloroéthane (CH₃CCl₃), tétrachlorure de carbone (CCl₄), suivi continu, conditions météorologiques, types de circulation

Abstract: The aim of work is comparison of long term measurements of the concentration of six halogenated compounds: freons, chloroform, trichloroethane, carbon tetrachloride performed in the densely populated urban area of Krakow in years 1997-2002 with chosen meteorological characteristics. The comparison suggests strong correlation between seasonal (wintertime) increase of measured compounds concentrations and the West direction of air mass movement.

Introduction

Les chlorofluorocarbones (CFCs) présents en faibles quantités dans l'atmosphère sont d'origine anthropogénique et provoquent l'appauvrissement de l'ozone stratosphérique et exercent une influence sur l'intensification de l'effet de serre. Jusqu'à l'an 2000, les dispositions de la Convention de Vienne (1985) et celles du Protocole de Montréal (1987) ont permis de limiter de 50% la production mondiale de CFCs du niveau enregistré en 1986. L'étude des tendances globales relatives à l'augmentation en teneur de CFCs dans l'atmosphère effectuée dans le cadre du programme *Advanced Global Atmospheric Gas Experiment* (AGAGE) indiquent que la limitation de la production mondiale de CFCs entraîne une tendance à la baisse en ce qui concerne la teneur dans l'atmosphère des composés étudiés (Prinn et al., 2000). Les prises de mesures des composés des chlorofluorocarbones sont réalisées, dans le cadre de ce programme, dans de nombreux endroits du globe terrestre. Le volume des émissions européennes du CFCs est déterminé sur la base des mesures effectuées à la station Mace Head (Irlande) qui fait partie du réseau de suivi du programme AGAGE depuis 1987 (Simmonds et al., 1996). Pour ce qui concerne l'Europe Centrale, ce type de mesure est effectué à Cracovie à partir de l'année 1997 (Lasa, Śliwka, 2003).

L'objectif de notre étude consiste à déterminer l'influence du milieu urbain, comme cela est le cas de Cracovie, sur le teneur en chlorofluorocarbones et l'évaluation de cette émission à échelle locale ou régionale ainsi que l'étude de l'émission de ces composés provenant des centres industriels éloignés de Cracovie, ceci en corrélation avec les conditions météorologiques et avec la circulation atmosphérique (Rivett et al., 2003).

1. Méthode

Lieux de prises de mesures et collecte de données

Les mesures de la teneur en chlorofluorocarbones ont été effectuées à l'aide d'un chromatographe de phase gazeuses élaboré par la société Fisons, type GC 8000 avec détecteur de capture d'électrons (ECD) au laboratoire de l'Institut de Physique Nucléaire, Cracovie, rue Kawiora (φ 50° 22'N, λ 19° 52'E) situé dans la partie ouest de la ville de Cracovie. Les données météorologiques proviennent de la station Kraków-Balice située à une distance de 5 km du lieu de prise de mesures, également dans la partie occidentale de la ville (φ 50° 22'N, λ 19° 52'E, Hs = 237m n.p.m.). Dans le présent article, on a utilisé les données de mesures suivantes recensées pendant la période entre 1997-2002:

- les valeurs moyennes en teneur de composés de chlorofluorocarbones: CCl_3F (F-11), CCl_2F_2 (F12), $\text{CCl}_2\text{FCClF}_2$ (F113), CHCl_3 , CH_3CCl_3 i CCl_4 exprimés en ppt (ppt = $1/10^{12}$),
- les valeurs mensuelles moyennes de la température de l'air, du volume des précipitations et de la vitesse du vent,
- les types de situations barométriques d'après la classification adoptée par T. Niedźwiedź (Niedźwiedź, 2002).

La variabilité en teneur des composés de chlorofluorocarbones pendant la période étudiée est présentée en tenant compte de la circulation atmosphérique à la même époque.

2. Résultats

Etat de l'air à Cracovie

Les résultats des mesures de la teneur moyenne mensuelle des composés étudiés à Cracovie dans les années 1997-2002 sont présentés sur la figure 1.

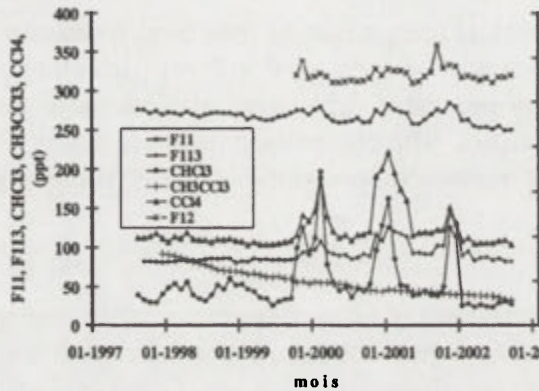


Fig 1. La teneur moyenne mensuelle des composés mesurée à Cracovie dans les années 1997-2002

Comme cela est indiqué sur la figure 1, les teneurs mesurées des composés faisant l'objet de l'étude se caractérisent par une variabilité saisonnière. En tenant compte de ces variations, quatre d'entre eux (F-11, CHCl_3 , CH_3CCl_3 , CCl_4), du point de vue de la teneur, indiquent une tendance à la baisse et pour deux d'entre eux (F113, F12), la teneur augmente (Tabl. 1). Les composés F-113, CHCl_3 i CCl_4 se caractérisent par une amplitude saisonnière des changements en teneur beaucoup plus importante que dans le cas de la modification en teneur des autres composés F-12, F-11, CH_3CCl_3 . De tels changements sont très perceptibles entre la saison d'hiver et d'été et une forte augmentation en teneur a été constatée pendant les mois d'automne et d'hiver. Par exemple, dans le cas de CHCl_3 , on le voit le plus nettement en particulier en octobre 1999 et en février 2000, et ensuite à partir du mois de novembre 2000 jusqu'en février 2001 ainsi qu'à partir du mois d'octobre jusqu'en novembre 2001.

Le tableau 1 présente les valeurs extrêmes en teneur moyenne des composés faisant l'objet de l'étude ainsi que les tendances à long terme des modifications de ces teneurs dans le temps.

Tableau 1. Valeurs mensuelles moyennes et extrêmes de la teneur des chlorofluorocarbones ainsi que les tendances des modifications en teneur dans les années 1997-2002

	F11	F113	CHCl_3	CH_3CCl_3	CCl_4	F12
Maximum, ppt	284,6	125,6	196,3	91,5	220,9	626,7
Minimum, ppt	248,9	80,6	24,8	32,7	102,9	544,6
Moyenne, ppt	267,3	92,1	53,6	55,8	122,8	561,0
Tendance, ppt/année	-2,5	1,8	-2,3	-11,3	-0,4	0,8

Les conditions météorologiques à Cracovie, entre 1997 et 2002 se présentaient comme suit: la température annuelle moyenne de l'air était de 9,0 C. La température maximale absolue de 37,0 C a été enregistrée au mois de juillet 1998, et la température minimale absolue de -21,7 C, en janvier 2002. La vitesse moyenne mensuelle du vent à Cracovie était, pendant cette période, de 2,6 m/s. Le volume total des précipitations s'élevait à 720 mm, et la valeur mensuelle la plus élevée (197 mm) a été enregistrée en juin 1999 r.

Caractéristique de la circulation atmosphérique

Dans les années 1997 – 2002, dans la Pologne du Sud (y compris à Cracovie), on a constaté 4,4% de systèmes anticyclonaux de plus que d'habitude. Par rapport à la norme (1960-1990), il y a eu une augmentation de 1,5% de la fréquence d'apparition de situations avec un coin anticyclonal (Ka). Le plus fréquemment apparaissaient les types de situation suivants : coin anticyclonal (Ka 12,7 %), zone (sillon) cyclonale – Bc (11,3%), et la situation anticyclonale occidentale (Wa 10,4%). Les systèmes de dépression apparaissaient 4,4% plus rarement que d'habitude. De 2,7 % a diminué la fréquence de la situation cyclonale occidentale. Dans les années 1997 – 2002, a augmenté le plus la fréquence de l'arrivée de l'air provenant du sud-ouest (SW). A diminué l'arrivée de l'air de l'est (E) et du sud (S) (Fig. 2).

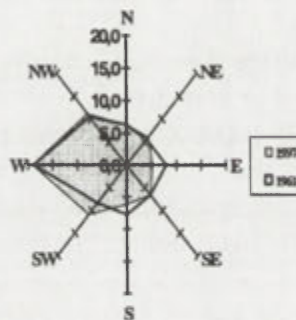


Fig. 2. La rose des axes d'arrivée des masses d'air à Cracovie

Le déroulement de la moyenne mensuelle de la teneur en chloroforme (CHCl_3) dans l'air à Cracovie, en relation avec l'arrivée des masses d'air dans les années 1997-2002, est présenté sur les figures 3a et 3b.

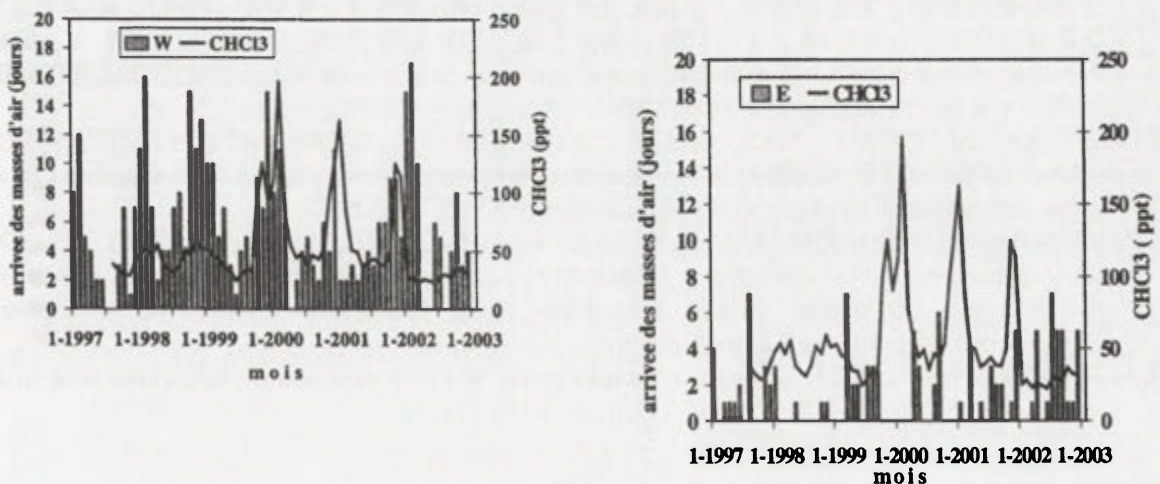


Fig. 3. Teneur en chloroforme dans l'air à Cracovie avec l'arrivée des masses d'air : a) de l'ouest, b) de l'est

Comme cela découle du figure 3a, l'augmentation de la concentration dans l'atmosphère des teneurs des composés faisant l'objet de l'étude est liée aux axes prédominants des vents sur le territoire de la Pologne, c'est-à-dire à l'arrivée à Cracovie de l'air provenant du secteur ouest. L'augmentation significative en teneur observée à Cracovie pendant l'hiver est probablement due à l'arrivée de ces composés d'en dehors de la région de Cracovie. Les plus grandes quantités de ces composés peuvent arriver jusqu'à Cracovie de la région de l'agglomération de Silésie et même d'en dehors de la Pologne, à savoir de l'Allemagne, de la Tchéquie et aussi de la Grande-Bretagne. Ceci est bien évidemment la conséquence de la prédominance dans cette région de l'Europe des masses d'air arrivant en cette période de la direction de l'ouest. La pollution de l'air causée par de tels composés transportés jusqu'à Cracovie de la région d'Ukraine, de Biélorussie ou de Russie semble insignifiante car l'arrivée des masses d'air provenant de l'est est la plus faible (Fig. 3b).

Conclusion

Cet article présente une approche générale du problème de la pollution provoquée par les chlorofluorocarbones à Cracovie. Malgré une amélioration systématique, l'état de l'atmosphère à Cracovie nécessite la poursuite d'actions déterminées afin de réduire l'émission des substances polluantes.

Une attention toute particulière doit être accordée à l'étude de l'arrivée des polluants provenant du secteur ouest car l'augmentation de la teneur en chlorofluorocarbones pendant les mois de l'hiver reste en corrélation avec l'arrivée des masses d'air provenant de ce secteur.

A l'échelle du continent, le transport transfrontalier s'effectue grâce aux axes prédominants du vent et la concentration des teneurs dans l'atmosphère peut être indépendante de l'émission d'un polluant concret provenant du territoire d'un pays ou d'une région donnés.

Les résultats de ces études sont en partie financés dans le cadre du projet de recherche réalisé par le KBN: 7 T09D 042 21 i 3 PO4D 060 24.

Bibliographie

- NIEDŹWIEDŹ, T., 2002: Catalogue of synoptic situations in the upper Vistula River Basin (1997-2002) Ficher.
- PRINN, R. G., WEISS, R.F., FRASER, P.J., SIMMONDS, P.G., CUNNOLD, D.M., ALYEA, F.N., O'DOHERTY, S., SALAMEH, P., MILLER, B.R., HUANG, J., WANG, R.H.J., HARTLEY, D.E., HARTH, C., STEELE, L.P., STURROC, G., MIDGLEY, P.M., McCULLOCH, A., 2000: A history of chemically and radiatively important gases in air deduced from ALE/GAGE/GAGE. *J. Geophys. Res.*, 105 (D14): 17751-17792.
- RIVETT, A.C., MARTIN, D., NICKLESS, G., SIMMONDS, P.G., O'DOHERTY, S.J., GRAY, D.J., SHALLCROSS, D.E. et 2003: In situ gas chromatographic measurements of holocarbons in an urban environment. *Atmospheric Environment*, No. 37: 2221-2235.
- SIMMONDS, P.G., DERWENT, R.G., McCULLOCH, A., O'DOHERTY, S. et GAUDRY, A., 1996: Long-term trends in concentrations of holocarbons and radiotively active trace gases in Atlantic and European air masses monitored at Mace Head, Irland from 1987-1994. *Atmospheric Environment*, Vol. 30, No. 23: 4041-4063.
- LASA, J., ŚLIWKA I., 2003: Long term measurements of the concentrations of holocarbons in an urban area of Kraków, Poland. *Applied Energy*, (sous presse).

LE POTENTIEL THERAPEUTHIQUE DES FACTEURS NATURELS DE LA MER NOIRE

Elena TEODOREANU

Institut National de Recupération, Médecine Physique et Balnéoclimatologie, București
Bd. Lascăr Catargiu, nr. 24-26, sc. 'A, et. IV, ap. 16, București, 71114, sector 1 Roumanie
gili@pcnet.ro

Mots clés: bioclimat, facteurs thérapeutiques, littoral roumain

Abstract: The present article is meant to inform on the possibilities to take cure in the health resorts of the romanian marine littoral with natural cure factors: marine bioclimat, sea water, concentrated salt water of lakes, sapropelic mud and peat and mineral waters. It is presented the therapeutic indications for the different affections.

Introduction

Le littoral roumain de la Mer Noire bénéficie de quelques facteurs importants dans la thérapie de certaines affections, notamment:

- un bioclimat agréable, quelques mois par an
- l'eau de mer, d'une salinité moyenne
- les plages côtières larges, ouvertes, aérées, ou avec falaise, à l'abri du vent
- les lacs côtiers, avec eau douce ou salée et le complexe lagunaire Razim-Sinoe
- la boue sapropelique de certains lacs (Agigea, Techirghiol, Murighiol)
- la boue de tourbe de Mangalia
- les eaux minérales, surtout de la partie sud du littoral.

Dans ces conditions, le traitement peut-être fait, pour nombreuses raisons, par cure naturaliste en association ou non avec thérapie médicale: prophylaxie, traitement proprement dit et récupération médicale.

Méthode

On utilise, pour établir les caractéristiques de bioclimat les méthodes des indices de stress de Becancenot, pour confort thermique les indices de Iakovenko, Missenard, Selehovski, Mihailov, et les classes de temps (. Baibakova et al 1964.). Pour les autres facteurs: aéroionisation, les propriétés de l'eau marine et du lac, de l'eau minérale et de la boue, et pour les informations sur les indications médicales on a interprété les résultats des analyses et des études effectuées dans l'Institut de Balnéologie de Bucarest.

Résultats

Le bioclimat est une résultante des particularités climatiques du littoral (radiation solaire et grande durée d'ensoleillement, températures hivernales et estivales modérées par le bassin marin, humidité élevée toute l'année, mais précipitations en quantité limitée, dynamique de l'air active).

Dans telles conditions, *les classes de temps* prédominantes pendant l'été, sont les classes chaudes II (ensoleillée, chaude et sec), III (modérément humide et sec), V (nuageuse la nuit) et dans une moindre mesure, XII (très chaude et humide), et l'hiver des classes VIII et IX (avec le passage de la température par 0°C, la première, nuageuse, la seconde, ensoleillée). Le stress cutané, présente des valeurs relativement modérées, grace surtout au vent; 2-4 mois par an sont relaxantes, notamment les saisons transitoires; 4-6 mois sont hypertoniques, l'hiver, et 2-5 mois hypotoniques, l'été.

Le stress pulmonaire est grand, à cause de la grande quantité de vapeur d'eau dans l'atmosphère, avec 2 mois équilibrés dans les saisons transitoires et 4 mois deshydratants, l'hiver et 6 mois hydratants, l'été.

Le stress bioclimatique total, comme la somme des deux premiers est élevé, 55-75 unités conventionnelles, valeurs qui mettent en évidence une sollicitation importante de l'organisme aux conditions ambiantes, un bioclimat excitant sollicitant, caractéristique des régions de plaine continentale de la latitude de 45° N, avec des éléments supplémentaires liés à l'ensoleillement, à l'humidité élevée et à la dynamique active.

Le confort thermique a des valeurs relativement réduites pendant la période chaude de l'année, grâce aux températures pas trop élevées, au vent permanent et à la grande humidité de l'air. Les journées de confort thermique apparaissent courant le mois de mai et durent jusqu'en octobre. La valeur maximale est enregistrée en juillet, vers 13 heures, 7 à 10 jours par mois. L'inconfort le plus fréquent est produit par le vent, 12-16 jours en moyenne mensuelle. A l'abri du vent on atteint 15-18 jours de confort thermique en juillet, mais l'inconfort par échauffement augmente à 12-20 jours. En présence de l'ensoleillement le confort thermique augmente pendant les mois de printemps et automne, ainsi que l'inconfort par échauffement pendant les mois d'été. Dans ces conditions, l'indice appelé „bain d'air” met en évidence l'intervalle le plus favorable pour la cure naturiste dans les mois de juin-septembre, avec les valeurs les plus élevées de TEE, relevées à midi et vers le soir. En général les bains d'air sur les plages ouvertes sont rafraichissants, indifféremment en juillet et août, modérément humide et humide, toute la journée.

L'ionisation de l'atmosphère, contrairement aux idées répandues, n'est pas très élevée (750-1000 petits ions), avec prédominance des ions positifs (400-600). La variabilité des quantités d'ions et leurs caractéristiques dépendent de la direction de la brise, qui est alternante: de la mer, la journée et de la terre, la nuit. Des valeurs plus importantes sont obtenues dans les conditions de la brise de terre. Il est mentionné que l'alternance des brises se produit par la rotation du vent dans la journée, suivant aproximativement la direction du soleil.

De l'analyse du bioclimat marin et des valeurs des éléments climatiques, il ressort des conditions plus sollicitantes pour l'organisme dans la moitié nord du littoral, comparativement avec la partie sud.

L'eau de la mer est une solution chlorurée, sulfatée, sodique, magnésienne, hypertone, avec des éléments de brome et de calcium, avec une minéralisation totale de 13-18 g/l plus basse aux bouches du Danube où l'apport d'eau douce est plus important et plus élevée au sud du littoral. La température moyenne annuelle de l'eau de la mer est de 12-14°C; l'été étant en général de 21-24°C. Des fois la température de l'eau est plus basse à cause des courants d'eau froids du nord; des fois, plus élevée aux courants du sud.

La caractéristique *du sable des plages* varie en fonction de localité du littoral avec plus de silicium et plus fin, à Mamaia, Constanța et sur les plages de Sulina et de Sf. Gheorghe mais calcaire et d'une granulométrie plus élevée à Eforie-Nord. L'albedo varie en fonction des caractéristiques du sable, ainsi la température varie: à la surface, atteint 30-35°C, à l'ombre, et plus de 55-58°C au soleil, les journées d'été très chaudes.

Les lacs littoraux sont soit douces (Siutghiol, Tăbăcăriei, etc.), soit salés (Techirghiol). Il y a aussi les lacs d'eau douce du Delta du Danube, ainsi que le complexe lagunaire de Razim-Sinoe.

Le lac Techirghiol, connu pour ses qualités thérapeutiques, avec une surface de 1200 ha. et une profondeur de 5-10 m, a sur sa rive trois stations: Techirghiol, Eforie Nord et Eforie Sud. *L'eau du lac* a une minéralisation totale de 68-88 g‰ (en 1967-1974) en fonction de la position, avec prépondérance de chlor, sodium, brome et sulfates, mais elle a baissé ces dernières années.

La boue sapropelique se trouve surtout au fond du lac Techirghiol, mais aussi dans les lacs Nuntași et Murighiol.

Pour la thérapie on utilise surtout la boue de Techirghiol. Généralement, ces boues sont riches en hydrosulfure de fer colloïdale, contenant entre 50 et 70 g % d'eau, entre 2 et 43 g % de substances minérales.

La boue de tourbe se trouve dans la tourbière située au Nord de la ville de Mangalia; elle est la résultante de la décomposition des restes végétales accumulés au fond d'un marecage, sous l'action des micro-organismes riches en substances organiques: des acides humiques, bitumes, graisses, pectines, cellulose, substances protéiques.

L'eau minérale se trouve à Mangalia, sulfureuse, chlorurée, bicarbonatée, sodique, calcique, mésothermale (21-28 °C), de forages et sondes, avec une minéralisation totale de 1,2 – 1,9 g ‰. Elle est utilisée en cure interne, mais surtout en cure externe.

Conclusions

La thérapie sur le littoral

En ce qui concerne la thérapie en air libre, on fait des aéro-helio-hydro (thalasso)-psamo (thérapie avec sable)-fango (avec boue)-thérapie sur plage ouverte ou avec falaise, à Eforie Nord et Sud, Mamaia, Mangalia, ou sur la plage du lac Techirghiol, et sur les plages de Sulina et Sf. Gheorghe, dans la période chaude de l'année et partielement dans les saisons intermédiaires, ou même dans les belles journées d'hiver pour l'aéro- et héliothérapie. A ceux la, on peut rajouter la crénothérapie avec les eaux minérales, à Mangalia.

En plus de la thérapie en air libre avec les facteurs naturels, il y a aussi la thérapie dans les bases de traitement des stations, par des installations pour bains chauds, vannes, bassins d'eau salée, installations pour des bains de boue chaude, aérosols, kinesithérapie, électro-hydrothérapie, sauna, etc.

Toutes les traitements se effectuent conformément aux indications en ce qui concerne la durée du bain d'eau ou de boue, l'exposition à l'air et au soleil, la période de la journée et de l'année et selon l'âge, l'état de santé ou maladie, adaptation au bioclimat du littoral.

Indications thérapeutiques

Les stations du littoral roumain de la Mer Noire sont conseillées pour:

- affections rhumatismales dégénératives (spondiloses, périarthrites) abarticulaires (tendinoses, périarthrites), post-traumatiques (fractures, entorses).
- Rachitisme et troubles de croissance chez les enfants
- Affections neurologiques périphériques et du système nerveux central (paralysies, des séquelles de la poliomyélite)
- Maladies gynécologiques
- Tuberculoses extrapulmonaires
- Maladies dermatologiques et professionnelles
- Maladies associées (cardiovasculaires, respiratoires, oto-rhino-laryngologiques, endocrines, métaboliques, de nutrition) etc.

Contraindication: pour des foyers d'infection évolutives, tuberculose, ulcère aigu, hyperthyroïdie, décompensation cardiaque, néoplasmes etc.

La thérapie sur le littoral peut être cumulée avec *différentes autres activités*, afin de passer des vacances agréables et efficaces pour entraînement, fortification et divertissement:

- tourisme avec visite des vestiges historiques et archéologiques (à Constanța, Histria, Adamclissi), religieux (les tombes paléochrétiennes des martyres du Niculițel, et les monastères, sur toute la surface de la côte et de Dobrogea: Cocoș, Celic Dere, Saon, dans le nord et Dervent, au sud).
- Pêche et chasse dans la Delta du Danube:
- Natation et sports nautiques sur la mer, les lacs du littoral et de la Delta du Danube.

Bibliographie

- BAIBAKOVA, E.M., ILICEVA, E.M., NEVRAEV, B.A., et ŞVAREVA, IU. N. , 1964: Metodika izucenia i shema opisania klimata kurortov, *Ţentr.naucino-issledov. Inst. Kurort. I Fiziot. Moskva*.
- BECANCENOT, J. P. ,1974: Premières données sur les stress bioclimatiques moyens en France, *Annales de géogr.*, BLAZEJCZYK, K., 1984: Bioklimatyczne klasyfikacja klimatow lokalnych z zastosowaniem do badan uzdrowisk, *Czasopismo Geogr. LV, 4*.
- BLAŻEJCZYK, K., 1987: Heat balance and physiological reactions of the body in selected weather types, *XII-th Internat. Conference on Carpathian meteorology*, Buşteni.
- KOZLOWSKA-SZCZESNA, T.,1984: Bioklimat polskich uzdrowisk jako podstawown cecha ich warunkow srodowiskowych, *Dokum. Geogr.*, 1-2.
- KRAWCZYK, B., 1975: Bioklimat uzdrowiska Iwonicz, *Probl. Bioklimat Uzdrowisk. Praca Zbiorowa*, fasc. 3-4.
- LICHT, S., 1964: *Medical Climatology*, Elis. Licht Publ., New Haven.
- MUNTEANU, L., STOICESCU, C.G., 1978: Ghidul staţiunilor balneoclimatice din România, *Edit. Sport-Turism, Bucureşti*
- SEIFERT, G., 1958: Das Klima der DDR-dargestellt durch Effectiv- Temperaturen, *Zeitschrift für Meteorologie*, 12 H. 11/12.
- SMITH, K., 1975: *Principle of applied climatology*, Mc. Graw-Hill Book Company, London.
- TELEKI, N., MUNTEANU, L., STOICESCU, C., TEODOREANU, E.,et GRIGORE, L., 1985: *Spa Treatment in Romania*, Sport-Turism Publ. House , Bucharest.
- TEODOREANU, E., 1989: The importance of air dynamics for health and spa cure in coastal resorts. *RRGGG – Géogr.*, t. 33.
- TEODOREANU, E., 1999: Radiation – related thermal comfort in Romania, *Yamanashi Inst. of environ. Sci. , Japan*.
- TEODOREANU E., 2002: *Bioclimatologie umană*, Edit. Academiei Române, Bucureşti.
- TEODOREANU E., DACOS, M., VOICULESCU, C.,et ENACHE, L., 1984: *Bioclima staţiunilor balneoclimatice din România*, Edit. Sport-Turism, Bucureşti.
- TROMP S., W., 1974: *Progress in Bioclimatology*, vol. I, Part 1 A, 1 B, Swets et Zeitlinger, BV, Amsterdam.

ANNEES ARROSEES ET ANNEES SECHES AU PROCHE-ORIENT RELATIONS AVEC LA CIRCULATION ATMOSPHERIQUE REGIONALE

Myriam TRABOULSI⁽¹⁾⁽²⁾, Pierre CAMBERLIN⁽³⁾

(1) GREMMO UMR 5647 Maison de l'Orient méditerranéen, 7 r.Raulin, 69007 Lyon, France
traboulsim@yahoo.fr

(2) Université Libanaise, Faculté des Lettres, Beyrouth Liban

(3) UMR 5080 Centre de Recherches de Climatologie, Université de Bourgogne
6 bd Gabriel, 21000 Dijon, France
camber@u-bourgogne.fr

Mots clés: variabilité interannuelle, précipitations, Proche-Orient, circulation atmosphérique, analyse composite

Abstract: *Dry and wet years in the Near-East – Relationship with regional atmospheric circulation.* Rainfall in the Near-East (Lebanon, Syria, Jordan, Israel) is characterized by a strong variability at inter-annual and monthly time scales. Three regional units of co-variation are defined using monthly data for 116 stations on the period 1960-90. The relationship between the exceptionally wet and dry months and atmospheric circulation (NCEP-NCAR reanalyses) is analysed. Rainfall in the three regions is strongly dependent on the occurrence and location of an upper atmospheric trough in the vicinity of the eastern Mediterranean.

Introduction

La variabilité interannuelle est l'une des caractéristiques fortes du climat du Proche-Orient (Liban, Syrie, Jordanie, Territoire autonome palestinien et Israël, Fig. 1); elle met en péril les ressources hydrauliques, ainsi que l'économie agricole et pastorale. L'isohyète 200 mm, limite de la culture pluviale fixée par le Ministère syrien de l'Agriculture par exemple, est très fluctuante selon les années (Traboulsi, 1981; 1990). Cette limite mord sur le désert en années humides, et se contracte vers le nord en années sèches. La variabilité des cumuls mensuels est la plus frappante: un mois pluvieux pendant une année peut être totalement sec l'année d'après. Cette variabilité est très grande au début et à la fin de la saison pluvieuse. Si elle fait partie intégrante du climat méditerranéen, elle se fait sentir différemment dans les régions selon le relief et ses interactions avec la circulation atmosphérique et avec les systèmes perturbés.

Les situations météorologiques associées à des épisodes pluvieux exceptionnels au Proche-Orient ont été

La plupart des études ont en effet considéré soit la Méditerranée elle-même (Corte-Real et al., 1995; Kutiel et al., 1996; Maheras et al., 1999), soit Israël (Kutiel, Paz, 1998; Price et al., 1998), mais pas la région proche-orientale en tant que telle.

présentées dans divers travaux (Blanchet, 1976; Blanchet, Traboulsi 1993). Cependant, la variabilité interannuelle des pluies, et ses liens avec la circulation atmosphérique au-dessus de la région et de l'est méditerranéen, qui font l'objet de cette étude, demeurent mal connus.

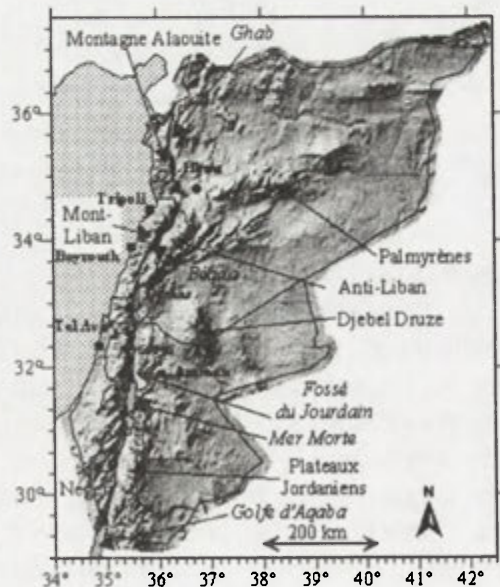


Fig. 1. Relief et délimitation de la région étudiée

Données et méthodes

Les données pluviométriques comprennent un réseau de cent seize stations, situées entre 29° et 38°N, et entre 34 et 43°E. À partir des totaux mensuels bruts couvrant la période 1960-90, nous avons effectué une analyse en composantes principales (ACP) avec rotation (Varimax) pour chaque mois de la saison pluvieuse (octobre à mai), afin de détecter les grandes régions de covariabilité des pluies. L'échelle mensuelle a été retenue étant donné la faible persistance intermensuelle des anomalies pluvieuses. Pour les données atmosphériques, nous avons utilisé les réanalyses du modèle américain de circulation générale atmosphérique NCEP/NCAR (Kalnay et al., 1996). Les données sont en points de grille, de 2.5 degrés en latitude et longitude. Nous avons sélectionné, pour les niveaux 500 et 1000 hPa, des paramètres fortement dépendants de l'observation dans les réanalyses: les composantes zonale et méridienne du vent, la température et l'humidité spécifique. Du fait d'hétérogénéités dans les données avant 1968 (Poccard *et al.*, 2000), seule la période 1968-90 a été étudiée.

Dans le cadre d'une analyse composite, nous avons utilisé les chroniques mensuelles obtenues par l'ACP, et décrivant la variabilité des précipitations dans chacune des trois régions. Pour chaque mois, les valeurs sont rangées par ordre croissant afin d'identifier les six années les plus humides et les six les plus sèches. À partir des réanalyses NCEP/NCAR, nous avons calculé les différents champs moyens mensuels des paramètres cités sur chacun des deux échantillons de six ans. Mois par mois et région par région, les différences entre les champs correspondant aux années humides et sèches sont cartographiées et testées (test de Student).

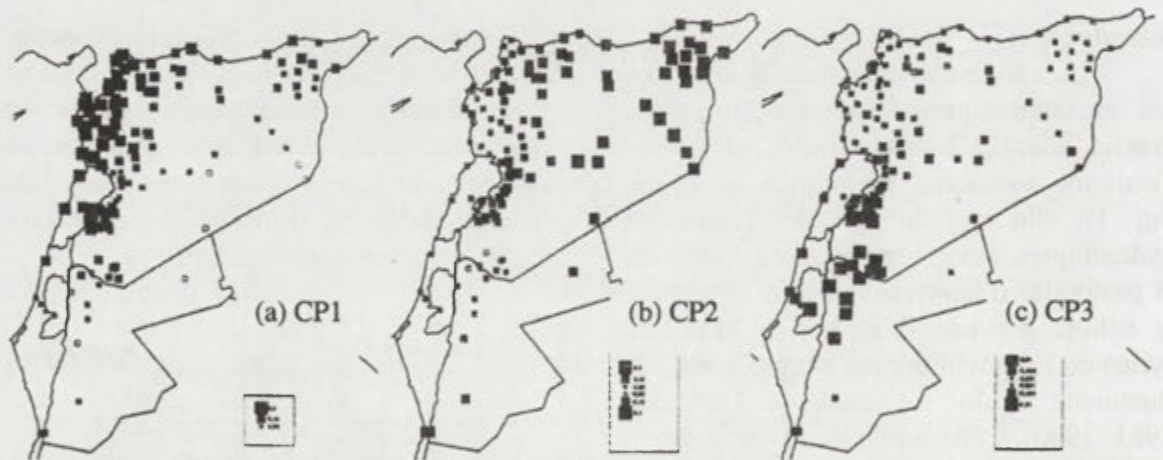


Fig. 2. Régionalisation de la variabilité pluviométrique interannuelle. 3 premières composantes d'une Analyse en Composantes Principales avec rotation Varimax des précipitations annuelles

Résultats

Pour chacun des huit mois analysés, on obtient trois grandes régions de covariation pluviométrique, dont la configuration est assez semblable à celle obtenue pour le total annuel (Fig. 2). La région nord-ouest englobe le nord-ouest de la Syrie et le Liban, l'est représente la plus grande partie de la Syrie intérieure, l'est et le sud de la Jordanie et le sud d'Israël. Le sud-ouest couvre le sud-ouest de la Syrie, la Cisjordanie et Israël. Les années les plus arrosées dans chacune des trois régions sont associées à des anomalies de circulation atmosphérique bien distinctes sur les cartes mensuelles, surtout de décembre à février. Ces trois mois sont souvent en effet les plus arrosés; aux intersaisons, les événements pluvieux étant plus rares, la circulation atmosphérique ne se trouve pas modifiée de façon suffisamment durable. L'illustration des anomalies de circulation est réalisée à partir du cas de janvier (Fig. 3-4).

Nous constatons que les années arrosées dans la région nord-ouest sont caractérisées, en altitude, par la présence d'un talweg s'étendant de la Méditerranée

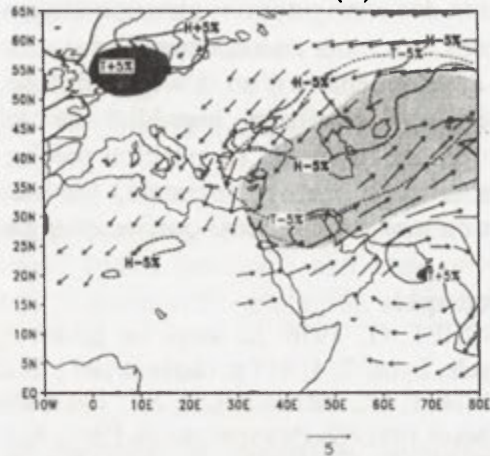
orientale à la mer Noire et aux Balkans (Fig. 3). La circulation est particulièrement méridienne, avec des anomalies de sud-ouest au-dessus de la région proche-

orientale. En surface, ces années sont caractérisées par des anomalies négatives de pression sur la Méditerranée orientale et l'Europe centrale.

Pour les années pluvieuses dans le sud-ouest, et particulièrement en hiver (Fig. 4),

nous retrouvons un talweg dépressionnaire d'altitude, mais souvent décalé vers l'est. Les pressions sont renforcées sur l'Europe. Des anomalies de nord sur l'est de la Méditerranée coïncident avec un fort refroidissement sur toute l'Asie occidentale.

JANVIER SUD-OUEST (a) 500hPa



(b) 1000hPa

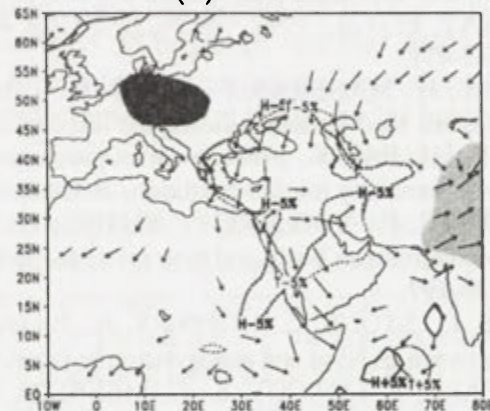


Fig. 4. Semblable à la fig.3, pour la région Sud-ouest

Fig.3. Anomalies atmosphériques correspondant à une composite années pluvieuses moins années sèches pour janvier dans la région Nord-ouest: (a) à 500 hPa; (b) à 1000 hPa. Seules sont représentées les anomalies significatives (seuil de 5%). Vecteurs: vents. Gris: géopotentiel (gris sombre: anomalies positives; gris clair: anomalies négatives). Isolignes noires: humidité spécifique (trait plein: anomalies positives; tirets: anomalies négatives). Isolignes grisées: température (trait plein: anomalies positives; tirets: anomalies négatives).

Pour la partie est du Proche-Orient (non montré), la situation est assez différente des précédentes. En années pluvieuses, on retrouve en altitude un talweg, mais moins creusé et en position plus méridionale (mer Rouge), accompagné d'une poche d'air froid au-dessus de l'Arabie. En surface, des anomalies négatives de pression sont aussi présentes sur la mer Rouge, mais sont reliées à un ensemble plus vaste atteignant l'Afrique équatoriale, avec sur le Proche-Orient des anomalies positives d'humidité. Ce dispositif est à rapprocher, à l'échelle synoptique, des épisodes orageux associés au sud au «talweg de la mer Rouge».

Conclusions

Ce travail a permis de mettre en évidence au Proche-Orient trois régions distinctes en ce qui concerne la variabilité interannuelle des précipitations entre 1960 et 1990, pour chacun des mois du semestre hivernal (octobre-mai). Un élément récurrent des configurations atmosphériques associées aux mois anormalement pluvieux est le développement d'un talweg d'altitude (500hPa) au voisinage immédiat de la région proche-orientale. La position précise de ces talwegs (Europe orientale, Moyen-Orient ou mer Rouge) ainsi que les champs

atmosphériques dans lesquels ils s'insèrent, diffèrent sensiblement selon la région pluviométrique considérée. Il est significatif d'obtenir à des échelles mensuelles de fortes relations entre la variabilité pluviométrique et la dynamique atmosphérique. Ceci indique que les événements synoptiques occasionnant ces épisodes (dépressions méditerranéennes, perturbations orageuses) s'insèrent dans des altérations relativement durables de la circulation, à une échelle débordant largement le cadre du Proche-Orient et de la Méditerranée orientale.

Bibliographie

- BLANCHET, G., 1976: *Le temps au Liban. Approche d'une climatologie synoptique*. Thèse de 3^e cycle, Lyon. T. I: 477 p. (texte et tabl.) T. II: (atlas).
- BLANCHET, G., TRABOULSI, M., 1993: Froid, pluie, neige et tempête au Proche-Orient durant l'hiver 1991-92. *Publications de l'AIC*, 6: 433-441.
- CORTE-REAL, J., ZHANG, X. et WANG, X., 1995: Large-scale circulation regimes and surface climatic anomalies over the Mediterranean. *Int. J. Climatol.*, 15: 1135-1150.
- KALNAY, E. *et al.*, 1996: The NCEP/NCAR 40-years Reanalysis Projects. *Bull. Am. Met. Soc.*, 77: 437-471.
- KUTIEL, H., MAHERAS, P., GUIKA, S., 1996: Circulation and extreme rainfall conditions in the Eastern Mediterranean during the last century. *Int. J. Climatol.* 16: 73-92.
- KUTIEL, H., PAZ, S., 1998: Sea level pressure departures in the Mediterranean and their relationship with monthly rainfall conditions in Israel. *Theor. Appl. Climatol.*, 60: 93-109.
- MAHERAS, P., XOPLAKI, E., KUTIEL, H., 1999: Wet and Dry monthly anomalies across the Mediterranean Basin and their relationship with circulation 1860-1990. *Theor. Appl. Climatol.*, 64: 189-199.
- PRICE, C., STONE, L., HUPPERT, A., RAJAGOPALAN, B., ALPERT, P., 1998: A possible link between El Nino and precipitation in Israel. *Geophys. Res. Lett.*, 25: 3963-3966.
- POCCARD, I., JANICOT, S., CAMBERLIN, P., 2000: Comparison of rainfall structures between NCEP reanalysis and observed data over Tropical Africa. *Clim. Dyn.*, 16: 897-915.
- TRABOULSI, M., 1981: *Le climat de la Syrie: exemple d'une dégradation vers l'aride du climat méditerranéen*. Thèse de 3^e cycle, Université Lyon II.
- TRABOULSI, M., 1990: La variabilité des précipitations dans le désert syrien, *Méditerranée*, 74: 47-54.

SAISONNALITE, TRADITION ET MORBIDITE: LE CAS DU PALUDISME ET DE LA MENINGITE A NGAOUNDERE

Maurice TSALEFAC, Themothe KAGOMBE, Roger NGOUFO

*Département de Géographie, Equipe de Recherche sur l'Environnement et le Développement au Cameroun (EREDCA) Réseau de Recherche: Dynamique Climatique et Impacts sur les Milieux en Afrique au Sud du Sahara (DYCLIMA) Université de Yaoundé I, Cameroun s/c
IRD-BP 1857 Yaoundé, Cameroun*

tsalefac@yahoo.fr mtsalefac@hotmail.com

Mots clés: saisonnalité, tradition, morbidité, variabilité climatique, paludisme, méningite

Abstract: In the Ngaoundere urban city of northern Cameroon, an effort to establish a relationship between climate and health is rendered complex since the population who is cosmopolite does not have easy access to modern health structures and very often uses traditional methods of treatment. Two illnesses, malaria and meningitis, are chosen to illustrate the issue.

Introduction

Les relations climat-santé constituent un domaine de recherche particulièrement intéressant dans la plupart des pays du Sud où l'accès à des structures modernes de soin est un luxe pour la grande majorité de la population. Ainsi, bien que depuis les indépendances des efforts ont été faits sur le plan sanitaire, l'occurrence de certaines maladies garde jusqu'à présent un caractère récurrent et s'accompagne de nombreuses victimes. C'est le cas pour le paludisme et la méningite à Ngaoundéré, petite ville camerounaise située sur les hautes terres de l'Adamaoua, entre les latitudes 7°13' 422'' et 7°22' 376'' Nord et les longitudes 13°33' 012'' et 13°37' 034 Est. On y observe non seulement une récurrence saisonnière de ces maladies mais aussi leur inégale diffusion suivant les quartiers. Quelles peuvent bien être les raisons qui expliquent cette disparité spatiale dès lors qu'à quelques exceptions près, ces quartiers présentent le même degré d'équipement et que depuis quelques années, les pouvoirs publics ne cessent d'y mener un combat contre ces pathologies à travers des campagnes fréquentes de sensibilisation et de soin?. Ce travail cherche à saisir l'influence de la variabilité climatique saisonnière sur le développement du paludisme et de la méningite dans cette ville. Il identifie ensuite les comportements des populations qui, périodiquement, les aggravent. Il tente enfin d'élaborer une cartographie de ces pathologies. Ces objectifs sont fondés sur l'hypothèse que la morbidité dans certains quartiers est saisonnièrement aggravée à cause de l'impact des traditions et des coutumes.

Cadre et contexte

La ville de Ngaoundéré présente une surface accidentée par de petits reliefs et des vallées peu encaissées. Bien qu'elle soit située en zone soudanienne au climat tropical à deux saisons (l'une sèche de novembre à Avril et l'autre pluvieuse de mai à octobre), la végétation de savane y a disparu. L'essentiel de la végétation qu'on trouve dans la ville est composée d'arbres fruitiers, principalement des manguiers et des avocatiers.

Sa population cosmopolite estimée à 175 000 habitants est constituée en majorité de Peul, à côté desquels on trouve des *Mboum*, des *Dourou (Dii)*, des *Gbaya*, des *Haoussa*, des *Moundang*, des *Toupouri*, des *Guiziga*, des *Guidar*, des *Bamiléké*, des *Bamoun*, des *Béti*, des *Tchadiens* et des *Centrafricains*. A cause des affinités tribales, cette population est inégalement répartie dans les différents quartiers.

Il s'agit de quartiers dans l'ensemble mal organisés et mal desservis par les voies de communication. Il s'y pose alors un problème de salubrité qui s'aggrave pendant la saison des pluies qui favorise la multiplication de moustiques propagateurs de paludisme.

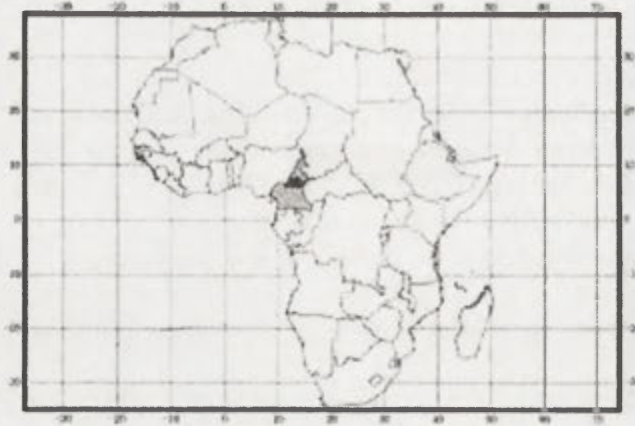


Fig. 1. Carte de localisation

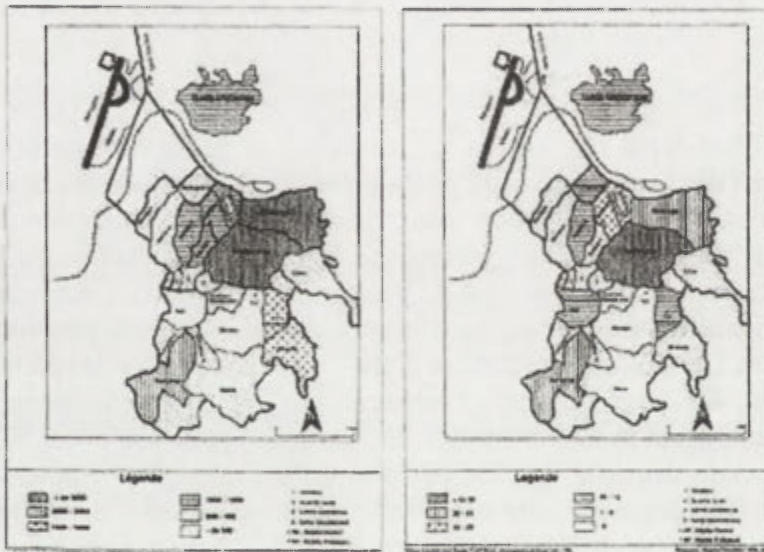


Fig. 2. Répartition par quartier du nombre de malades (Paludisme)

Fig. 2. Répartition par quartier du nombre de malades (méningite)

On sait que le paludisme est l'un des challenges majeurs de santé publique dans les pays en développement. Il est démontré que la plupart des germes responsables sont devenus résistants aux médicaments et que plusieurs insecticides ne sont plus efficaces contre les moustiques qui transmettent la maladie. D'où l'idée de développer des stratégies à faible coût pour son traitement, son contrôle et sa prévention d'autant qu'elle est de plus en plus vue à la fois comme facteur et conséquence de la pauvreté.

C'est face à cette situation qu'en 1998, à l'initiative de l'Organisation Mondiale pour la Santé, le Programme des Nations Unies pour le Développement, l'UNICEF et la Banque Mondiale, il a été institué un partenariat mondial de lutte contre le paludisme dénommé «Faire Reculer le Paludisme Réseau d'Appui Technique à la Lutte contre les Epidémies de Paludisme soit Roll Back Malaria (RBM's) en anglais» dont les actions visent quatre domaines prioritaires: l'accès rapide aux soins, la diffusion des moustiquaires imprégnées, la prévention et le contrôle du paludisme chez les femmes enceintes, les actions urgentes à mener en cas d'épidémie. En avril 2000, les chefs d'Etats d'Afrique tropicale se sont retrouvés à Abuja pour traduire dans les faits les objectifs du RBM'S à l'horizon 2010. La déclaration d'Abuja fixe les objectifs en matière de traitement et de prévention de la maladie. La plupart de pays africains ont, dans cette perspective réduit les impôts sur les insecticides, établi des «plans stratégiques nationaux» (PSN) et des partenariats nationaux pour mieux appliquer les objectifs du RBM'S en se fondant sur de nouvelles initiatives comme le

«*Integrated Management of Childhood illness (IMCI)*» et le «*Making Pregnancy Safer (MPS)*».

Parmi les facteurs qui peuvent provoquer une progression «inattendue» de la transmission, on peut, entre autres, retenir la variabilité climatique qui, en modifiant l'environnement, peut augmenter la capacité des vecteurs à transmettre les plasmodies d'une personne à l'autre et entraîner la résurgence des épidémies surtout dans des pays qui ne sont pas dotés d'un bon système de surveillance. Il est de plus en plus admis que des systèmes d'alerte fonctionnant grâce à une bonne collaboration entre les services climatologiques et les programmes de lutte contre les maladies à transmission vectorielle peuvent annoncer une épidémie plusieurs semaines à l'avance; le personnel de santé est alors mieux préparé à prévenir l'épidémie ou à la juguler dès le départ. Or rien de tel à notre connaissance n'existe pour le Cameroun. Cette étude examine aussi la pertinence d'une telle entreprise dans ce pays.

Méthode

La méthodologie adoptée a consisté à récolter des données climatiques journalières pour la période allant de 1989-2000. Les données cliniques proviennent de l'hôpital central et de l'hôpital protestant de la ville. Les données de l'hôpital central vont de 1992 à 2000 pour les services d'accueil et de médecine générale.

Des enquêtes auprès des populations ont permis de mesurer le poids des traditions et des coutumes sur le comportement des patients. L'analyse comparative de l'évolution mensuelle du nombre de patients et la pluviométrie ainsi que l'analyse des corrélations linéaires permettent de saisir les liens entre les deux paramètres.

Résultats

L'étude montre qu'à Ngaoundéré, le paludisme a une forte endémicité et que ses rythmes d'occurrence sont étroitement liés au régime climatique (Tabl. 1). Bien que la pathologie s'étale sur toute l'année, c'est toutefois en avril et en octobre qu'elle connaît un accroissement associé au début ou à la fin de la saison pluvieuse correspondant à des types de temps chaud et humide. Ce sont les enfants de moins de 5 ans qui sont les plus touchés.

Tableau 1: Nombre de cas de paludisme enregistrés par année et par mois à l'hôpital Central de Ngaoundéré

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
1992	40	47	78	112	64	45	32	42	73	62	59	45	699
1993	35	35	35	55	90	34	27	41	47	55	48	20	522
1994	20	18	49	38	118	138	81	74	58	111	99	28	832
1995	82	71	89	130	227	200	137	149	213	248	155	86	1787
1996	71	51	67	123	116	91	100	86	64	130	95	59	1053
1997	75	83	120	136	170	163	157	83	153	247	199	167	1753
1998	135	152	200	209	349	346	263	221	277	271	229	173	2825
1999	123	176	184	255	258	224	132	120	146	159	225	132	2134
2000	65	89	90	150	194	105	71	72	100	112	127	40	1215
TOT AL	646	722	912	1208	1586	1346	1000	888	1131	1395	1236	750	12820

Source: registres médicaux

Les cas de méningite commencent à se multiplier à Ngaoundéré à partir du mois de Février et quelquefois un ou deux mois avant, selon le décalage du début de saison sèche. Ils atteignent leur maximum en Mars et en Avril avant de baisser de Mai à Juin.

Tableau 2. Nombre de cas de méningite enregistrés par année et par mois à l'Hôpital Central de Ngaoundéré (1997-2000)

Mois Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
1992	0	2	5	1	0	0	0	0	0	0	0	1	9
1993	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
1994	0	1	0	0	0	1	0	2	0	2	1	6	13
1995	5	3	7	1	5	5	5	2	5	4	3	5	48
1996	5	4	1	2	5	3	2	1	0	3	2	6	34
1997	2	3	2	4	3	1	5	2	3	4	2	1	32
1998	6	5	7	7	7	3	1	1	2	2	3	4	48
1999	4	8	4	5	6	0	1	2	10	2	7	9	58
2000	3	5	14	7	5	3	2	0	2	5	3	4	56
Total	25	33	40	27	31	16	16	8	22	24	21	36	299

Source: registres médicaux

En ce qui concerne le paludisme, on constate que les enfants de moins de 5 ans sont les plus touchés Viennent ensuite les adolescents avec 23,05% du total des malades enregistrés à l'hôpital central et 21,82% à l'hôpital protestant ; les adultes quant à eux représentent moins de 20% du total.

En ce qui concerne la Méningite, on observe qu'elle attaque toutes les tranches d'âges sans exception, la tranche d'âge de 0 à 4 ans étant également la plus touchée. Les groupes tribaux les plus affectés sont les *Peul*. viennent ensuite les groupes *Mboum*, *Gbaya* et *Dii*.

Cette inégale répartition est liée aux prescriptions religieuses, à l'attachement aux coutumes, à l'automédication, à la confiance que les gens ont à la médecine traditionnelle et à la pauvreté.

Conclusion

A Ngaoundéré, le paludisme connaît une recrudescence en début de saison des pluies et rechute légèrement pendant les mois les plus pluvieux (juillet – août). Quant à la méningite, sa recrudescence est liée aux types de temps chaud et sec de février à avril. Certaines traditions musulmanes empêchent les patients de recourir spontanément aux structures modernes de soin. En général et du fait de la pauvreté, les populations ont recours à la médecine traditionnelle, à l'automédication ou préfèrent consulter des guérisseurs et des sorciers. L'intensité de ces pratiques suivant les quartiers expliquent les différenciations spatiales. Ainsi, si le climat rythme la recrudescence des maladies, les traditions et la pauvreté assurent périodiquement les taux élevés de mortalité et de morbidité.

Bibliographie

- BESANCENOT, J.P., 1988: Climat et santé, *Bull. APS, Geo. France*, vol. LxV, n°5.
- BRYANT, J., 1972: *Santé publique et développement*, les Editions internationales, Paris, Tendances actuelles.
- CANTRELLE, P., LY, 1980: *La mortalité des enfants en Afrique*, Ordina Editions, Liège.
- COZ, Y., 1970: *Le paludisme et ses aspects particuliers en Afrique tropicale francophone*, Etudes médicales, France.
- HURAUULT, J., 1983: Fécondité, morbidité et mortalité, dans «Fécondité et mortalité dans l'agglomération urbaine de Banyo (Cameroun): L'incidence des maladies vénériennes, *IGN, FRA, ORSTOM*, série Sciences humaines.
- SALEM, G., et EMILE, J., 1989: *Urbanisation et santé*, Paris.
- SALEM, G., 1998: *La santé dans la ville: géographie d'un espace jeux: pikine (Sénégal)*, Coed. ORSTOM/ KARTHALA..

VARIABILITE DES PRECIPITATIONS SOUS FORME DE NEIGE A „POGÓRZE KARPACKIE”

Robert TWARDOSZ

*Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Jagielloński
Grodzka 64, 31-044 Kraków, Pologne
r.twardosz@iphils.uj.edu.pl*

Mots-clés: précipitations sous forme de neige, situations synoptiques, Karpaty, Pologne.

Abstract: The Gaik-Brzezowa and Szymbark series of daily weather observations and measurements was used to analyse the variability of the number of days with snowfall and the total snowfall during the cold season (Nov.- Apr.) in the period 1971-2000 in the Carpathian Foothills. The most frequent snowfalls occur under the following three cyclonic situations: western advection (Wc), North-Western (NWc) and the cyclonic trough (Bc). Most snowfalls (79%) occur in air temperatures between -5 and 5°C.

Introduction

Cette étude a pour objet l'analyse de la variabilité de l'enneigement dans la région de Pogórze Karpackie (l'avant pays des Carpates). Cette variabilité sera traitée en fonction des situations synoptiques et de la température moyenne diurne de l'air. Ce travail est basé sur une série de mesures météorologiques prises durant 30 ans (1971-2000) dans les localités de Gaik-Brzezowa et de Szymbark. La question des précipitations sous forme de neige est relativement peu abordée dans les travaux polonais spécialisés. Or, ces précipitations jouent un rôle considérable dans le bilan hydrique. Les précipitations sous forme solide peuvent rester pendant longtemps dans la couche de neige et ensuite, au moment du dégel, elles peuvent influencer de manière significatif le niveau de la nappe phréatique. Par conséquent, un dégel qui survient brusquement, en particulier dans le cas de sols gelés, peut constituer un risque important d'inondation. Dans les Carpates polonaises, l'influence décisive quant à l'apparition des précipitations sous forme de neige est exercée essentiellement par la circulation atmosphérique et par le milieu géographique (Madany, 1961; Twardosz 2003a). Dans les études concernant les précipitations dans cette région, publiées jusqu'à maintenant, on soulignait essentiellement les différences caractérisant les systèmes de précipitations de la partie orientale et occidentale des Carpates (Madany, 1961; Cebulak, 1997).

Données utilisées et méthodologie

Dans cette étude, nous avons utilisé les observations météorologiques quotidiennes de la station de recherche de l'Université Jagellonne de Gaik-Brzezowa et de la station de l'Académie Polonaise des Sciences située à Szymbark. Ces deux stations sont localisées à l'étage climatique chaud-tempéré (température moyenne annuelle varie entre 6 et 8°C). La station de Gaik-Brzezowa représente les conditions climatiques caractéristiques de la partie occidentale de la région de Pogórze Karpackie (Pogórze Wielickie, $\varphi=50^{\circ}04' N$, $\lambda=19^{\circ}58' E$, Hs=206 m au-dessus du niveau de la mer). Les conditions de la station de Szymbark sont caractéristiques de la partie orientale (le territoire situé entre le Pogórze Ciężkowickie et le Beskide Niski, $\varphi=49^{\circ}38' N$, $\lambda=21^{\circ}07' E$, Hs=325 m au-dessus du niveau de la mer).

Ce travail a été réalisé en utilisant les données des six mois considérés comme les plus froids de l'année (de novembre à avril) depuis 1971 à 2000 en relevant le nombre de jours avec des précipitations sous forme de neige supérieur ou égal à 0,1 mm et en tenant compte de la part que représentaient les précipitations sous forme de neige dans le volume global des précipitations enregistrées durant la période considérée. Les jours qui ont vu des précipitations sous forme de neige ou des précipitations solide et liquide ont été pris en considération. Pour calculer le total des précipitations (solide et liquide), on a adopté le

principe qu'une moitié du total est classée comme précipitations solides et l'autre moitié comme précipitations liquides.

Pour déterminer l'influence de la circulation de l'atmosphère sur l'apparition des précipitations sous forme de neige, on s'est servi du calendrier des situations synoptiques de la Pologne du Sud de T. Niedzwiedz (2003).

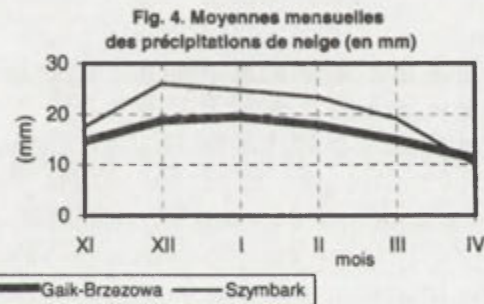
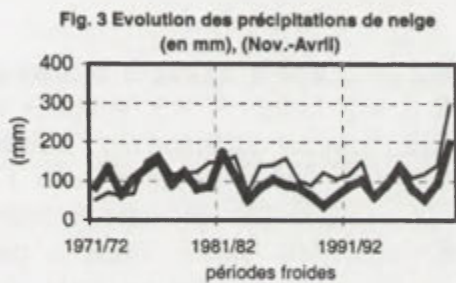
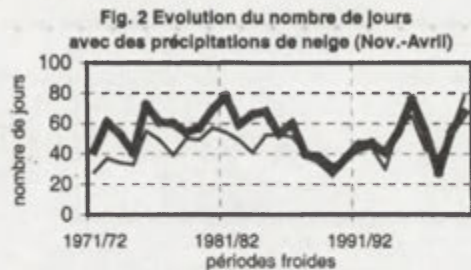
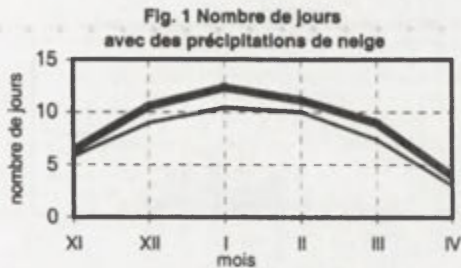
Résultats

Pour la période étudiée, du 1971 à 2000 et durant les six mois les plus froids (de novembre à avril), la partie occidentale du Pogórze Karpackie reçoit d'avantage d'évènements de précipitations sous forme de neige, en moyenne 54 jours, que dans la partie orientale, 46 jours en moyenne. Aussi bien à Gaik-Brzezowa qu'à Szymbark, les précipitations sous forme de neige constituent plus de 55% de la totalité des jours avec précipitations durant ces six mois de l'année. Dans les deux stations, le mois le plus enneigé est le mois de janvier (Fig. 1). En moyenne, les précipitations sous forme de neige en janvier interviennent pendant 12,3 jours et 10,4 jours à Gaik-Brzezowa et à Szymbark respectivement. Le mois le moins enneigé est le mois d'avril, c'est-à-dire: 3 jours de précipitations sous forme de neige à Szymbark jusqu'à 4 jours de neige à Gaik-Brzezowa.

L'évolution du nombre de jours avec précipitations sous forme de neige dans les parties orientale et occidentale du Pogórze Karpackie donne une corrélation significative (coefficient de corrélation $r=0,70$). Ainsi, nous observons d'importantes variations d'une année à une autre (Fig. 2). Au niveau des deux stations, le nombre maximal de journées avec des précipitations sous forme de neige est de 78. A Gaik-Brzezowa, de telles données ont été enregistrées pour les six mois durant les années 1981 et 1982 et à Szymbark, pour les années 1999 et 2000. Durant les périodes allant de 1975/76 à 1986/98 (pour les six mois), nous avons observé une période continue de précipitations sous forme de neige plus fréquente dans la région de Pogórze Karpackie. Comme la période de six mois se caractérisent par des précipitations les plus élevés, nous avons enregistré 76 jours à Gaik-Brzezowa et 65 jours à Szymbark durant l'année 1995/96. Les mêmes valeurs, en ce qui concerne les nombres minimales de jours avec précipitations sous forme de neige (28), ont été atteintes à Gaik-Brzezowa au courant de l'année 1997/98 et à Szymbark en 1971/72. A la lumière des coefficients de variabilité, la dispersion des jours avec précipitations sous forme de neige (25%) dans les deux stations est deux fois plus élevée par rapport à la variabilité du nombre de jours avec précipitations (13%) pendant cette période de l'année (6 mois).

Dans la région de Pogórze Karpackie, le volume total des précipitations sous forme de neige constitue une part considérable du volume global des précipitations (Twardosz, 2003a). Des volumes plus importants ont été enregistrés dans la partie orientale de Pogórze. En moyenne, pendant les six mois de froid de l'année, à Gaik-Brzezowa, les précipitations sous forme de neige atteignaient 97,4 mm d'eau ce qui correspondait à une part de 38% du volume total. Pour ce qui concerne la station de Szymbark, les précipitations sous forme de neige ont un rendement plus élevé et atteignent en moyenne 123 mm, ce qui représente une part de 47% de la totalité du volume des précipitations. Dans les deux stations, la période exceptionnellement enneigée était celle des six mois de l'année 1999/00, avec un volume global des précipitations de l'ordre de 197 mm à Gaik-Brzezowa et de 292 mm à Szymbark (Fig. 3). Pendant cette période, la part des précipitations sous forme de neige par rapport à la totalité des précipitations représentait 60% à Gaik-Brzezowa et 73% à Szymbark. Comme années enneigées, étaient considérées aussi les périodes (6 mois) allant de 1971 à 1980 ainsi que l'année 1995/96. Les années de 1971 à 1980, dans la région de Pogórze Wielickie, sont considérées comme années humides (Twardosz, 2003b). Par contre, le volume le moins élevé des précipitations sous forme de neige avait été enregistré durant différentes périodes de six mois. A Gaik-Brzezowa, une telle période était intervenue au cours de l'année 1989/90 (37 mm) et à Szymbark en 1971/72 (52 mm). Dans les deux stations, on observe une corrélation importante entre l'évolution du volume des précipitations sous forme de neige et le nombre de

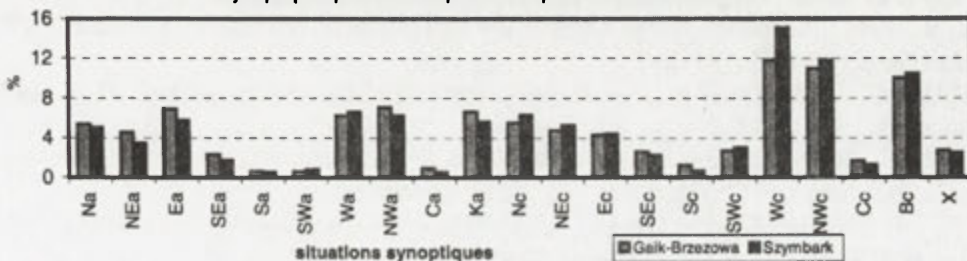
jours avec précipitations sous forme de neige (Gaik-Brzezowa, $r=0,65$, Szymbark $r=0,83$). Pour les six mois considérés, le volume total des précipitations sous forme de neige enregistré durant cinq mois est plus important dans la partie orientale de Pogórze Karpackie (Fig. 4). Au moment de l'apparition des valeurs maximales, nous avons remarqué une différence significative du point de vue de la répartition des volumes moyens des précipitations. A Gaik-Brzezowa, cette valeur a été enregistrée en janvier (19,5 mm) et à Szymbark au mois de décembre (26 mm). En avril, au niveau des deux stations, les volumes globaux des précipitations sous forme de neige sont les moins élevés (10 mm à Szymbark et 11 mm à Gaik-Brzezowa).



En ce qui concerne les types de circulation (Niedźwiedź, 2003) et pour la période étudiée (1971 à 2000), dans la Pologne du Sud prédominaient les situations anticycloniques (51,4%) au détriment des situations cycloniques (46,4%). Parmi les 21 types de situations synoptiques, le plus souvent (34%), apparaît l'advection de l'air de l'Ouest (Wc – 12,5% et Wa – 10,7%). Vient ensuite la dorsale anticyclonique (Ka) dont la fréquence d'apparition est de l'ordre de 10,8%.

L'attribution d'un type de situation synoptique approprié à chaque précipitation journalière de neige a démontré que dans la région de Pogórze Karpackie, de telles précipitations intervenaient le plus fréquemment dans des situations de basse pression (Gaik-Brzezowa 55,2%, Szymbark 60,8%), (Fig. 5). Dans chacune des stations, le plus grand nombre de jours avec précipitations sous forme de neige (environ 35%) était enregistré dans les trois situations synoptiques suivantes: la situation cyclonique occidentale (Wc), la situation cyclonique Nord-Ouest (NWc) et le thalweg dépressionnaire (Bc).

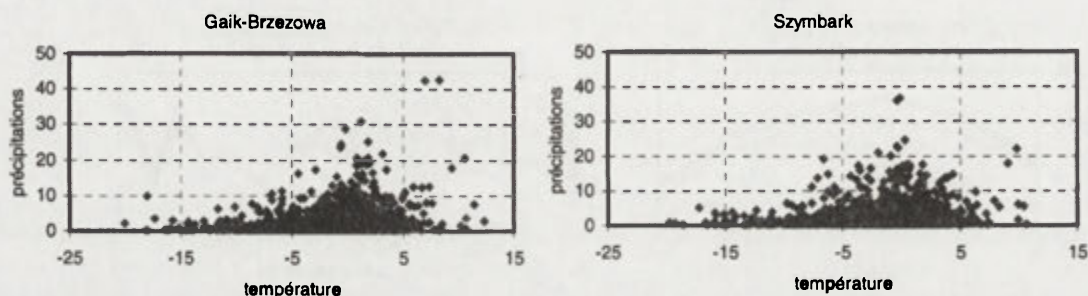
Fig. 5 Fréquence des précipitations de neige dans les situations synoptiques particulières pendant la période froide 1971-2000



L'apparition des précipitations sous forme de neige et leur volume dépendent d'autre part des conditions thermiques de l'air. Dans le Pogórze Karpackie, les précipitations sous

forme de neige apparaissent à une vaste échelle de la température moyenne journalière de l'air: de $-20,0^{\circ}\text{C}$ à $+12,3^{\circ}\text{C}$ à Gaik-Brzezowa et de $-19,7^{\circ}\text{C}$ à $+10,6^{\circ}\text{C}$ à Szymbark (fig. 6). Aux valeurs limites de cette intervalle de température ne se rapportent que des cas isolés de précipitations. Près de 40% des précipitations sous forme de neige, dans chacune des stations, apparaissent dans un intervalle restreint de température, à savoir de -5 à 0°C , et 79% d'entre eux, se situent entre -5 et $+5^{\circ}\text{C}$. Ainsi, seulement 21% des précipitations sous forme de neige apparaît dans les conditions d'une température moyenne journalière supérieure à 5°C et inférieure à -5°C .

Fig. 6 Rapport des précipitations de neige et de la valeur de la température moyenne journalière de l'air



Conclusion

D'après une série pluriannuelle des précipitations enregistrées à Gaik-Brzezowa et à Szymbark, nous avons montré les différents aspects de la variabilité des précipitations sous forme de neige dans la région de Pogórze Karpackie. Elles sont conditionnée par l'influence des situations synoptiques et par les valeurs journalières de température moyenne de l'air. Dans la partie occidentale de Pogórze, les précipitations sous forme de neige interviennent un peu plus fréquemment en atteignant des valeurs maximales en janvier. Dans la partie orientale, les précipitations sous forme de neige se caractérisent par un rendement plus élevé et le volume mensuel global le plus élevé est enregistré au mois de décembre. Une corrélation importante existe aussi bien pour le nombre de jours que le volume global des précipitations sous forme de neige entre les deux parties de la région de Pogórze. D'après le nombre de jours et le volume global des précipitations sous forme de neige, les plus enneigés sont les périodes froides allant de 1975/76 à 1981/82, 1995/96 et 1999/00. Pendant la période 1999/00, les volumes globaux des précipitations sous forme de neige étaient particulièrement élevés. Les précipitations sous forme de neige dans la région de Pogórze Karpackie apparaissent le plus fréquemment dans trois situations synoptiques, à savoir: Wc, NWc et Bc (le thalweg dépressionnaire). Les précipitations sous forme de neige les plus importantes (79%) ont été enregistrées à une température moyenne journalière de l'air qui se situait entre -5 et $+5^{\circ}\text{C}$.

Bibliographie

- CEBULAK, E., 1997: Variability of precipitation in selected regions of the Carpathians in the years 1951-1995. *Geographia Polonica*, 70: 65-76.
- MADANY, R., 1961: O opadach śniegu i szacie śnieżnej w Karpatach Polskich w okresie 1951-1955, *Przegląd Geofizyczny*, 3, 131-146.
- NIEDŹWIEDŹ, T. 2003: *Katalog sytuacji synoptycznych dla dorzecza górnej Wisły (1971-2000)*, Computer file.
- TWARDOSZ, R., 2003a: Zmienność opadów śniegu na Pogórze Wielickim w latach 1971-2000, *Folia Geographica ser. Geographica Physica* (sous presse).
- TWARDOSZ, R., 2003b: Wpływ sytuacji synoptycznych na występowanie dobowych opadów na Pogórze Wielickim. *Prace Geograficzne IGiPZ PAN* (sous presse).

L'ÉVOLUTION DES PHÉNOMÈNES DE TEMPS SEC ET SÉCHERESSE DANS LE PLATEAU DE DOBROUDJA DU SUD – ROUMANIE

Iulica VĂDUVA

Faculté de Géographie, Université Spiru Haret

13, Ion Ghica rue, Bucaresti, Roumanie

iulicaiancu@hotmail.com

Mots clés: temps sec, sécheresse, Dobroudja de Sud

Abstract: Due to its position, the South Dobrodja Plateau is characterized by the most frequent and persistent phenomena of drought, which give the climatic mark of this territory. The results highlight the fact that these phenomena were the most persistent on the eastern front side (seashore) of the plateau. During the most drought periods, the area affected by drought and dryness stretches towards the western part of the plateau, just in the vicinity of the Danube.

Introduction

Même si le Plateau de Dobroudja de Sud est un espace avec des ressources climatiques favorables pour la culture des plantes agricoles, il représente en même temps un espace avec un grand risque de désertification. Et pourtant, la littérature spécialisée qui traite la dynamique des phénomènes de temps sec et sécheresse c'est n'est pas vaste.

Méthodes

Les données enregistrées aux six stations météorologiques (Constanta, Mangalia, Valu lui Traian, Medgidia, Adamclisi et Harsova) du Plateau de Dobroudja de Sud ont été fournies par l'INMH et utilisées pour caractériser la dynamique des phénomènes de temps sec et sécheresse pendant les derniers quatre décennies (1961-2000).

L'évolution des phénomènes de temps sec et sécheresse a été mise en évidence à l'aide des indices d'aridité „R” (recommandé par l'UNEP, qui tient compte de la quantité des précipitations et l'évapotranspiration potentielle) et Emmanuel de Martonne (calculé comme rapport entre les précipitations et la température).

Résultats

L'indice d'aridité R montre que le littoral et la partie centrale du Plateau sont semi-arides et la partie de l'Ouest – sèche-semi humide (Fig. 1).

L'indice d'aridité Emm. de Martonne, qui a l'avantage d'indiquer les caractéristiques du tapis végétal et du réseau hydrographique compte tenu du degré de sécheresse (Bogdan, Niculescu, 1999), indique tout le long d'un siècle que le littoral est la région la plus aride, étant encadrée par l'isoligne de 17 (Fig. 2). L'isoligne de 20 est située au centre du plateau. Pour la période 1961-2000, on remarque la même distribution de cet indice (Fig. 3).

Pour la décennie 1981-1990 (la décennie la plus sèche de la période analysée) il y a une situation particulière (Fig. 4). L'isoligne de 20 pour cet intervalle est située au long du Danube, ce qu' indique un grand degré d'aridité pour tout le Plateau de Dobroudja et pas seulement dans la région du littoral, avec des conséquences significatives pour le paysage, la productivité agricole et la biodiversité.

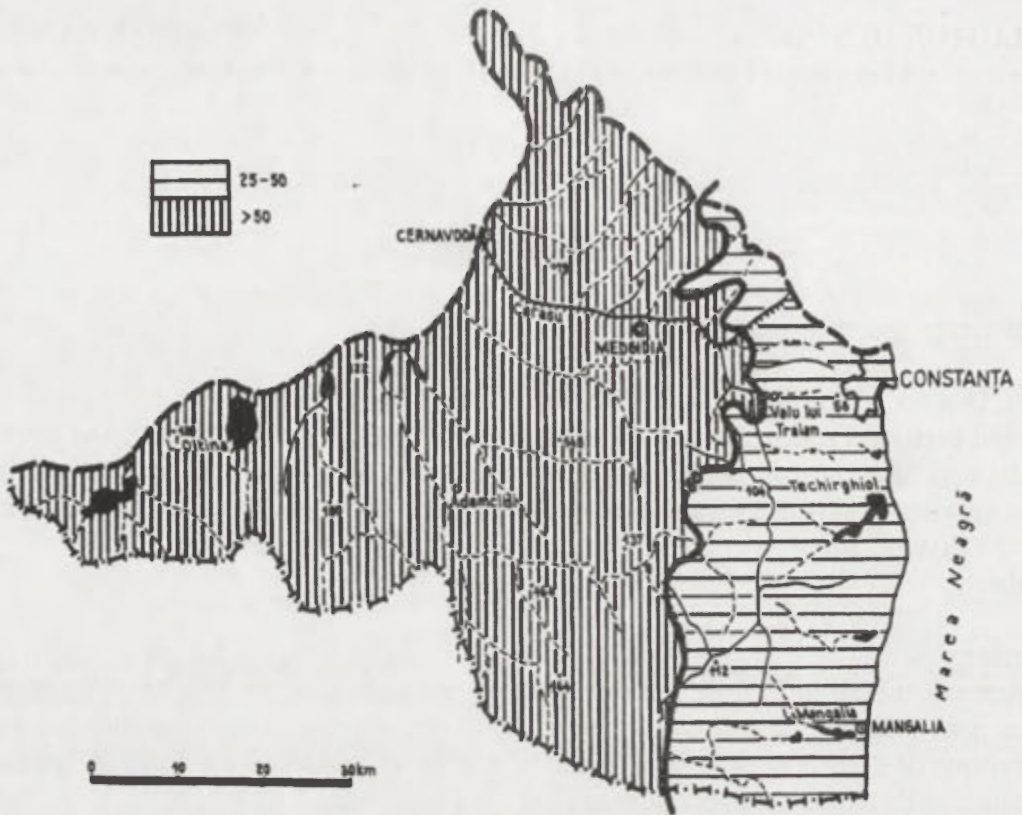


Fig. 1. L'indice d'aridité R

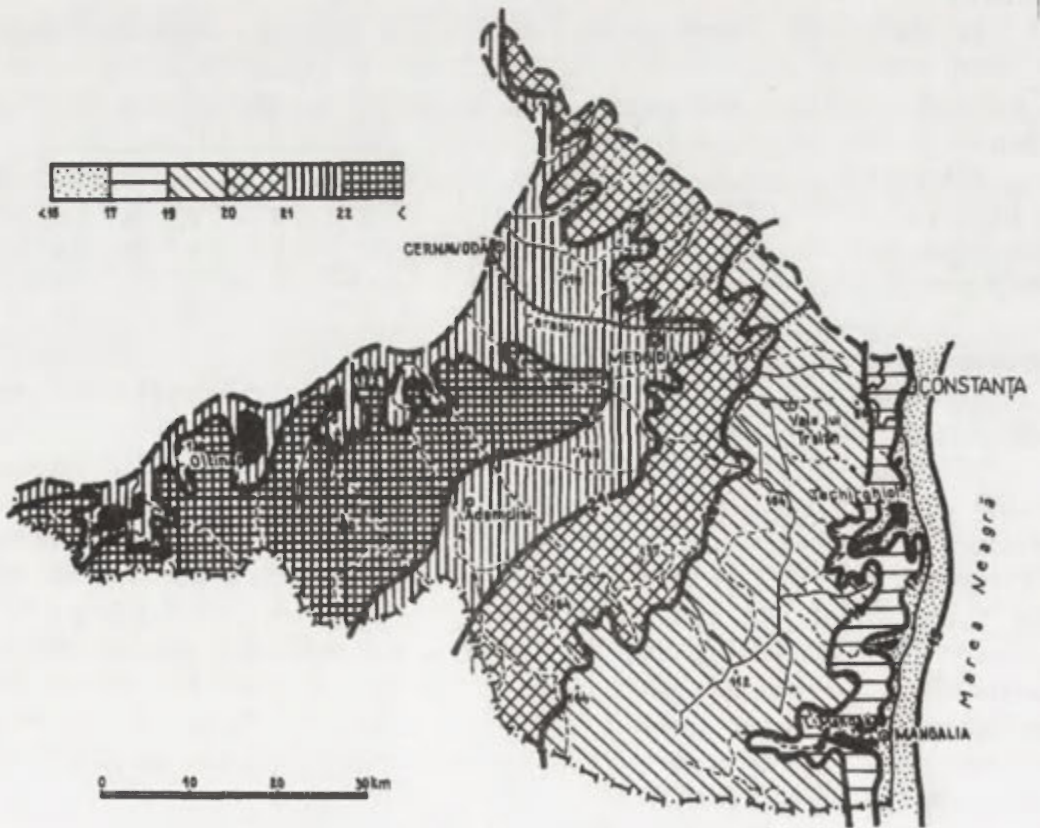


Fig. 2. L'indice d'aridité Emm. de Martonne (1901-2000)

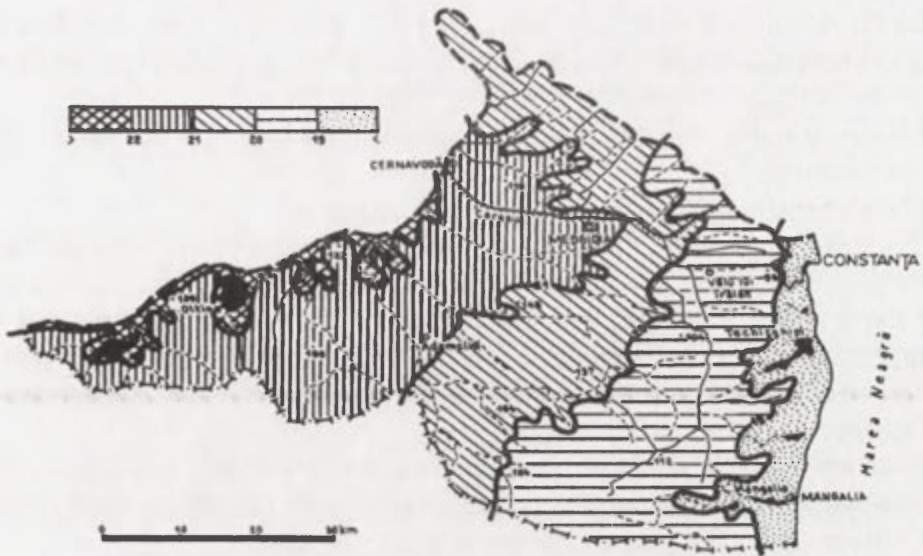


Fig. 3. L'indice d'aridité Emm. de Martonne (1961-2000)

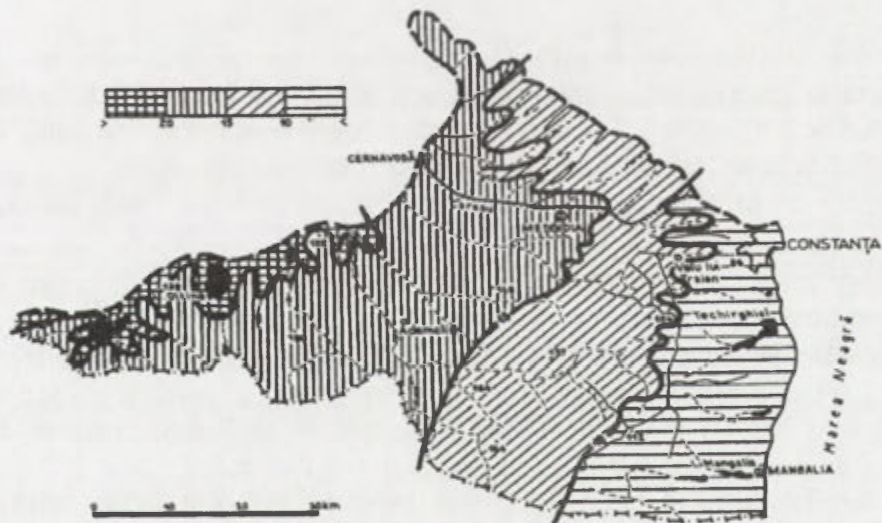


Fig. 4. La translation de l'index d'aridité Emm. de Martonne, de l'est vers l'ouest, dans le Plateau de Dobroudja du Sud

Également, la translation vers l'ouest de cette isoligne soutient l'idée que le Plateau de Dobroudja de Sud est soumis à un grand risque de désertification (Văduva-Iancu, 2002, Bogdan et Văduva), particulièrement du phénomène de réchauffement global de l'atmosphère. De ce point de vue, les zones les plus susceptibles sont situées dans la moitié d'est, pendant que les moins susceptibles sont à l'ouest, à cause de la présence de la Mer Noire qui accentue l'intensité des phénomènes de temps sec et sécheresse pendant la circulation anticyclonique, ce qui favorise des courants d'air descendants qui effilochent les systèmes nuageux. Les conséquences des phénomènes de temps sec et sécheresse qui ont la plus longue durée et la plus grande intensité ici sont représentées par:

- La limitation de l'aréal occupé par la steppe, accentuée aussi par l'extension des terrains agricoles, ce qui a affecté en même temps la faune de steppe (par exemple, l'outarde est en voie de disparition);
- L'extension de la végétation herbacée au détriment de sylvestre et des forêts, qui a été prouvée par la prédominance des espèces herbacées (dans le périmètre avec un grand risque de désertification et sécheresse, les prairies sont formées principalement par des espèces herbacées comme: *Poa bulbosa*, *Artemisia austriaca*, *Euphorbia steposa*, *Festuca callieri*, *Thymus zigoides*, *Artemisia arenaria*, *Centaurea arenaria*);

- La restriction des poids des forêts, qui est semblable à leurs poids dans les territoires bas de la Roumanie: le pourcentage moyen général de boisement est environ 7-8%, par rapport au pourcentage moyen pour le pays (environ 28%);
- L'extension des buissons (blancs et rouges) dans la région des sables littoraux et sur les terrains escarpés;
- L'assèchement temporaire des rivières autochtones.

Tous ça tend de devenir des mutations sensibles dans le paysage du Dobroudja, des mutations qui peuvent être accentuées par la tendance actuelle d'évolution du climat vers un possible changement climatique. Plus la tendance d'évolution du climat par une augmentation de la température d'air est plus évidente, plus la tendance de diminution des précipitations est plus claire et donc l'intensification des phénomènes de **sécheresse-aridisation-désertification**.

Pour arrêter cette tendance, au moins dans le plan local et régional, on impose une gestion adéquat de ces territoires avec un grand risque pour ces phénomènes. Pour ça on doit:

- Cultiver surtout des plantes résistantes à la sécheresse;
- Utiliser des rideaux de protection auprès du littoral (par des plantations des acacias, les plus résistants à la sécheresse, pour arrêter la déflation des sables et de l'horizon supérieur du sol;
- Utiliser des techniques agricoles adéquates, qui ne favorisent pas les processus d'érosion, ni la compaction et salinisation des sols, l'augmentation de la température, de l'évapotranspiration potentielle dans l'espace microclimatique, ce qui conduit à la généralisation de la sécheresse dans l'espace micro- et topo climatique;
- Utiliser des paravents pour la neige, pour garder l'uniformité de la couche de neige;
- Éviter le surpâturage;
- Élargir les plantations arboricoles et viticoles (des pêchers et abricotiers qui ont de très bonnes conditions de végétation) sur les terrains en pente, exposés à l'érosion et glissement;
- Remettre en fonction des systèmes d'irrigation efficaces et performants comme Siutghiol, Carasu, Harsova, pour satisfaire le nécessaire d'eau pendant les périodes optimales de végétation sans des effets secondaires pour la qualité de l'environnement dans la région respective (salinisation, augmentation de l'humidité de l'air etc.).

Si on applique et on respecte ces mesures, on peut éviter quelques possibles déséquilibres écologiques qui peuvent avoir des conséquences irréversibles.

Conclusions

1. au Plateau de Dobroudja de Sud, les espaces les plus exposés aux phénomènes du temps sec et sécheresse sont ceux situés à l'est du plateau, c'est à dire sur le littoral;

2. pendant l'intervalle 1891-1990, on a été enregistré la translation de l'indice d'aridité Emm. De Martonne de l'est (le littoral) vers l'ouest (la partie près du Danube).

Bibliographie

- BOGDAN, O, NICULESCU, E, 1999: *Riscurile climatice din România*, Academia Română, Institutul de Geografie, Tipar Compania Sega International, București.
- BOGDAN, O, VĂDUVA, I, 2003: *Some aspects of dryness and drought phenomena in the South Dobroudja Plateau highlighted by means of Walter-Lieth climograms*. Semina. Geografic "Dimitrie Cantemir", Ediția a XXIIa, Tulnici, 11-13 octombrie, sub tipar.
- VĂDUVA-IANCU, I, 2002: *Aspecte ale fenomenelor de uscăciune și secetă din Podișul Dobrogei de Sud*, Analele Univ. din Târgoviște, sub tipar.

MISE AU POINT D'UN INDICATEUR DE STRESS HYDRIQUE PAR THERMOGRAPHIE INFRAROUGE (APPLICATION A LA POMME DE TERRE)

Alain A. VIAU, Serge Olivier KOTCHI

Laboratoire de Géomatique Agricole et d'Agriculture de Précision

Département des Sciences Géomatiques

Centre de Recherche en Géomatique

Université Laval

Alain.viau@scg.ulaval.ca

serge-olivier.kotchi@scg.ulaval.ca

Mots clés: agrométéorologie, thermographie infrarouge, agriculture de précision, stress hydrique, paramètres biophysiques, variables écophysiologicals

Abstract: The paper presents the method for ecophysiological research of hydrological stress and essential biophysical parameters with the use of infrared thermometer. The method was tested on the example of the potatoes.

Introduction

La gestion de l'eau se trouve au centre de plusieurs débats internationaux. L'eau est de près ou de loin reliée à plusieurs enjeux économiques et environnementaux. L'irrigation des cultures, la pollution de la nappe phréatique, la sécheresse, les feux de forêt, les érosions, etc, sont autant de phénomènes qui requièrent aujourd'hui une attention particulière, et qui relancent sans cesse le débat sur l'eau.

L'insuffisance d'eau ou déficit hydrique est synonyme de baisse de rendement pour les végétaux de grande culture tel que la pomme de terre; dès lors pour rentabiliser les productions, l'irrigation devient une solution préconisée dans les régions où la pluviométrie est insuffisante ou aléatoire. Des auteurs mentionnent l'importance de l'irrigation dans la culture de la pomme de terre au Québec (Dubé et Rochette, 1985). Cependant l'irrigation requiert d'appliquer la quantité d'eau dont la plante a besoin pour éviter le lessivage des fertilisants et pesticides pouvant contaminer la nappe phréatique. Ce besoin de dosage contrôlé est maintenant pris en compte par l'agriculture de précision, qui vise à ajuster les pratiques agricoles aux propriétés du sol et aux besoins des végétaux qui sont variables à l'intérieur des champs (Viau, 2000).

Les avantages qu'offrent les mesures optiques et thermiques pour l'agriculture de précision sont multiples. De l'estimation du rendement des cultures à la détection de stress, l'information issue des capteurs spectraux a fait l'objet de plusieurs études portant sur la caractérisation de l'état des surfaces agricoles et des cultures. Dans cette vision globale, la réponse thermique des végétaux sous différentes conditions hydriques est une voie de recherche fortement exploitée, en vu du suivi de l'irrigation et la prévention des conditions de sécheresse.

La mesure directe des variables écophysiologicals (conductance stomatique, activité photosynthétique) pour la connaissance de l'état hydrique de la plante est délicate à mettre en œuvre (Luquet, 2002). Différentes méthodes ont été utilisées pour estimer le bilan hydrique d'une culture et l'utilisation de la thermographie infrarouge thermique semble offrir des voies prometteuses. Elle présente l'avantage de la rapidité et de la facilité d'acquisition, nécessaire pour un diagnostic hydrique intra-parcellaire. Elle va permettre le développement de plusieurs indicateurs de stress hydriques basés sur la relation qui existe entre les propriétés optiques et la température des plantes et leur état hydrique. Cette étude vise à développer un outil diagnostic pour la détection précoce et la prévention du stress hydrique chez la pomme de terre, par la mise au point d'un indicateur de l'état hydrique directement accessible par thermographie infrarouge.

Méthode

Les expériences se sont déroulées en serre sur des cultures de pomme de terre (les variétés *highlite* et *chieftain*) sur le site de l'Université Laval du 06 février au 22 mai 2003. Ils consistaient dans un premier temps à induire une contrainte hydrique par un arrêt total de l'apport en eau à différents stades de développement de la culture. Dans un second temps plusieurs niveaux de contrainte hydrique ont été induits à un même stade de croissance. Des plants servants de témoins ont été normalement irrigués tout au long de l'expérience.

L'étude est menée dans une approche systémique (Fig. 1) qui vise à caractériser les variables d'état du système sol-végétation-atmosphère (SVAT). Les mesures de la température foliaire par thermographie infrarouge ont été effectuées à plusieurs niveaux d'échelle (feuille, plante, bloc de plants) et dans plusieurs angles de visée avec la camera infrarouge thermique *Thermacam SC 2000* de la compagnie FLIR system. Ces mesures ont été prises au même moment que les mesures de l'humidité du sol et les données de la station météorologique de la serre. Ainsi la caractérisation du système SVAT est effectuée par le suivi et la mesure directe des conditions d'état du sol (température et humidité), de la plante (photosynthèse, taux de chlorophylle, température foliaire, surface foliaire) et de l'atmosphère (température de l'air, humidité relative de l'air). En plus de la radiothermométrie, des données de reflectance dans le visible, le proche infrarouge et le moyen infrarouge ont été mesurées avec un spectroradiomètre ASD.

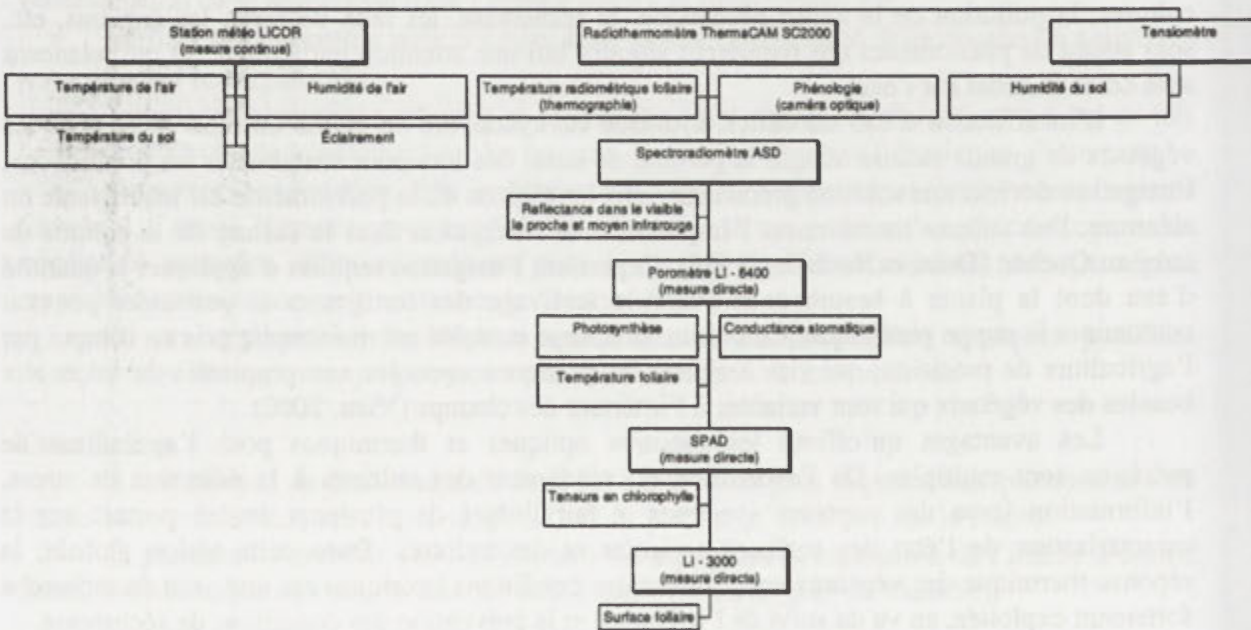


Fig. 1. Protocole de mesure

Résultats

Les résultats préliminaires de l'étude montrent que la température foliaire mesurée par thermographie infrarouge présente une forte potentialité de discrimination du stress hydrique chez la pomme de terre (Fig. 3). Ils confirment par ailleurs que la différence de température entre la couverture végétale et l'air est un indicateur du déficit hydrique chez la plante (Fig. 2).

Cependant plusieurs autres paramètres tels que l'humidité de l'air influencent la réaction de la plante face au manque d'eau. Ce qui nous amène à rechercher un indicateur qui tienne compte de ces variables.

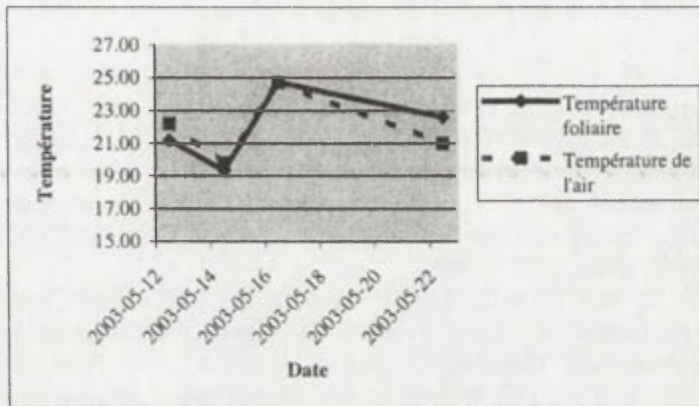


Fig. 2. Évolution de la température foliaire d'une plante par rapport à la température de l'air après l'arrêt de l'apport en eau

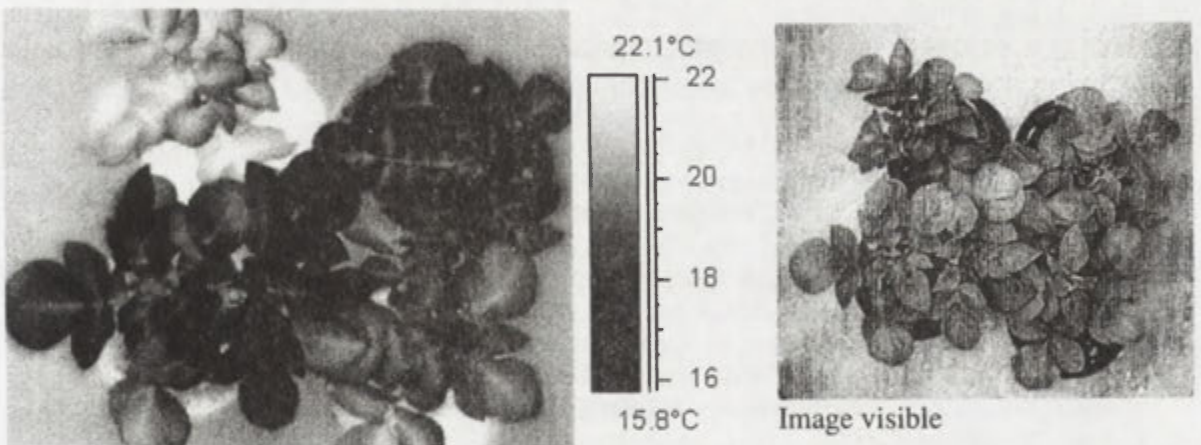


Fig. 3. Thermographie d'un couvert de plants de pomme de terre composée de plants témoins (apport en eau non limité) et de plants en état de stress hydrique (plants moins foncés sur la thermographie)

Conclusion

Plusieurs indicateurs de stress hydriques ont été développés pour cartographier des états de sécheresse et aider au pilotage de l'irrigation. Certains, rapide et facile d'utilisation, servent à quantifier des états de stress à grandes échelles (moyenne saisonnière). Par contre d'autres plus complexes, tentent de prendre en compte les paramètres environnementaux et biophysiques qui contrôlent le bilan hydrique de la végétation.

L'exploitation des propriétés thermiques des couverts végétaux à partir de la télédétection infrarouge thermique à travers des capteurs imageurs embarqués présente l'avantage de la détection précoce, de la haute résolution spatiale et temporelle, ainsi que la mise en place d'un outil diagnostique de gestion de stress applicable en agriculture de précision.

Bibliographie

- CAMPBELL, G. S. et NORMAN, J. M., 1990, Estimation of plant water status from canopy temperature: and analysis of the inverse problem. [Dans:] *Applications of remote sensing in agriculture*: 255-271. Butterworths, London.
- GAUSSORGUES, G., 1999, *La thermographie infrarouge: principes, technologies, applications*. Éditions TEC & DOC – Paris.
- HAMLIN, G., JONES, 1999, Use of infrared thermometry for estimation of stomatal conductance as a possible aid to irrigation scheduling. *Agricultural and forest meteorology*. 95: 139-149.
- JACKSON, R. D., IDSO, S. B., REGINATO, R. J. et PINTER, P. J., 1981, Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water Resource Research*, 17: 1133-1138.
- KACIRA, M., LING, P.P. et SHORT, T.H., 2002, *Establishing crop water stress index (CWSI) threshold values for early, non-contact detection of plant water stress*. TRANSACTIONS OF THE ASAE. Volume 45, no. 3, MAY-JUN, : 775 – 780
- KARAM, F., BREJDOV, J., ROUPHAEL, J. et LAHOUD, R., 2002, Stress hydrique. Comportement physiologique et rendement du maïs hybride au Liban. *Cahier d'études et de recherches francophones/Agriculture*. Vol. 11, no 4.
- LUQUET, D., 2002, *Suivie de l'état hydrique des plantes par infrarouge thermique – analyse expérimentale et modélisation 3D de la variabilité des températures au sein d'une culture en rang de cotonniers*. Thèse de doctorat, Institut National Agronomique Paris-Garignon.
- MORAN, M.S., CLARKE, T.R., INOUE, Y. et VIDAL, A., 1994b, Estimating crop water deficit using the relation between surface-air temperature and spectral vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, 49 : 246-263.
- MORAN, M.S., PINTER, jr. P.J., CLOTHIER, B.E. et ALLEN, S.G., 1989, Effect of water stress on the canopy architecture and spectral indices of irrigated alfalfa. *Remote Sensing of Environment* 29, no.3 (1989) : 251-261.
- NIEMEYER, S., VOGT, J.V., SOMMA, F., BEAUDIN, I. et VIAU, A.A., 2000, Drought monitoring from space. *Advanced in natural and technological hazards research*. Vol. 14.
- STARK, J.C. et WRIGHT, J.L., 1985, Relationship between foliage temperature and water stress in potatoes. *American potato journal*, Feb 1985. v. 62 (2) : 57-68.
- TSE BI TRA DARIUS, 1999, *Mesure de l'évapotranspiration réelle et des coefficients culturaux dans la culture de la pomme de terre à l'aide de lysimètre drainant*. Thèse de mémoire. Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Université Laval.
- VIAU, A.A., 2000, *La géomatique et la collecte des données en agriculture*. Premier colloque sur la géomatique agricole et l'agriculture de précision. De l'espace à la terre: toute une technologie. Québec, 23 et 24 mars 2000.

ETUDE DE LA DYNAMIQUE DES BROUILLARDS COTIERS DANS LE SUD MAROCAIN (29°N) A L'AIDE D'IMAGES NOAA-AVHRR

Laurent WAHL

Département de Géographie

23, Boulevard Albert 1^{er} 54 015 Nancy, France

laurent.wahl@wanadoo.fr

Mots clés: brouillard, stratus bas, télédétection, Maroc

Abstract: The Southern part of Morocco (region of Agadir and Goulimine) is affected by fog and low stratus during the summer in relation with the up welling at the Atlantic Sea. The using of NOAA-AVHRR satellite pictures help us to analyse and cartography the spatial extension or the fog. The coast between Agadir and the cape Juby is particularly affected by fog and low stratus, which can persist all the day.

Introduction

La région du Sud-Ouest Marocain connaît des conditions climatiques originales du fait de la présence de reliefs assez élevés (Haut-Atlas et Anti-Atlas) et de la proximité de l'océan Atlantique qui tend à atténuer les excès de températures compte tenu de l'existence de remontées d'eau froide (upwelling). D'après les études menées par Attilah en 1991, ces remontées sont particulièrement marquées entre Essaouira (31 Lat. N) et le Cap Juby (28 lat. N). Ce phénomène d'upwelling confère au littoral et ses environs immédiats une ambiance climatique particulière qui se rapproche du climat de type Péruvien (Viers, 1971). Cette ambiance, parfois assez humide, s'accompagne fréquemment d'entrées maritimes sous la forme de brouillards et de stratus bas qui se produisent surtout durant le semestre chaud (Delannoy 1980) ; période où le contraste thermique entre l'océan et l'intérieur du continent est maximal. Ces entrées maritimes favorisent le développement d'une espèce végétale particulière: l'arganier.

Les objectifs recherchés, consistent à étudier l'extension spatiale de ces entrées maritimes à l'aide d'images satellites NOAA-AVHRR et à comprendre leur dynamique à partir de paramètres climatiques usuels (température, humidité relative, direction et force du vent...).

Méthode

Cette étude a été réalisée à partir d'un échantillon de 185 images-satellites NOAA-AVHRR sélectionnées entre mai 2000 et septembre 2002 sur le site Internet du GSTS (Groupement Scientifique de Télédétection Spatiale). La résolution de ces images, de l'ordre du kilomètre, est jugée satisfaisante pour faire ressortir des nuances locales significatives tributaires du relief et de l'occupation du sol. Grâce aux images prises le matin et l'après-midi nous avons pu réaliser une cartographie spatio-temporelle montrant l'évolution de ces formation nuageuses.

Au sein de la zone d'étude considérée, nous avons pris 19 points de repères (cf. figure 1). Ces derniers correspondent à des sites particuliers comme un cap (Cap Rhir), une embouchure d'oued (Foum Assaka) ou une ville (Agadir, Tiznit). Des fréquences d'occurrences ont été calculées pour chaque point selon les différentes sommes obtenues (absence=0, présence=1) par rapport au nombre total de cas retenus.

Chaque image a été couplée avec des données climatologiques issues du radiosondage d'Agadir-Almassira afin de déterminer le flux présent au sol et en altitude (niveaux 850 et

500 hPa). Certains épisodes pluri-journaliers de persistance accru du brouillard ont fait l'objet d'une analyse particulière. Nous prendrons comme exemple de la journée du 16 mai 2002.

Résultats

FREQUENCES D'APPARITION DES BROUILLARDS ET STRATUS BAS COTIERS DANS LE SUD-MAROCAIN D' ESSAOUIRA A LAAYOUNE (les pourcentages ont été calculés à partir d'un échantillon de 185 scènes)

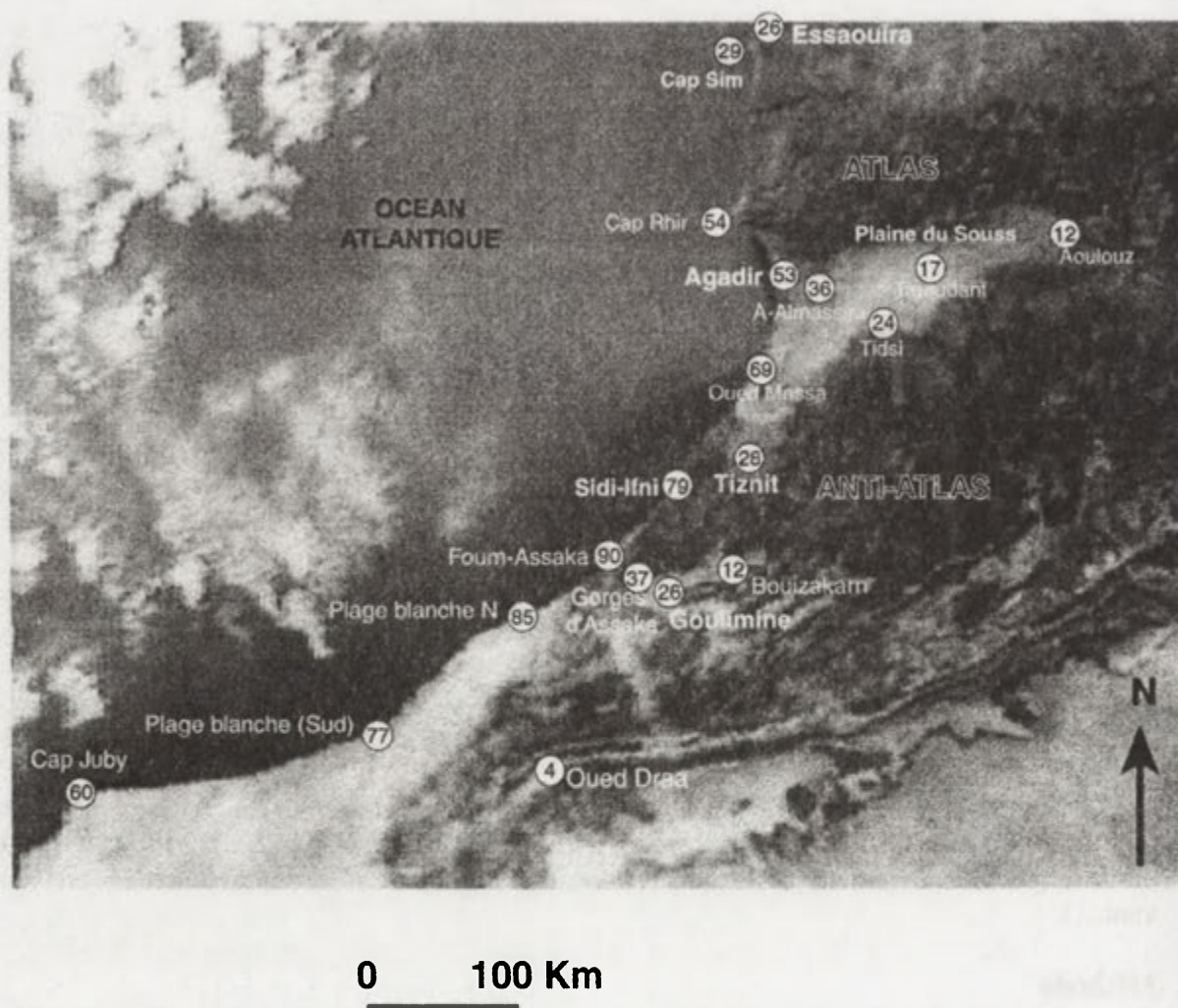


Fig. 1. Fréquences d'occurrence des entrées maritimes dans le SW du Maroc

Les résultats obtenus (cf. figure 1) montrent une répartition assez contrastée avec des fréquences d'occurrence extrêmement élevées au niveau de la zone littorale comprise entre l'Oued Massa et Plage Blanche (*fréquences supérieures à 75%*). L'exutoire de l'Oued-Assaka (Foug-Assaka) étant particulièrement touché par ces entrées maritimes avec une fréquence de 90% par rapport à l'ensemble des cas étudiés. La région d'Essaouira semble être moins affectée que le reste du littoral.

Les régions situées plus à l'intérieur comme la plaine du Souss ou la région de Goulimine sont en revanche beaucoup moins affectées avec des fréquences d'occurrence de l'ordre de 17% à Taroudant et 26% à Goulimine. Ces fréquences tendent encore à diminuer vers l'amont des bassins-versants (12% du côté de Bouizakarn et d'Aoulouz).

Il semblerait que l'Anti-Atlas forme une barrière climatique réduisant fortement les entrées maritimes et ce dès le niveau des gorges d'Assaka (cf. figure n°2).

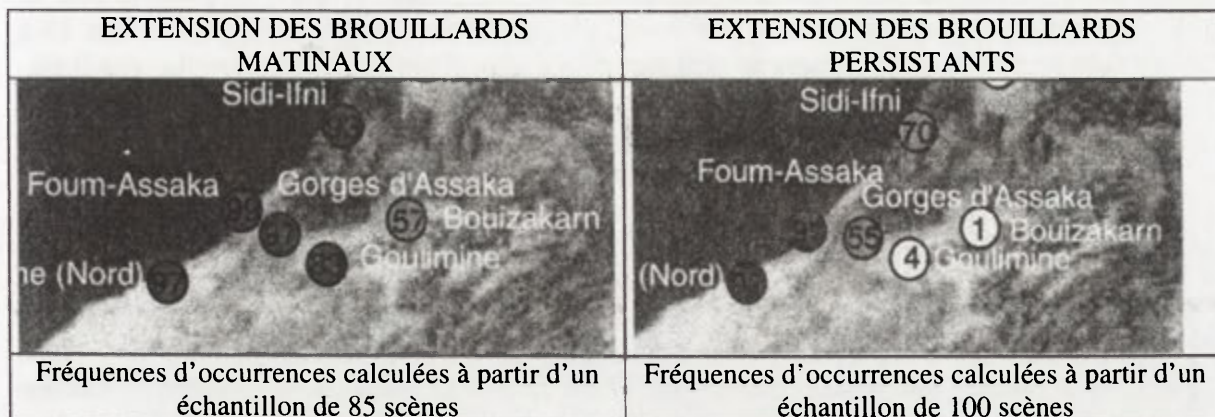


Fig. 2. Evolution diurne des brouillards et stratus bas sur le bassin-versant de l'Oued-Assaka (région de Goulimine)

Durant la matinée, l'ensemble du bassin versant de l'Oued Assaka est affecté par ces entrées maritimes avec des fréquences qui s'échelonnent entre 99% à l'exutoire et 57% à Bouizakarn. Au cours de l'après-midi, on assiste à une dissipation relativement rapide des strato-cumulus dans le bassin de Goulimine avec des fréquences qui restent inférieures à 5% contre 55% au niveau des gorges d'Assaka et 91% à Foum-Assaka. En aval des gorges d'Assaka, il s'agit de formations nuageuses persistantes qui limitent la remontée diurne des températures. Des amplitudes thermiques journalières inférieures à 2°C peuvent parfois être observées à cette station durant la période estivale. Ces formations nuageuses sont sujettes à une forte évolution diurne dans la partie médiane du bassin de l'oued-Assaka.

Ces advections maritimes semblent jouer un rôle non négligeable au niveau de l'aire d'extension de certaines espèces végétales, compte tenu d'un apport en humidité suffisant sous la forme de gouttelettes en suspension ou de bruines locales pouvant donner des cumuls de l'ordre de 1 à 3 mm en l'espace de 24 heures.

Tableau 1. Paramètres climatiques observés durant la journée du 16 mai 2003

	0H	2H	4H	6H	8H	10H	12H	14H	16H	18H	20H	22H
T°C	18°C	19°C	18°C	16°C	16°C	16°C	23°C	23°C	23°C	20°C	18°C	18°C
Hum Relative	84%	85%	80%	100%	100%	100%	69%	70%	70%	87%	95%	95%
Visibilité horizontale (en km)	8km	/	/	0,8km	/	/	6km	/	/	5km	5km	5km
Base des nuages (en m)	2500	/	/	100	/	/	2500	/	/	200	180	180
Direction du vent	230	230	90	230	230	270	220	250	260	220	260	270
Vitesse du vent	1	1	2	1	1	2	4	4	3	3	3	3
Etat du-ciel	PN	PN	PN	BR	BR	BR	PN	PN	N	N	C	C

PN: Peu nuageux – BR: Brouillard – C: Couvert – N: Nuageux

L'analyse de l'évolution des paramètres climatiques observés le 16 mai 2002 au niveau de la station d'Agadir-Almassira permet de faire ressortir les points suivants:

- Les entrées maritimes apparaissent en fin de nuit sous la forme de brouillard réduisant la visibilité à moins d'un kilomètre. Le vent s'oriente au secteur SW en faiblissant avec des vitesses de 1 Beaufort. Avant leur apparition nous avons un vent de secteur E qui engendre une baisse temporaire de l'humidité relative.

- Malgré la hauteur élevée du soleil au-dessus de l'horizon, le brouillard ne tend à se dissiper qu'en fin de matinée. Cette phase de dissipation s'accompagne d'un renforcement du vent (de 2 à 4 degrés Beaufort) de secteur W à SW et d'une hausse de la température qui passe de +16°C à +23°C. Ce renforcement du vent pourrait être lié à la brise de mer qui engendre un brassage de l'air favorable à la dissipation du brouillard.
- Le ciel se couvre à nouveau en début de soirée suite à l'apparition de stratus bas dont la base se situe à 180m au-dessus du sol. Ces stratus bas sont associés aux entrées maritimes qui sont véhiculés par le vent d'Ouest.

Conclusion

Cette étude nous montre que les entrées maritimes peuvent pénétrer assez loin vers l'intérieur des terres en affectant la plaine du Souss et le bassin de Goulimine. Le littoral étant particulièrement affecté par ce type de formations nuageuses qui peuvent perdurer une bonne partie de la journée réduisant la durée d'insolation au niveau des stations touristiques comme Agadir. Elles apparaissent de préférence en fin de nuit et s'accompagnent d'un vent de secteur SW faible à modéré. Leur dissipation se produit généralement en début d'après-midi à la faveur d'un renforcement du vent de secteur W.

Bibliographie

- ATILLAH, A.,1993: *Les influences maritimes sur le climat du Maroc Atlantique central. Une analyse par télédétection spatiale*, thèse de doctorat, université Rennes 2.
- DELANNOY, H.,1980: Remarques sur les brouillards d'été dans quelques stations côtières du Maroc atlantique, *Revue la Méditerranée – tome 40 – N°4-1980 : 37-48*
- VIERS, G., 1971: *Eléments de climatologie*, Collection FAC, Fernand Nathan, Paris.

LES CONDITIONS SYNOPTIQUES DE L'APPARITION DES JOURS AVEC LES TYPES CARACTERISTIQUES DU TEMPS A TORUN

Miroslaw WIECŁAW.

*Institut de Géographie, Académie Charles Le Grand, Bydgoszcz
Mińska 15; 85-428 Bydgoszcz, Pologne*

Mots clés: temps très chaud, temps très froid, type de circulation, masses d'air, Toruń

Abstract: The papers present an analysis of extreme thermal conditions in Toruń (North Poland) from the point of view of air circulation. Specific types of circulation were defined as extreme hot or extreme cold.

Introduction: L'objectif de cet exposé est de définir les types de circulation atmosphérique et les genres de masses d'air qui décident de l'apparition des jours avec les types caractéristiques du temps à Toruń. En tant que temps caractéristique l'auteur a choisi le temps très chaud et le temps très froid. Les recherches concernent la période 1971-1995.

Méthode

Les jours avec différents types du temps très chaud et du temps très froid ont été différenciés conformément aux principes de classification des états du temps proposés par A. Wos (1999). Le type du temps chaud est caractérisé par la température moyenne d'air de vingt-quatre heures qui dépasse 25,0°C et les températures d'air minimale et maximale de vingt-quatre heures au-dessus de 0°C, en ce qui concerne les jours avec le temps très froid, la température d'air minimale et maximale est au-dessous de 0°C ou égale 0°C, et la température moyenne d'air de vingt-quatre heures est au-dessous de -15,0°C. En complément de la caractéristique du type du temps on définit le degré de nébulosité générale du ciel et la somme des précipitations atmosphériques de vingt-quatre heures. Dans le cas de la nébulosité A. Wos différencie:

- le temps ensoleillé ou la nébulosité partielle (la nébulosité moyenne de vingt-quatre heures inférieure ou égale à 20%),
- le temps nuageux (la nébulosité moyenne de vingt-quatre de 21 à 79%),
- le temps avec grande nébulosité (la nébulosité moyenne de vingt-quatre égale ou supérieure à 80%).

En ce qui concerne la quantité des précipitations, il différencie:

- le temps sans précipitations (la somme des précipitations en vingt-quatre heures inférieure à 0,1 mm),
- le temps avec précipitations (la somme des précipitations en vingt-quatre heures égale ou supérieure à 0,1 mm).

Il est possible de décrire chaque type du temps à l'aide de trois chiffres (dans le cas du temps très chaud - quatre) dont le premier (ou les deux premiers dans la description du temps très chaud) se rapporte à la température d'air, le deuxième à la nébulosité et le troisième aux précipitations. Des combinaisons différentes du degré de nébulosité et de précipitations permettent de distinguer 6 types du temps très chaud et 6 types du temps très froid. Les voilà:

- 3300 - le temps très chaud et ensoleillé ou avec nébulosité partielle sans précipitations,
- 3301 - le temps très chaud et ensoleillé ou avec nébulosité partielle avec précipitations,
- 3310 - le temps très chaud et nuageux sans précipitations,
- 3311 - le temps très chaud et nuageux avec précipitations,
- 3320 - le temps très chaud avec grande nébulosité sans précipitations,
- 3321 - le temps très chaud avec grande nébulosité et précipitations,
- 000 - le temps très froid et ensoleillé ou avec nébulosité partielle sans précipitations,
- 001 - le temps très froid et ensoleillé ou avec nébulosité partielle avec précipitations,
- 010 - le temps très froid et nuageux sans précipitations,
- 011 - le temps très froid et nuageux avec précipitations,

020 – le temps très froid avec grande nébulosité sans précipitations,

021 – le temps très froid avec grande nébulosité avec précipitations.

L'auteur a analysé l'apparition de telles journées dans différents types de circulation atmosphérique selon la classification de B. Osuchowska-Klein (1978, 1991) qui avait différencié:

A – circulation cyclonale d'ouest,

CB – circulation cyclonale de nord-ouest,

D – circulation cyclonale de sud-ouest,

B – circulation cyclonale de sud,

F – circulation cyclonale de sud-est,

C₂D – circulation anticyclonale d'ouest,

D₂C – circulation anticyclonale de sud-ouest et de sud,

G – circulation anticyclonale centrale,

E₂C – circulation anticyclonale de nord-ouest,

E₀ – circulation cyclonale de nord-est et d'est,

E – circulation anticyclonale de nord-est,

E₁ – circulation anticyclonale de sud-est et d'est,

BE – circulation de sud intermédiaire entre la circulation cyclonale et circulation anticyclonale,

X – type de circulation qui n'est pas similaire aux types standard présentés.

Dans le cas de l'étude de corrélation entre l'apparition des jours caractéristiques et les masses d'air, l'auteur a pris en considération la classification des masses d'air en: air arctique (AA), air polaire marin frais (APm), air polaire marin chaud (APmc), air polaire marin ancien (APma), air polaire continental (APc) et air tropical (AT). Dans le cas du changement de masses d'air au cours de la journée avec le type du temps étudié, on a attribué la moitié du cas à chaque type de masses d'air.

Résultats

Durant les vingt-cinq années étudiées il y a eu à Torun 41 jours avec le temps très chaud. Ce qui représente environ 0,5% de tous les jours pris ensemble. Le temps chaud ne s'est pas manifesté à Torun chaque année. Dans la période étudiée avec différents types tu temps très chaud on a observé pendant les 14 années – le plus, même 15 jours, et ce, en 1994. Parmi 41 jours avec le temps très chaud les plus nombreux étaient les jours avec le temps très chaud et nuageux sans précipitations (type 3310), on en a noté 18. Moins nombreux étaient les jours avec le temps très chaud et ensoleillé sans précipitations (type 3300), et aussi les jours avec le temps très chaud et nuageux avec précipitations (type 3311). On en a observé respectivement 12 et 9. On n'a pas pourtant noté les jours avec le temps très chaud avec grande nébulosité avec ou sans précipitations (type 3320 et 3321). Les jours avec le temps très chaud ont été observés au plus tôt dans la première décade de juin (Tabl. 1), par contre les derniers jours très chauds se sont manifestés dans la troisième décade d'août. Le plus grand nombre des jours avec différents types du temps très chaud a été noté dans la dernière décade de juillet et la première décade d'août, où l'on a noté au total 22 jours avec la température d'air moyenne de vingt-quatre heures au-dessus de 25,5°C.

Tableau 1. Le nombre de jours avec les types du temps chaud à Torun dans les années 1971-1995

Type du temps	Juin			Juillet			Août		
	I déc.	II déc.	III déc.	I déc.	II déc.	III déc.	I déc.	II déc.	III déc.
3300	2	-	-	1	2	4	-	3	-
3301	-	-	-	-	-	1	1	-	-
3310	-	-	-	2	4	4	6	1	1
3311	-	-	1	-	-	2	4	-	2
3320	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3321	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	2	-	1	3	6	11	11	4	3

Les jours avec différents types du temps très froid se sont manifestés, dans la période étudiée, encore plus rarement que les jours très chauds – on n'en a noté que 26, ce qui représente 0,3% de tous les jours pris ensemble. Le temps très froid n'a été observé que dans

les années 1971-1972, 1978-1979 et dans les années 1985-1987. L'an 1987 a été exceptionnel où il y a eu 12 jours avec la température d'air moyenne de vingt-quatre heures au-dessous de $-15,0^{\circ}\text{C}$. Parmi différents types du temps très froid on n'a pas observé la formation du temps très froid et ensoleillé avec précipitations, ainsi que du temps très froid avec grande nébulosité sans précipitations (type 001 et 002). On n'a noté que de 5 à 8 jours avec les autres types du temps très froid, et les jours les plus nombreux étaient les jours avec le temps très froid et ensoleillé sans précipitations (type 000). Les jours très froids ont été observés à Torun, au plus tôt, dans la troisième décennie de décembre (Tabl. 2), par contre les derniers jours avec le temps très froid se sont manifestés dans la deuxième décennie de février. Le plus grand nombre de jours avec différents types du temps très froid était caractéristique pour la deuxième et la troisième décennie de janvier – durant cette période il y a eu au total 17 jours de ce type, ce qui représente 65% des jours très froid au total.

Tableau 2. Le nombre des jours avec les types du temps très froid à Torun dans les années 1971-1995

Type du temps	Décembre			Janvier			Février		
	I déc.	II déc.	III déc.	I déc.	II déc.	III déc.	I déc.	II déc.	III déc.
000	-	-	-	2	3	1	-	2	-
001	-	-	-	-	-	-	-	-	-
010	-	-	-	1	3	1	2	-	-
011	-	-	-	4	1	-	1	-	-
020	-	-	-	-	-	-	-	-	-
021	-	-	2	1	2	-	-	-	-
Total	-	-	2	8	9	2	3	2	-

Il résulte du tableau 3 que c'est le type de circulation anticyclonale de nord-est (type E) qui décide principalement de l'apparition du temps très chaud. Durant une telle situation synoptique on a noté 10 jours très chauds. Le type de circulation anticyclonale de sud-est et d'est (type E₁), le type de circulation cyclonale de sud-ouest (type D), et le type de circulation anticyclonale de sud-ouest et de sud (D₂C) ont eu 4 jours du temps très chaud chacun. Il ne faut pas oublier que le temps très chaud s'est formé neuf fois dans la situation où le type de circulation qui n'est pas similaire aux types standard (type X).

L'apparition des jours avec le temps très froid est étroitement liée à la circulation anticyclonale de nord-est (type E) et à la circulation cyclonale de nord-est et d'est (type E₀). Pendant la manifestation des types de circulation atmosphérique cités, on a observé même 19 jours avec différents types du temps très froid. On a noté sporadiquement de tels jours avec la circulation anticyclonale centrale (type G), avec la circulation anticyclonale de sud-est et d'est (type E₁), avec la circulation anticyclonale de nord-ouest (E₂C) et la circulation cyclonale de sud-est (type F). Les autres types de circulation ne favorisent pas la formation de telles conditions météorologiques.

Tableau 3. Le nombre des jours avec les types du temps très chaud et du temps très froid dans différents types de circulation atmosphérique à Torun. Les données pour les années 1971-1995

Type du temps	Type de circulation													
	A	CB	D	B	F	C ₂ D	D ₂ C	G	E ₂ C	E ₀	E	E ₁	BE	X
3300	-	-	-	-	-	-	2	1	-	-	6	1	-	2
3301	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-
3310	1	1	3	1	-	-	-	1	-	-	4	2	1	4
3311	2	-	1	-	-	-	1	-	1	-	-	1	-	3
3320	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3321	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	3	1	4	1	-	-	4	2	1	-	10	4	2	9
000	-	-	-	-	-	-	-	-	1	3	2	2	-	-
001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
010	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	5	-	-	-
011	-	-	-	-	-	-	-	2	-	3	1	-	-	-
020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
021	-	-	-	-	1	-	-	-	-	2	2	-	-	-
Total	-	-	-	-	1	-	-	3	1	9	10	2	-	-

Les relations entre le genre de masse d'air et la formation des types caractéristiques du temps sont présentées dans le tableau 4. Comme on peut le remarquer, les jours avec le temps très chaud apparaissent d'habitude pendant l'advection de l'air tropical, où l'on a noté 17 jours de ce type. Les cas d'apparition des jours avec le temps très chaud, durant la présence de l'air polaire continental, ont été aussi très nombreux (13 jours). Le temps très chaud a été observé relativement rarement dans différents genres d'air polaire marin. Par contre, on n'a pas du tout noté de jours très chauds dans la masse d'air arctique venant en Pologne de latitudes plus hautes. Il faut souligner que dans la masse d'air polaire continental il y a essentiellement des jours avec le temps très chaud et ensoleillé sans précipitations (type 3300), en revanche avec l'air tropical est lié d'habitude le temps très chaud, couvert avec ou sans précipitations (type 3310 et 3311).

L'apparition des jours avec le temps très froid est conditionnée exclusivement par l'advection d'air polaire continental et d'air arctique. Aussi bien dans l'une que dans l'autre masse d'air, apparaissent différents types du temps très froid (excepté le type 001 et 020), cependant dans la masse d'air polaire continental il y a eu moins de cas de formation du temps très froid avec grande nébulosité avec précipitations (type 021).

Tableau 4. Le nombre des jours avec les types du temps très chaud et du temps très froid dans différentes masses d'air à Torun. Les données pour les années 1971-1995

Type du temps	Masse d'air					
	AP	APm	APmc	APma	APc	AT
3300	-	0,5	1	-	7,5	4
3301	-	0,5	0,5	-	-	1
3310	-	1	3	1	5,5	7,5
3311	-	2	0,5	1	-	4,5
3320	-	-	-	-	-	-
3321	-	-	-	-	-	-
Total	-	4	5	2	13	17
000	3	-	-	0,5	4,5	-
001	-	-	-	-	-	-
010	3	-	-	-	4	-
011	2	-	-	-	4	-
020	-	-	-	-	-	-
021	3	-	-	-	2	-
Total	11	-	-	0,5	14,5	-

Conclusions

L'analyse des données pour les années 1971-1995 prouve que les jours avec le temps très chaud et avec le temps très froid apparaissent à Torun très rarement, et même pas chaque année. Le temps très chaud peut se former pendant la période dès le début de juin jusqu'à la fin d'août, et le plus grand nombre des jours très chauds est caractéristique pour la dernière décennie de juillet et la première décennie d'août. En revanche, les jours avec le temps très froid peuvent apparaître de la dernière décennie de décembre jusqu'à la deuxième décennie de février, et on observe le plus grand nombre de ce type des jours pendant la première et la deuxième décennie de janvier.

Le temps très chaud se forme généralement avec les types de circulation désignés par les symboles: E, E₁, D, D₂C, X, et ce, pendant l'advection d'air tropical ou d'air polaire continental. Cependant l'apparition du temps très froid est dans la plupart de cas liée à la circulation anticyclonale de nord-est (type E) et la circulation cyclonale de nord-est et d'est (type E₀), qui conditionne l'arrivée de l'air polaire continental et de l'air arctique.

Bibliographie

- OSUCHOWSKA-KLEIN, B., 1978: *Katalog typów cyrkulacji atmosferycznej*. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- OSUCHOWSKA-KLEIN, B., 1991: *Katalog typów cyrkulacji atmosferycznej (1976-1990)*. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa.
- WOŚ, A., 1999: *Klimat Polski*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

CONDITIONS BIOCLIMATIQUES DES CHAMBRES SOUTERRAINES DE TRAITEMENT CURATIF DANS LES MINES DE SEL EN POLOGNE

*Jakub WOJKOWSKI, Barbara OLECHNOWICZ-BOBROWSKA
Université Agricole de Cracovie, al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków, Pologne*

Mot clés: bioclimat souterrain, Wieliczka

Abstract: The papers presents the results of bioclimatic research carried out in the salt mine in Wieliczka in the vicinity of Cracow. On the two levels (221 and 260 m under the ground) we have measured air temperature and humidity, air pressure and the velocity of air movement.

Introduction

Les mines souterraines de sel en Pologne à Bochnia et à Wieliczka (la région de Cracovie) qui étaient exploitées depuis le XII-ème siècle, présentent actuellement un monument historique classé attirant chaque année des milliers de touristes. Ses chambres souterraines sont aussi utilisées pour les buts thérapeutiques, grâce à leur microclimat spécifique et unique, très favorable pour le traitement curatif, et surtout le traitement des maladies des organes respiratoires. Cette activité médicale dans la mine de Wieliczka date de loin et notamment de la moitié du XIX-ème siècle, quand on a constaté que l'ambiance y régnant favorise d'une manière remarquable l'amélioration de l'état de santé des personnes souffrantes y séjournant. Il y a déjà 40 ans qu'on a établi, d'une manière professionnelle, la „subterraneotherapie” dans les chambres situées même quelques centaines de mètres au dessous de la surface.

Méthode

La présente étude rentre dans le cadre de cette particularité microclimatique de chambres de cure mentionnées. Elle porte sur l'évolution annuelle des conditions bioclimatiques. Jusqu'à présent ces problèmes ont été étudiés d'une manière accidentelle. Une connaissance plus approfondie de ces conditions et de leur variabilité peut être très utile dans le choix par les médecins du traitement curatif le plus convenable.

Notre étude a été effectuée pendant la période de l'octobre 2001 jusqu'au septembre 2002. Elle concernait à Bochnia la chambre „Wazyn” située 260 m au dessous de la surface, et deux chambres souterraines („Lill” et „Skulimowski”) à Wieliczka, situées à 221 m au dessous de la surface. Aux plusieurs points fixes des ces chambres on a mesuré la température et l'humidité de l'air, la pression atmosphérique et la vitesse du vent (ou plutôt du mouvement de l'air), simultanément avec les mesures de même genre effectuées à la surface. Tous ces mesures ont été faites au milieu de chaque mois de la période considérée.

Résultats

La vitesse de l'air traversant les chambres souterraines est très limitée. Pendant toute la période de recherche cette vitesse était comprise dans l'intervalle de 0,2 à 0,6 m s⁻¹, et sa valeur moyenne s'éleva à 0,2 m s⁻¹ dans la mine de Wieliczka et 0,4 m s⁻¹ à Bochnia.

Nous avons constaté que la différence moyenne de la pression atmosphérique entre les chambres souterraines et la surface a fait environ 23 hPa. Une augmentation de la pression avec la profondeur peut être considérée comme phénomène positif – en tant que stimulant climatique provoquant le relèvement de la pression partielle d'oxygène, et en conséquence une meilleure absorption de ce gaz par le sang.

A partir des données recueillies on a pu constater une très grande stabilité des conditions thermiques. L'amplitude annuelle de la température de l'air dans la mine de

Bochnia a fait 3,7°C et dans les chambres de Wieliczka seulement 0,7°C, tandis que cette amplitude moyenne annuelle à la surface atteint 21,0°C à Bochnia et 20,8°C à Wieliczka.

La variation annuelle de l'humidité de l'air dans les mines a été plus prononcée que celle de la température. L'humidité relative changeait entre 46% en hiver et 75% en été – ce changement saisonnier ne dépassa pas 28% dans toutes les deux mines. La moyenne annuelle y a fait 62% avec 79% à la surface. A partir de l'avril et jusqu'au septembre l'air affluant était plus chaud et contenait plus de la vapeur d'eau que l'air d'échappement. On a alors observé la condensation de la vapeur d'eau simultanément avec l'augmentation de la température de l'air extérieur. Pendant la saison d'hiver nous avons observé une nette transformation de l'air traversant les chambres souterraines: il se chauffait et son humidité diminuait.

Pour évaluer les conditions thermiques ressenties nous avons calculé les valeurs de trois indices biométéorologiques, et notamment: du pouvoir réfrigérant, de la température effective et de l'indice du confort thermique.

Les valeurs moyennes du pouvoir réfrigérant étaient proches dans les deux mines: 8,9 $\text{mcal cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ à Bochnia et 8,7 $\text{mcal cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ à Wieliczka. Pendant toute l'année cet indice était compris dans l'intervalle entre 7,9 et 10,0 $\text{mcal cm}^{-2} \text{s}^{-1}$, étant donc supérieur à ses valeurs optimales (5–8 $\text{mcal cm}^{-2} \text{s}^{-1}$), ce qui provoquait la sensation de froideur.

L'indice du confort thermique oscillait entre 1,2 et 2,2 $^{\circ}\text{C cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ en atteignant en moyenne 1,8 et 1,6 $^{\circ}\text{C cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ dans chaque de deux mines. Pareillement au pouvoir réfrigérant, les valeurs de cet indice étaient contenues hors de la classe optimale, en causant la même sensation de fraîcheur.

La température effective était peu différenciée à Wieliczka (12,5–13,4°C) et plus variable à Bochnia. Cette température effective à Wieliczka était en moyenne inférieure de 4,1°C à la limite basse du confort thermique de l'homme normalement vêtu, et de 8,1°C de l'homme mi-vêtu. A Bochnia ces différences étaient moins accentuées: 2,6 et 6,6°C réciproquement.

Conclusions

Les conditions microclimatiques dans les chambres de traitement curatif de deux mines peuvent être considérées comme positives, en tenant compte de leur grande stabilité, malgré la température relativement basse et l'humidité de l'air assez élevée mais peu variable. La pression atmosphérique, augmentée par rapport à l'air libre de surface, ainsi qu'un stable mouvement de l'air assurant son changement permanent, forment des stimulants climatiques additionnels.

Le traitement curatif dans les chambres de mines de Bochnia et de Wieliczka a gagné de succès depuis déjà un certain temps. Il est aussi important sur le plan économique, parce que l'extraction du sel a été abandonnée, et la „subterraneo-thérapie”, avec l'activité liée au tourisme et à la récréation, peuvent se développer en tant que forme alternative de l'emploi de la population.

LE MILIEU „OXYGENO-THERMIQUE” COMME L’INSTRUMENT D’EVALUATION DE VARIABILITÉ DU TEMPS

Barbara WOJTACH

Institut de Météorologie et de Gestion en Eau

Podleśna 61, 00-673 Warszawa, Pologne

barbara.wojtach@imgw.pl

Mots clés: température effective, contenu de l’oxygène, variabilité du temps, norme biométéorologique

Abstract: The papers presents the methods for evaluation of thermal and oxygen conditions from the point of view of human biometeorology. The methods were applied on an example of Warsaw.

Introduction

La méthode présentée ci-dessous constitue l’effect de recherches biométéorologiques menées à l’Institut de Météorologie et Gestion en Eau (IMGE) depuis des années 60. Ce sont les résultats des études de la sensibilité thermique de population polonaise (Baranowska et al., 1976), qui ont indiqué l’adaptation au climat local comme facteur très important. C’est aussi la création de notion de “la norme biométéorologique” (Baranowska et Gabryl, 1981), au début défini comme l’intervalle $\pm 0.5 \sigma$ de variable (de l’indice biométéorologique) admise normal, puis, comme l’intervalle estimée autour de la mode de variable (Wojtach, 1984).

Toutefois, c’étaient les études de Baranowska (1973 –85) de statistiques d’accidents routiers de Varsovie en relation de facteurs biométéorologiques, qui sont principal pour la méthode présentée. Les résultats compris dans le schéma biométéorologique pour le trafic routier de Varsovie (Baranowska, 1991) sont appliqués dans les prévisions biométéorologiques. Dans son schéma, basant sur les situations synoptiques (systèmes bariques et passage de fronts), Baranowska a admis (Baranowska et Gabryl-Wojtach, 1985) suivantes variables: Tef – température effective de Missenard, Tl – le masse spécifique absolue d’oxygène de l’air humide, nommée comme “contenu de l’oxygène “ et $K\downarrow$ – la somme journalière de rayonnement total, comme les indices décrivant le milieu atmosphérique. L’indice de Tl avait été admis suivant le schéma biométéorologique d’Ovcarova (Ovcarova et al., 1974).

La besoin d’automatisation de prévisions biométéorologiques a provoqué des recherches des indices objectives et complexes. Pour chaque situation synoptique du schéma de Baranowska on a trouvé la meilleure combinaison à deux éléments des indices Tef, Tl et $K\downarrow$ (Baranowska et Gabryl-Wojtach, 1987), mais les limites de donnée d’entrée n’ont permis que d’admettre une combinaison – celle de Tef et Tl.

Méthode

Tableau 1. Les formules

$$Tef (^{\circ}C) = 37.0 - (37.0 - ta) / (0.68 - 0.0014rh + 1/(1.76 + 1.4\sqrt{0.75})) - ta \cdot 0.29(1 - rh/100)$$

$$Tl (g/m^3) = (6.704 p 1000 / (R(ta + 273.0))) (1 - e/p) = (80.51 p / (t + 273))(1 - e/p)$$

R = 83.1425 constante du gaz pour l’air

6,704 g – mass oxygène contenu dans 1 mol de l’air

$t_{efs} = (Tef - \mu_{Tef}) / \sigma_{Tef}$ c’est Tef standardisée à l’égard de normal horaire, journalière de Tef (μ_{Tef} , σ_{Tef})

$t_{ls} = (Tl - \mu_{Tl}) / \sigma_{Tl}$ c’est Tl standardisée à l’égard de normale horaire, journalière de Tl (μ_{Tl} , σ_{Tl})

Horaires observations de la température d’air (t_a $^{\circ}C$), de la pression de vapeur d’eau (e hPa), de l’humidité relative (rh %), de la vitesse du vent (v m/s) et de la pression atmosphérique à l’hauter de barmomètre (p hPa) constituent données d’entrée pour calculer température effective Tef ($^{\circ}C$) selon la formule de Missenard (1933) et

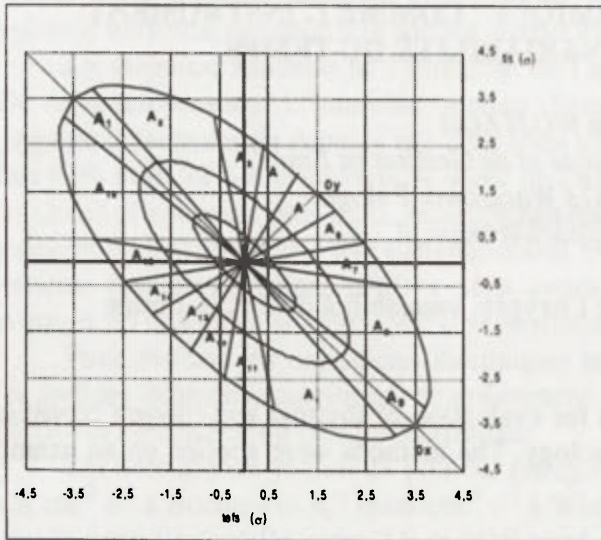


Fig. 1. Le milieu „oxygène-thermique” – la répartition conjointe de tefs et tls (Varsovie, 1966 – 1985, toutes les 24 GMT observations)

conjointe de (tefs, tls). Variable x caractérise l'écart de normales thermiques saisonniers de masses d'air.

Les valeurs de tefs et de tls, qui réalisent l'équation:

$$y = 0.707 (tefs + tls)$$

sont parallèles à l'axe longue de l'ellipse (Oy) de répartition conjointe de (tefs, tls). La variable

Tableau 2. Les types „A” du milieu oxygène-thermique

A	description	
A ₁	froid	le champ de pression pas défini, ou la zone de faible gradient, ou la zone de grande gradient avec l'advection de l'air froid tefs<0, tls>0; |tefs| = |tls|
A ₂	La zone de haute pression l'anticyclone	la zone de haute pression de l'air froid tefs<0, tls>0; |tefs| < |tls|
A ₃		la zone de haute pression de l'air froid; tefs=0, tls>0;
A ₄		la zone de haute pression de l'air froid: tefs>0, tls>0
A ₅		centre de l'anticyclone; confort thermique, beau temps; tefs>0, tls>0; |tefs| = |tls|
A ₆		centre de l'anticyclone; tefs>0, tls>0 ; |tefs| > |tls|
A ₇		la zone transitive (en forme de creux) vers l'aire chaud d'anticyclone ou centre de l'anticyclone; tefs>0, tls=0
A ₈		l'aire chaud d'anticyclone; tefs>0, tls<0; |tefs| > |tls|
A ₉	chaud	l'anticyclone, qui affaiblissent ou le système de pression pas défini, ou zone de faible gradient, ou zone de grande gradient avec l'advection de l'air chaud; tefs>0, tls<0; |tefs| = |tls|
A ₁₀	La dépression	le secteur chaud; tefs>0, tls<0; |tefs| < |tls|
A ₁₁		tefs=0, tls<0; |tefs| < |tls|
A ₁₂		tefs<0, tls<0; |tefs| < |tls|
A ₁₃		centre de la dépression ou proche cyclogenesis tefs<0, tls<0; |tefs| = |tls|
A ₁₄		la zone avant front froid tefs<0, tls=0; |tefs| > |tls|
A ₁₅		la zone du front froid tefs<0, tls=0; |tefs| > |tls|
A ₁₆		la zone après front froid, hausse de pression tefs<0, tls>0; |tefs| < |tls|

le mass oxygène contenu absolue dans l'unité de volume d'air humide TI (g/m^3) selon formule de Gocek (1973). Ensuite, horaires Tef et TI sont standardisées à l'égard de normales horaires, estimées pour chaque jour de l'année. Les valeurs standardisées sont nommées comme „tefs” et „tls”. Leur répartition conjointe (tefs, tls) de long série d'observations constitue la forme de l'ellipse (Fig. 1) dont l'axe longue nommée comme „Ox” réalise l'équation $tefs = - tls$. Les valeurs de tefs et de tls, qui réalisent l'équation:

$$x = 0.707 (tefs + tls)$$

constituent des lignes parallèles à l'axe courte de l'ellipse de répartition

y indique les zones de la haute et de la basse pression, du faible ou du grand gradient de pression atmosphérique. Le champ de l'ellipse de répartition conjointe de (tefs, tls), nommé comme „milieu oxygène-thermique” avait été différencié à l'aide de caractéristiques „A” et „es”. La première c'est le secteur d'ellipse, dont le pic est localisé dans le point (0,0). L'angle du secteur est calculé comme azimuth à l'égard de l'axe Ox négative. „A”, numéroté de 1 à 16, un azimuth, un secteur ou „le type du milieu oxygène-thermique” présente le rapport $tls/tefs$ (Tabl. 1). A = 17 représente l'entourage ($\pm 0.2 \sigma$) du point (0,0).

La deuxième, „es” applique l'ellipse centrale, $es=0$, la zone de valeurs concentrées autour de la mode en fréquence de 38.3% et l'écart de $es=0$, qui forment des anneaux elliptiques extérieurs: $es=1$ (48.3%), $es=2$ (13.4%). Les secteurs „A” présentent différentes conditions biométéorologiques (Fig. 2).

Resultats – appréciation de variabilité du temps

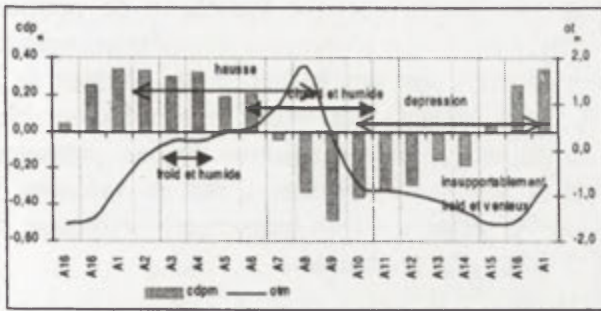


Fig. 2. Variabilité de sensation thermique moyenne (ot_m) (selon l'échelle à 7 degrés de Baranowska) et l'indice de variation de pression atm. pendant 24 heures (cdp_m) (Varsovie. 66-2000. 8 GMT)

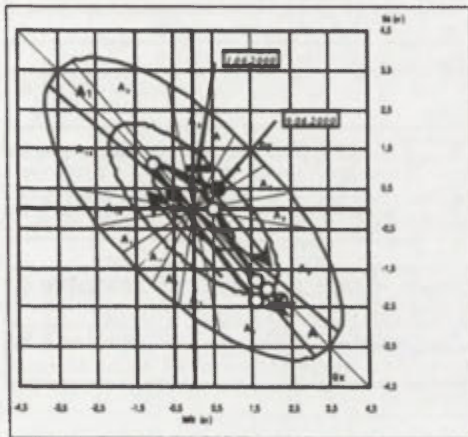


Fig. 3. Changement du temps (tefs, tls) pendant 9 jours à Varsovie, 1 - 9.06.2000, 12 GMT

Les changements du temps lesquelles avaient eu lieu pendant quelques jours à une station, observées sur l'ellipse du milieu oxygène-thermique, se présentent, le plus souvent, comme un cycle du mouvement des aiguilles d'une montre (fig.3). Ce cycle, l'un parmi les autres, ressemble à celui de phases du temps d'Ungeheur-Brezovsky (Ungeheur, 1955, Ungeheur, Brezovsky, 1965). L'évaluation de toutes processus biosynoptiques, qui peuvent être observés dans une station, c'est le but final des ceux études. Comme un essai on a construit une simple classification de changements du temps, basée sur combinaison de variation de la pression atm. (cdp) et une autre combinaison de x_{mq} et y_{mq} (Tabl. 3, Fig.4 et Tabl. 2). Dans une autre résumé élargi de ce volume on a appliqué des indices du milieu oxygène-thermique ci-dessus décrits à l'étude concernat d'infarctus aigu.

Tableau 4. Les indices moyennes quotidiennes x_{mq} – moyenne quotidienne de variable x de 8 GMT observations

y_{mq} – moyenne quotidienne de variable y de 8 GMT observations

Les variables ont été classifié en 3 classes:

< n, = n, > n, ou "n" c'est l'intervall des valeurs modales.

Pour y_{mq} "n" est nommé comme "0".

Tableau 3. Variation de la pression atm Δp – variation journalière (dès 6 GMT du matin jusqu'à 6 GMT du jour suivant) (hPa)

dp – la classe de dp

$dp = (dp_1, dp_2, dp_3, dp_4, dp_5)$

$dp_1 = -2$ pour $-10 \text{ hPa} < \Delta p$

$dp_2 = -1$ pour $-9 < \Delta p < -3 \text{ hPa}$

$dp_3 = 0$ pour $-2 < \Delta p < 2 \text{ hPa}$

$dp_3 = +1$ pour $3 < \Delta p < 9 \text{ hPa}$

$dp_3 = +2$ pour $\Delta p > 10 \text{ hPa}$

cdp – la classe de dp $cdp = (cdp_1, cdp_2, cdp_3)$

$cdp_1 = -1$ pour $-3 \text{ hPa} < \Delta p$

$cdp_2 = 0$ pour $-2 < \Delta p < 2 \text{ hPa}$

$cdp_3 = +1$ pour $\Delta p > 3 \text{ hPa}$

$e(cdp)$ – l'espérance mathématique de cdp

$e(cdp) = cdp_m = p(cdp_3) - p(cdp_2)$, où p est une probabilité

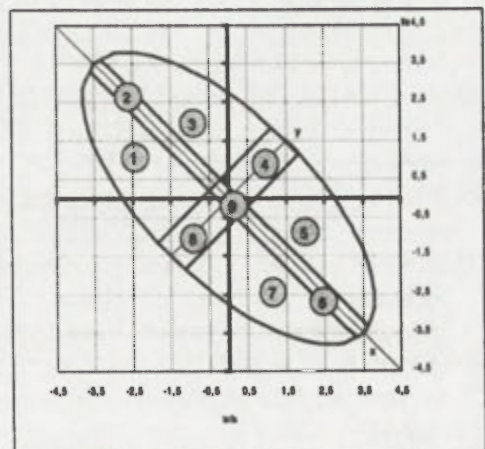


Fig. 4. Les codes de combinaisons x_{mq} et y_{mq}

Conclusions

Les changements du temps sont d'habitude associées avec variation de pression atmosphérique. Mais il y a peu de bien établis résultats de recherches biométéorologiques indiquant ce facteur comme causatif. Ça devient du fait, que des basses et des hausses de la pression sont dûes aux différents processus biosynoptiques: favorables et défavorables pour l'organisme humain. Ce sont les indices du milieu oxygène-thermique, lesquels permettent prendre à la fois 5 éléments météorologiques, liés par l'équation d'état et indiquer le processus biosynoptique. Discussion concernant la formule de la température effective de Missenard comme un indice valable dépasse les limites de ce résumé.

Tableau 5. Classification de changements du temps basée sur codes de xy

Les codes de xy			Probable changement du temps observée dans une localité pendant 24 heures
xy	x_{mn}	y_{mn}	
1	< n	< n	le passage probable du front froid, la plus grande partie de la journée en l'aire d'advection de masse d'air froid, derrière le front froid.
2	< n	= 0	en l'aire d'advection de masse d'air froid, la formation de la zone de haute pression
3	< n	> n	dans la plus grande partie de la journée, en l'air froid de la zone de haute pression
4	= n	> n	L'amélioration de temps vers les conditions favorables de l'anticyclone ou le changement de la masse d'air en air plus chaud ou dans la zone du front.
5	> n	> n	dans la plus grande partie de la journée en l'air chaud de la haute pression
6	> n	= 0	la disparition lente de la zone de la haute pression ou le passage à la dépression avec l'advection de masse de l'air chaud ou la zone du faible gradient ou l'advection de masse de l'air chaud dans la zone de grand gradient.
7	> n	< n	le secteur chaud de la dépression
8	= n	< n	la dépression, les masses de l'air typique pour la saison, le passage probable du front froid ou la présence probable du centre de la dépression
9	= n	= 0	Les masses de l'air typiques pour la saison, le changement de la zone de haute pression à la dépression

Bibliographie

- BARANOWSKA, M., 1991: *La modification du schème de prévision biométéorologique*. (polonais) Rapport de l'IMGE du groupe A-9.
- BARANOWSKA, M., BONIECKA-ŻÓŁCIK, H., GURBA, H., 1976: *L'échelle du climat sensible en Pologne*. (en polonais) Rapport de l'IMGE du problème 251.01.02.
- BARANOWSKA, M., GABRYL, B., 1981: Biometeorological norm as tolerance interval of man to weather stimuli. *Int. J. Biometeor.*, 25 (2): 123-126.
- BARANOWSKA, M. et GABRYL-WOJTACH, B., 1985: Meteorotropic determinants of road collisions and accidents. *Ann der Met.*, 22: 27-28.
- BARANOWSKA, M. et GABRYL-WOJTACH, B., 1987: Biometeorological warning system for municipal traffic safety. [Dans:] *Climate and Human Health*. World Climate Programme Applications (WCAP) no 1: 143-148.
- GOCEK, T., 1973: La nomogramme du masse oxygène contenu absolue d'air humide (g/m^3). (en polonais). *Probl. Uzdr.* 5: 153-165.
- MISSENARD, A., F., 1933: Température effective d'une atmosphère. Dans: *Etude physiologique et technique de la ventilation*. [Dans:] *Encyclopedie Industrielle et Commerciale*. Paris. Librairie de l'Enseignement Technique. Léon Eyroles.
- OVCAROVA, V.F, BUTIEVA, I.V. et ALIOSINA, T.P., 1974: *Prévision biométéorologique pour les services médical et prophylaxie de maladies météoropathologiques*. (en russe). *Vopr. Kurort.* 2: 109-119.
- UNGEHEUR, H., 1955: Ein meteorologischer Beitrag zu Grundproblemen der Medizin-Meteorologie. Bad Kissingen, *Berichte des Deutschen Wetterdiensts* No 16: 3-32.
- UNGEHEUR, H. et BREZOVSKY, H., 1965: Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit als indikatoren biosphärischer Akkordschwankungen. *Met. Rdsch.* 18, 120-123.
- WOJTACH, B., 1984: Construction de l'intervalle de la norme biométéorologique autour de la mode. (en polonais) Rapport de l'IMME du groupe 121.2.6.
- WOJTACH, B., 1995: *L'estimation de normes biométéorologiques de la température effective de Missenard et du contenu de l'oxygène pour les stations synoptiques de la Pologne*. (en polonais) Rapport de l'IMME du groupe M-1.4.

LES RELATIONS ENTRE LE NOMBRE JOURNALIER DES HOSPITALISATIONS PROVOQUÉES PAR L'INFARCTUS AIGÛ ET LE TEMPS

Barbara WOJTACH*, Jarosław KRÓL**, Stefan SAWICKI**, Anna MARTYNUSKA*

* Institut de Météorologie et de Gestion en Eau

Podleśna 61, 01-673 Warszawa, Pologne

barbara.wojtach@imgw.pl

** Chaire et Clinique de Cardiologie de IIe Section de l'Académie de Médecine

Kondratowicza. 8, 03-285 Warszawa, Pologne

Jarek.Krol@kardiosystem.com

Mots clés: l'infarctus, le temps, le milieu oxygène-thermique

Abstract: The paper presents the results of meteorological and clinical research dealing with infarct hospital admissions in Warsaw. Significant relationships were found.

L'introduction

Le but de ce travail est d'examiner les relations de titre dans les conditions climatiques de Pologne et en se servant de la méthode biométéorologique de l'appréciation du changement du temps, une méthode développée par l'IMGE, pour une journalière **prévision biométéorologique** pour laquelle les produits des modèles numériques constituent les données d'entrée. Le besoin des chercheurs s'est présenté de la part de la **Chaire et Clinique de Cardiologie de IIe Section de l'Académie de Médecine**, comme suite à une tâche menée par l'Association Scientifique des Etudiants. Le côté météorologique y a répondu volontairement. Les statistiques des cas cardiologiques aigus (ACE) – tel l'infarctus, l'aggravation de l'angine de poitrine, la fibrillation auriculaires, la tachycardie et d'autres – recueillis pendant 5 ans, sont l'objet des études biométéorologiques préparés à la publication dans les éditions de l'Institut (IMGE).

La méthode

2.1. Le modèle causatif. Le processus de la vérification des relations entre l'infarctus et le temps était effectué en se basant sur le modèle causatif, dans lequel on a supposé que l'infarctus est dû à la **combinaison de plusieurs causes**, y comprises celles de l'environnement, parmi lesquelles il y a le temps. On a admis 3 groupes des facteurs causatifs: les facteurs médicaux, extra-médicaux et météorologiques.

2.2 L'objet d'investigation. Il est constitué par le nombre journalier des hospitalisations à cause de l'infarctus aigu (x_{inf}), observés au Service des Soins Cardiologiques Urgents de l'Hôpital Bródnowski à Varsovie, durant les jours ouvrables, (dès 8 h du matin jusqu'à 8h du jour suivant du temps local). Les statistiques concernent la période de 5 ans, de 1996 à 2000, 711 des cas (x_{inf}) de 1158 jours ouvrables. Les statistiques décrivent la population stable de la partie nord-est de Varsovie, qui comprend environ 500000 habitants. On reconnaissait l'infarctus à partir des douleurs typiques, des changements dans l'électrocardiogramme et des résultats des examens biochimiques. La somme journalière des infarctus

Tableau 1. Symboles concernant l'objet des recherches

x_{inf} – le nombre journalier des hospitalisations à cause de l'infarctus aigu

x_{infmq} – la moyenne journalière des infarctus

y – classe de x_{inf} $y = (y_1, y_2, y_3)$

$y_1 = -1$ pour $x_{inf} = 0$ cas de l'infarctus

$y_2 = 0$ pour $x_{inf} = 1$ cas de l'infarctus

$y_3 = 1$ pour $x_{inf} \geq 2$ cas de l'infarctus

$e(y)$ – l'espérance mathématique de y

$e(y) = y_m = p(y_3) - p(y_2)$, probabilité

(x_{inf}) constitue la répartition selon loi de Poisson, avec une moyenne quotidienne du nombre des cas 0.61. Pour la variable d'examen on a pris y – la classe de la somme journalière des cas (Tabl. 1).

Tableau 1a. Résultats pour l'été (mai – septembre)

Niveau de risque	Caractéristique . Essai d'appréciation de la relation causative.
<p>A minimale n = 116 jours 27 %</p>	<p>Un risque minimale de l'infarctus grâce à l'absence de mauvaises influences au système thermo-régulateur et un bon effet sur l'état général de santé. L'environnement frais de la haute pression avec le contenu de l'oxygène au-dessus de la norme et en norme, sec ou avec l'humidité à la norme, avec une pression croissante CCD: A de haute pression, es=1 CJD: $t_{mq}=n$, $t_{smq}=n$, $x_{mq}=n$, $e_{mq}=n$, $t_{mq}<n$, $t_{smq}>n$, $x_{mq}<n$, $e_{mq}<n$, $ot_{mq}<n$, $y_{mq}>n$, $dp=0$, $dp=+1$</p>
<p>B moyen n = 163 jours 38 %</p>	<p>L'augmentation du risque des infarctus du minimal au moyen est dû à la fréquence augmentée du milieu chaud. Ce sont les cas du milieu chaud mais sec de la zone de haute pression ou du milieu chaud des zones de faible gradient, mais avec un léger contenu de vapeur dans l'air o du milieu chaud du secteur chaud de la dépression CCD:: A de haute pression, es=0 CJD: $x_{mq}=n$, $t_{smq}=n$, $y_{mq}=n$, $x_{mq}>n$, $ot_{mq}>n$, $t_{mq}>n$</p>
<p>C augmenté n = 39 jours 9 %</p>	<p>L'augmentation du risque des infarctus du moyen à l'augmenté vient des mauvais effets qu'exercent sur le système thermo-régulateur le milieu d'un froid extrême de la haute pression ou bien le milieu extrêmement chaud avec un contenu d'oxygène diminuée des zones de faible gradient ou d'un secteur chaud de la dépression. CCD: Défaut des composantes qui se distinguent. Le groupe est constitué par des milieu thermiques extrêmes CJD: $x_{mq}<n$, $x_{mq}>n$, $t_{smq}<n$, $y_{mq}<n$</p>
<p>D haut n = 111 jours 26 %</p>	<p>L'augmentation du risque de l'infarctus de l'augmenté à le haut est suite aux mauvais effets exercés sur le système thermo-régulateur par un milieu chaud ou extrêmement chaud avec un contenu d'oxygène diminuée, avec de la vapeur dans l'air ou bien par la transformation de zone de haute pression en dépression. CCD: A =9 (chaleur), A de la dépression, es=0, es=2 CJD: $x_{mq}=n$, $x_{mq}>n$, $t_{mq}>n$, $y_{mq}<n$, $e_{mq}>n$, $t_{smq}<n$</p>

CCD – Composantes de la combinaison qui se distinguent (l'été (A,es); l'hiver (xy,dp))

CJD – Caractéristiques journalières qui se distinguent

Tableau 1 b Résultats pour l'hiver (octobre – avril)

<p>A minimale n = 208 jours 28 %</p>	<p>Un risque minimale de l'infarctus est lié avec l'absence de mauvaises influences sur le système thermo-régulateur et un effet positif sur l'état général de santé. Prédomine une variabilité avec tendance à l'adoucissement du milieu thermique (l'amélioration du temps) du froid au typique saisonnier (froid dans la dépression avec pression atm. croissante ou dans la partie froide de la zone de haute pression) ou bien au plus confortable et chaud (le centre de la haute pression, la partie chaude de la haute pression). Les changements se laissent voir par la chute de la pression atm. . CCD: $y_{mq}>n$, $x_{mq}=n$, $x_{mq}>n$, $dp=-1$, $dp=-2$</p>
<p>B moyen n = 274 jours 38 %</p>	<p>L'augmentation du risque de l'infarctus du minimale au moyen peut être dû à la présence augmentée du milieu chaud de la dépression, au changement de la zone de haute pression à la dépression. Prédomine une variabilité de temps relationnée à l'advection des masses d'air chaud avec une dépression qui arrive et un passage des fronts. CCD: $x_{mq}=n$, $x_{mq}>n$, $y_{mq}=0$</p>
<p>C augmenté n = 190 jours 26 %</p>	<p>L'augmentation du risque de l'infarctus du moyen à l'augmenté est relationnée avec les influences défavorables au système thermo-régulateur par le fait d'un refroidissement dynamique ou bien par le milieu froid et humide de la haute pression en stagnation. Prédomine une variabilité de l'environnement avec tendance au refroidissement: le passage d'une dépression ou un creux avec le front froid et la formation de la zone de haute pression; un froid pénétrant, humide du milieu de la partie froide de la zone de haute pression . CCD: $dp=0$, $dp=+1$, $x_{mq}<n$, $y_{mq}>n$</p>
<p>D haut n = 57 jours 8 %</p>	<p>L'augmentation du risque de l'infarctus de l'augmenté à le haut est l'effet d'un refroidissement rapide qui n'est accompagné qu'avec brusque hausse de la pression. La variabilité du temps relationnée avec une advection dynamique des masses d'air froid, seulement si elle est accompagnée de l'augmentation de la pression et du changement de la dépression à la zone de haute pression. CCD: $dp=+1$, $dp=+2$, $x_{mq}<n$</p>

2.3 Les facteurs qui conditionnent l'objet d'investigation. Cette étude est une analyse préalable qui ne prend en considération qu'un facteur de temps élargi, analysé en dépendance de saisons. On a défini deux saisons de l'année: une saison chaude (V-IX) pendant laquelle on peut y avoir de la vapeur dans l'air ($e \geq 18.8$ hPa) et une saison froide (X-IV).

Le facteur médical, à savoir le sexe et l'âge, sera l'objet des recherches futures. Et pourtant la spécificité de l'établissement duquel sont issues les statistiques – le Service des Soins Cardiologiques Urgents- nous laisse supposer que l'ischémie du coeur avec ses facteurs de risque tels: l'hypertension artérielle, la hyperlipémie, le diabète, les cigarettes vont constituer un fond stable des recherches.

Tableau 2. Variables biométéorologiques

Indices du milieu „oxygène-thermique”Tef, Tl, tefs, tls, x, y, A₁-A₁₆, es, x_{mq}, y_{mq}, xy, dpTef (°C) – température effective selon A.Missenard calculée pour l'observation horaire de t_a, rh, vTl (g/m³) – masse oxygène contenue absolue dans l'unité de volume d'air humide pour l'observation horaire de t_a, e, p

tefs – Tef standardisée à l'égard de normales horaires, journalières

tls – Tl standardisée à l'égard de normales horaires, journalières

Tl, tls dans le texte sont nommés comme „le contenu de l'oxygène”

x = 0.707(tefs + tls), y = 0.707(tefs – tls)

dp – variation de la pression atm. pendant 24 h., classifié en 5 classes (-2, -1, 0, +1, +2) selon criteres: ± 2, ± 9 hPa

Variables complémentaires: t_{amq}, e_{mq}, ot_{mq}(t_a – température d'air, rh – l'humidité relative, e – pression de vapeur, p – pression atm., v – vitesse du vent, ot – sensation thermique selon l'échelle polonaise de Baranowska, subscript_{mq} – moyenne quotidienne)Variables x_{mq}, y_{mq}, t_{amq}, e_{mq}, ot_{mq} ont été classifié en 3 classes: <n, =n et >n, où “n” est l'intervalle des valeurs modales (l'intervalle de la norme estimée autour de la mode basé sur la série 1966 – 2000 pour Varsovie); pour ot_{mq} “n” est l'intervalle du confort thermique.

Tous les indices et variables sont présentées dans une autre résumé élargi de ce volume (Woitach, B., 2003)

2.3.1 L'appréciation biométéorologiques du temps. On a adopté deux caractéristiques du milieu oxygène-thermique: celle d'**observations horaires** pour 12 GMT – la combinaison (A,es) et celle qui est **journalière** – la combinaison (xy, dp). La combinaison d'observations horaires diagnostique les aires spécifiques des systèmes barométriques, en caractérisant les traits physiques des masses de l'air (la grandeur A) aussi que la classe de l'écart de la norme calculée pour l'heure et le jour de l'année (es). La combinaison (xy, dp) constitue l'indice de variabilité journalière du temps, définit l'étendue de la

variabilité en tant que les phases du temps et la grandeur des changements. Les données météorologiques viennent de la station Varsovie-Okęcie.

2.4 La méthode de la déduction. On a appliqué une méthode de grouper les distributions conditionnées (Wojtach 1994), dont la partie intégrale est le modèle causatif. La méthode mène à la délimitation des distributions de la probabilité de variable examinée « x » (l'objet de l'investigation), qui se différent statistiquement et dont les espérances mathématique sont croissantes. La constatation d'une possible relation causative peut avoir lieu seulement après une analyse substantielle et statistique de la distribution des combinaisons de facteurs déterminants (des conditions, des prédicteurs) en groupes dégagés – « des niveaux de risque ». Dans cet étude on a appliqué le test de maximum vraisemblance pour une variable à triple classement, le « x » examiné est la variable y, présentée dans le par. 2.2

Les résultats

En ce qui concerne l'été, on a pu établir des relations nettes pour la caractéristique d'observations horaires du milieu oxygène-thermique, la combinaison (A,es). Dans le cas de l'hiver c'était la caractéristique journalière – de la combinaison (xy,dp), ce qui peut être expliqué par la différence de la longueur du jour.

Suite au groupement des distributions de la variable y conditionnées par 60 combinaisons qui s'excluent mutuellement (A,es) pour 12 GMT avec 2 saisons de l'année, on a reçu le classement qui comprend 4 niveaux du risque de l'infarctus. De même le nombre de 4 différents niveaux du risque a été dégagé au cours du groupement des distributions y conditionnées par 72 combinaisons qui s'excluent mutuellement (xy,dp) avec 2 saisons de l'année. Dans le tableau 1, qui suivent, nous présentons une synthèse descriptive des résultats, car une synthèse quantitative dépasserait les limites de ce résumé.

La distribution des conditions biométéorologiques dans les 4 classes du risques de l'infarctus est complexe et diffère selon les saisons de l'année. Le nombre des infarctus augmentent dans les situations qui exercent de mauvais effets sur le système thermo-régulateur, dans les extrêmes thermiques saisonniers: un environnement extrêmement froid de l'hiver (humide ou venteux) et celui de l'été extrêmement chaud (sec ou étouffant). Le nombre des infractus diminuent dans les conditions qui n'exercent pas de mauvais effets sur le système thermo-régulateur: en hiver, quand il y a une chaude sensation de la zone de haute pression et en été quand on ressent un air tiède de la zone de haute pression ou de la dépression, qui se comble. On peut remarquer la même relation (l'unique parmi les

caractéristiques de triple classement et unidimensionnelles) en ce qui concerne la variable x_{mq} (Fig. 1).

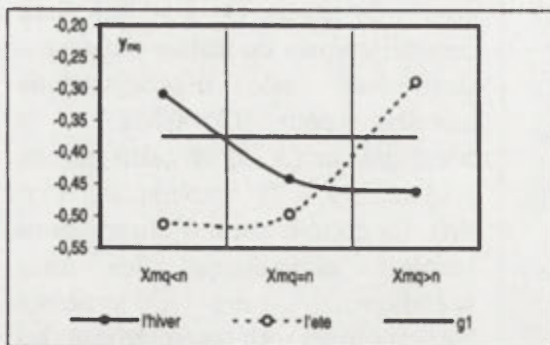


Fig. 1. Y_m en dépendance de classes de x_{mq} . (g1 – la limite entre y_m , qui sont statistiquement différentes au niveau $\alpha=0.05$)

Les conclusions.

Les résultats présentés sont conformes aux résultats décrits dans la littérature, concernant le climat des latitudes moyennes, en particulier aux conclusions de „l'école allemande”, concernantes aussi bien le milieu chaud que le milieu froid (Brezovsky, 1965; Bucher, Haase 1993). La méthode appliquée ici permet de transposer nos résultats en classes biométéorologiques de DWD: l'augmentation du nombre d'infarctus

dans les classes 4-7 et la diminution dans les classes 1, 2, 10. On peut admettre que la relation avec l'environnement très chaud en été est coïcidente avec l'étude française (Choisnel et al. 1987).

Le contenu de l'oxygène qui dépend essentiellement de la pression atmosphérique joue en principe le rôle d'indice biosynoptique. Cependant le

Tableau 3. Schémas des processus qui mènent à l'infarctus

L'environnement froid → une contraction impulsive des vaisseaux sanguins, l'augmentation de la pression sanguine systolique et diastolique, l'accélération de la fréquence des systoles du coeur, l'augmentation de la viscosité du sang et du nombre des plaques, de même que de la concentration du fibrinogène aussi que des albumines qui freinent la fibrinolyse → une possibilité augmentée de la formation du caillot fermant un vaisseau coronaire atteint par artériosclérose et le développement de la nécrose d'un fragment du muscle de coeur.

L'environnement chaud → une dilatation impulsive des vaisseaux sanguins, l'accélération de l'action de coeur qui augmente le besoin du muscle de coeur de l'oxygène, l'insuffisant passage du sang par les vaisseaux coronaires atteints de l'artériosclérose → une anoxémie croissante du muscle de coeur qui mène à l'infarctus.

contenu très bas de l'oxygène associé avec le milieu chaud pendant l'été apparaît aussi comme un facteur interprétable du point de vue biométéorologique. Le contenu de l'oxygène très bas a lieu dans l'environnement d'anticyclone très chaud, sec, sans aucun vent, ce qui charge l'action du coeur, mais aussi dans l'environnement chaud et humide de la dépression, ce qui bloque d'une autre manière le système termoregulateur. Le contenu de l'oxygène très bas s'ajoute probablement au surchargement fonctionnel de l'appareil circulatoire de l'homme.

Bibliographie

- BREZOVSKY, H., 1965: Die Abhangigkeit des herzzinfarkts von Klima, *Wetter und Jahreszeit. Arch. Kresilafforsch*, 1965, 47: 159-188.
- BUCHER, K., HAASE, C., 1993: Meteorotropy and medical-meteorological forecasts. *Experientia* 49 (9): 759-769.
- CHOISNEL, E., COHEN J.-CL., POISVERT M., van THOURNOUT, A., 1987: Weather and acute cardiovascular attacks: statistical analysis and results. *Experientia* 43 (1):27-32.
- WOJTACH, B., 1994: *Le schème de verification de la base de prédicteurs biométéorologiques d'accidents routiers (statistiques horaires et journalières de Varsovie)* (en polonais). Rapport de l'IMGE du groupe M-1.4.1, 1994.
- WOJTACH, B., 2003: *Le milieu „oxygène-thermique» comme l'instrument d'évaluation de variation du temps.*

QUELQUES PARTICULARITES DE LA VARIABILITE PLUVIOMETRIQUE DANS UN CLIMAT DE TRANSITION: CAS DU DEPARTEMENT DU ZOU AU BENIN – AFRIQUE DE L'OUEST

Ibouraïma YABI, Fulgence AFOUDA

*Laboratoire d'Etude des Climats, des Ressources en Eau
et de la Dynamique des Ecosystèmes(LECREDE)*

*Département de Géographie de l'Université d'Abomey-Calavi (Bénin) BP, 526 Abomey-Calavi
yafi@uva.org*

Mots clés: climat de transition, variabilité, particularités, tendance; changement climatique

Abstract: The study field is at means-Benin and corresponds to the transition climatic zone between subequatorial climate in the south and soudanien climate in the north. The study shows that with pluviometric pejourations started since 1970, soudanien climate takes the step on the subequatorial. This situation is likely to seriously mortgage the economic activities and ecological balance of the medium.

Introduction

Le domaine d'étude, (le moyen-Bénin) est situé dans la zone de transition climatique, encadré par les climats de type subéquatorial au sud et le type soudanien au nord.

Aujourd'hui, l'hypothèse d'un changement climatique anime les débats scientifiques tant au niveau national qu'international. Il convient d'observer les mutations qui affectent les zones de marges afin de mesurer les changements qui surviennent. Le climat de transition étant le climat de marge à partir duquel on passe progressivement du climat subéquatorial (à quatre saisons dont deux pluvieuses et deux sèches) au soudanien (à deux saisons tranchées dont une pluvieuse et une sèche). Cette étude nous permettra de voir lequel des climats subéquatorial ou soudanien imprime ses caractéristiques dans moyen-Bénin.



Fig. 1. Localisation géographique des stations étudiées

Données et méthode

Nous avons collecté à l'ASECNA (Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne)-Cotonou, les données relatives aux hauteurs annuelles et mensuelles des pluies depuis 1941 (1951 pour Savalou) jusqu'en 1999. Les stations qui présentent plus de 5% de données manquantes ou qui sont de création récente ont été éliminées par souci d'homogénéité des données (Tabl. 1). Le test de cumul des doubles masses a permis de vérifier l'homogénéité des séries étudiées. Ensuite nous avons subdivisé la période en deux séries trentenaires (A et B) pour les analyses. La série A, dite humide, va de 1941 à 1970 et la série B dite récessionniste s'étant de 1971 à 2000. Cette subdivision nous a permis d'observer les tendances.

Tableau 1. Des stations étudiées

Stations	Latitudes	Longitudes	Altitude	Type
Bantè	08°25N	01°53E	264m	Pluviométrique
Savè	07°56N	02°26E	199 m	Synoptique
Savalou	07°50N	01°59E	174 m	Climatologique
Dassa-zoumè	07°45N	02°10E	155 m	Pluviométrique
Agouna	07°33N	01°42E	240 m	Pluviométrique
Zagnanado	07°15N	02°20E	102 m	Pluviométrique
Abomey	07°11N	01°59E	260 m	Pluviométrique
Bohicon	07°10N	02°04E	166 m	Synoptique

Les données ont été traitées au LECREDE (Laboratoire d'Etude des Climats, des Ressources en Eau et de la Dynamique des Ecosystèmes).

La moyenne arithmétique, l'écart type, les coefficients de variation (cv) ont été calculés pour chaque série. Ce sont en effet des outils statistiques simples, qui donnent des résultats probants. Ils permettent de déceler des tendances à l'instar des analyses en composantes principales. De même les indices pluviométriques ont été calculés toujours pour apprécier les tendances.

Résultats

1) Tendances générales

Partout la série A est la plus arrosée en témoignent les fortes moyennes tandis que la série B est la moins arrosée, ce qui traduit entre ces deux séries un déficit important par endroits:

Bohicon: - 53 mm	Bantè: - 46 mm
Abomey: - 33 mm	Zagnanado: -101 mm
Savalou: - 77 mm	Savè: -88 mm

La figure 3 illustre bien une tendance à la baisse de la pluviométrie.

Seule Dassa-Zoumè a conservé sa moyenne durant les deux séries. Partout les cv ont baissé entre A et B notamment au delà de la latitude de Kétou où ils varient entre 0,17 et 0,20. Ces constats amènent à conclure qu'il y a partout une tendance de stabilité à la baisse mais que les stations du sud sont encore plus instables.

2) Variations temporelle

On peut observer les particularités suivantes à l'échelon mensuel entre les séries A et B: Partout il y a une tendance à une concentration plus grande des mois les plus arrosés (juin, juillet, août et septembre): Savalou: 56,8%; Dassa-Zoumè: 58,3%; Savè: 57,2%; Bohicon: 51,8%; Zagnanado: 49,6%. A Savalou l'augmentation est de 2,6%; à Dassa-Zoumè de 3,7%; à Savè et Zagnanado 3%; à Bohicon 3,1%. Aussi constate-on que le volume des pluies en début comme à la fin de la période humide a diminué presque partout. Ainsi le mois de mars qui concentrait

7,2% du total à Savè n'a plus que 5,6% en B; à Zangnanado ce taux est passé de 8 à 6,4%; de 8,1 à 5,9% à Savalou; de 6,6 à 5,6% à Kétou; de 7,8 à 6,2% à Abomey; 8,2 à 6,3% pour Bohicon. Quant au mois d'octobre (fin de la saison humide), le constat est identique. Entre A et B, on est passé de: 11,1 à 10,7% à Savè; de 11,6 à 11,1 pour Zangnanado; de 12,2 à 9,7% à Dasa-zoumè; de 10,8 à 9,8% à Savalou; de 14,1 à 10,5% à Kétou; de 12,1 à 9,6% à Abomey; 12,3 à 11% à Bohicon. Le début de la saison pluvieuse se fait donc plus tardivement et sa fin plus précocement toute chose qui rapproche ces stations du climat soudanien.

Par ailleurs l'inflexion des pluies observée en août (qui donne la petite saison sèche) s'estompe progressivement si bien que ce mois est partout humide en B. On passe progressivement du régime bi modal à base large au régime uni modal caractéristique du climat soudanien.

La station de Savalou est plus parlante car non seulement le mois d'août ne connaît plus d'inflexion mais la station connaît son maximum pluviométrique durant ce mois à l'instar des stations typiquement soudanienne (Fig. 1).

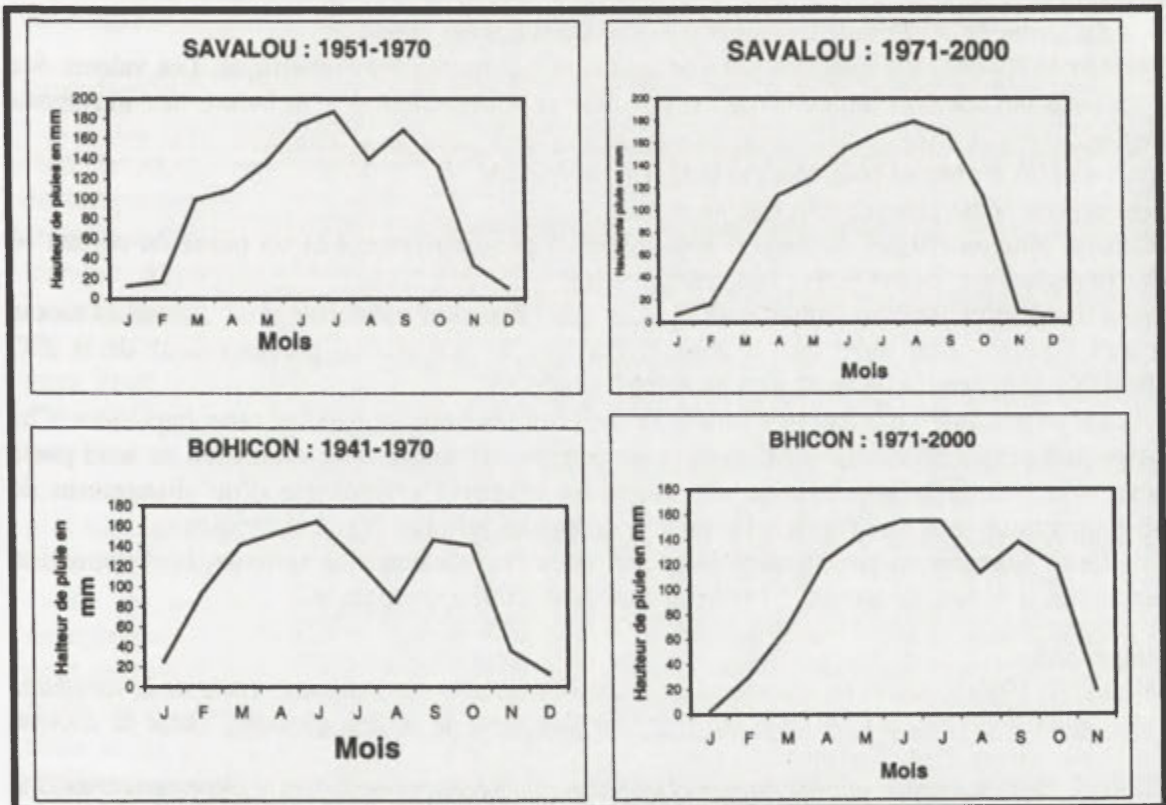


Fig. 2. Evolution des régimes pluviométriques entre les séries A et B

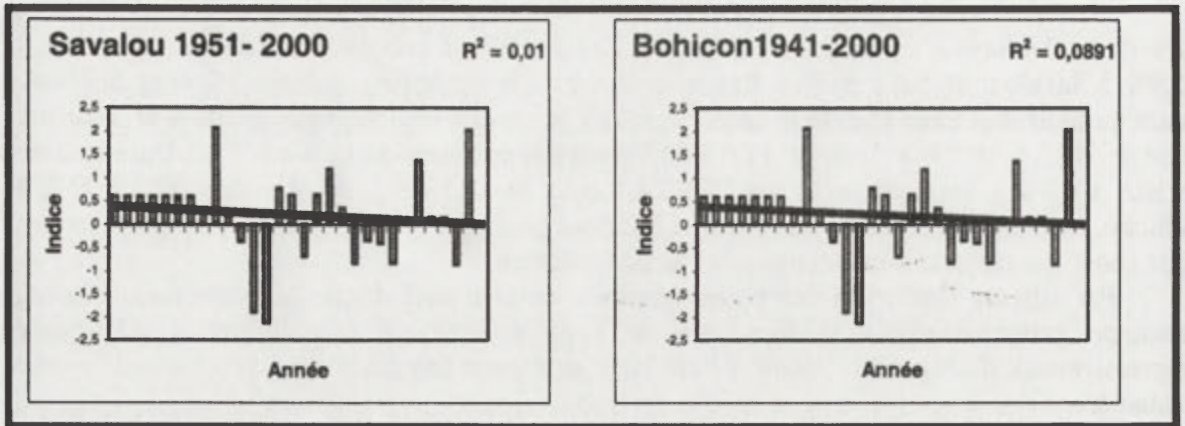


Fig. 3. Tendence pluviométrique de quelques stations

Conclusion

Au terme de cette étude les remarques suivantes ont été faites:

- la période 1970-1999 est marquée par une tendance à la baisse pluviométrique. Les valeurs des C.V annuels deviennent faibles ce qui révèle une certaine stabilité à la baisse des moyennes annuelles;
- de plus en plus les pluies commencent tard et s'arrêtent tôt;
- une concentration de pluie de juin à septembre;
- l'inflexion pluviométrique du mois d'août disparaît progressivement et on passe du régime bi modal au régime uni modal mais à base encore large;
- le mois d'août plus pluvieux indiquerait-il alors que l'Equateur météorologique monterait moins haut qu'à l'ordinaire au point que la zone D.) arrière du mécanisme pluviogénique de la ZIC (LEROUX, 1983) serait-elle aussi plus haute en latitude ?

Un examen de la situation au nord du Sahel permettrait de vérifier cette hypothèse. Ces constats font penser au climat soudanien et on peut se demander si le soudanien ne tend pas à imposer son rythme à cette latitude. De toutes les manières l'hypothèse d'un changement de rythme climatique tend à se vérifier. On peut se demander jusqu'où ira cette tendance.

Cette situation risque d'hypothéquer sérieusement le calendrier agricole, la disponibilité en eaux dans le milieu sans oublier le risque d'un déséquilibre écologique.

Bibliographie

- AFOUDA, F., 1990: *L'eau et les cultures dans le Bénin central et septentrional: étude de la variabilité des bilans de l'eau dans les relations avec le milieu rural de savane africaine*. Thèse de doctorat nouveau régime, Paris. Sorbonne.
- LECREDE, 1996: *Récession pluviométrique et mutation socio-économiques dans le Département du Zou*. Coopération inter-universitaire Bénin-Dijon.
- LEROUX, 1983: *Le climat de l'Afrique tropicale*. Thèse de doctorat d'état. Université de Bourgone, Dijon.
- YABI, I., 2002: *Particularités de la variabilité pluviométrique entre 7° et 8°N au Bénin*. Mémoire de maîtrise FLASH – UAC, Abomey-Calavi.

EVALUATION DE L'ENERGIE SOLAIRE EN ALGERIE

*Fatiha YUCEF ETTOUMI**, *Henri SAUVAGEOT***, *Abd-El-Hamid ADANE**

**Faculté d'Electronique et d'Informatique, Laboratoire de Traitement d'Images
et Rayonnement, Université des Sciences et de la Technologie, U.S.T.H.B
BP 32 16111 El Alia, Bab Ezzouar, Alger, Algérie*

youcefettoumi@yahoo.fr

*** Université Paul Sabatier, Observatoire Midi Pyrénées,
Centre de Recherches Atmosphériques, Laboratoire d'Aérodologie,
8 route de Lannemezan, 65 300 Campistrous, France*

Mots clés: rayonnement solaire, distribution Beta, equation d'Angström; energie solaire

Abstract: A method of smoothing solar data by beta probability distributions is applied to process daily sunshine duration data recorded at thirty-three meteorological stations in Algeria for eleven year periods or more. Knowing the sunshine duration data and thanks to the Angström equation, the mean global solar radiation flux is estimated.

Introduction

En zones arides et semi-arides, un climat sévère sévit et interagit fortement avec le bien être et le confort des populations. Ceci est du principalement aux importantes variations de température ou encore aux vents de sable. La situation s'aggrave davantage pour les communautés éparses qui vivent isolément. En plus des conditions climatiques dures, d'un manque d'infrastructures routières, il faut ajouter l'inexistence de commodités telle que l'alimentation électrique des foyers. Alors que l'on constate l'importante disponibilité, dans ces régions, de ressources énergétiques renouvelables telle que l'énergie solaire. En effet, ce pays jouit d'un bon taux d'ensoleillement. A titre d'exemple, on peut noter que le taux d'ensoleillement est de 2850 heures/an à Alger, de 3661 heures/an à Adrar et de 3800 heures/an à Tamanrasset. Les systèmes photovoltaïques semblent bien s'imposer comme moyen de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique. Devant une telle situation qui prévaut dans de telles régions situées surtout dans le sud algérien, nous avons essayé de trouver des moyens simples pour améliorer les conditions de vie de ces populations. Nous avons donc cherché à valoriser des données climatiques, en extrayant l'information énergétique qu'elles contiennent afin de l'exploiter. Dans ces sites isolés, la nature «naturelle» peut encore être préservée, car l'alternative aux énergies classiques existe. L'exploitation de toute cette énergie solaire disponible gratuite et non polluante, non seulement, le permettra mais aussi permettra d'éviter l'utilisation d'énergies épuisables. Le choix d'un tel mode d'alimentation électrique serait judicieux. De cette façon, les investissements lourds, que les producteurs d'électricité ne sont toujours pas prêts à consentir dans de telles régions isolées, ne sont plus à faire. Ainsi, ce travail s'inscrit dans le cadre de la relève énergétique d'une part, et de la protection de l'environnement d'autre part. L'utilisation de l'énergie solaire contribuerait essentiellement à diminuer les rejets dans l'atmosphère des gaz à effet de serre, liés à l'exploration des hydrocarbures. L'évaluation du gisement solaire vu comme énergie de substitution non polluante encouragera certainement son utilisation dans des sites isolés et pourquoi pas comme appoint dans les centres urbains. Une véritable relève énergétique doit passer de façon incontournable par les énergies renouvelables; celles-ci étant sûres, pas très coûteuses et surtout d'accès facile. Seulement, la connaissance du gisement solaire d'une région est plus ou moins précis et souvent complètement méconnu du fait de l'absence de mesures. En effet, il est à constater la faible densité des stations de mesures à travers le territoire algérien. La prise en charge du gisement solaire de l'Algérie est tributaire de la disponibilité de données fiables sur une période suffisamment longue, ainsi que de moyens et de capacités de mesures importantes. Or la mesure de l'irradiation solaire globale en Algérie

est peu dense relativement à la superficie du territoire. Et c'est justement pour répondre à une telle difficulté que nous avons pensé à élaborer une méthodologie d'approche du gisement solaire assez objective et systématique. Celle-ci est basée sur la mesure de l'irradiation solaire globale sur cinq sites et sur celle de l'insolation. L'insolation est un paramètre très important dans la caractérisation du gisement solaire au niveau du sol. C'est une donnée disponible sur l'ensemble des stations météorologiques. Des études ont montré la forte liaison existant justement entre la durée d'insolation solaire et l'irradiation solaire globale. Or cette dernière permet le dimensionnement des systèmes de conversion de l'énergie solaire. Les raisons évoquées motivent ce papier présenté ici. Dans cette perspective de développement de telles applications, sur la base de la relation linéaire d'Angström à deux paramètres, nous avons modélisé l'irradiation solaire globale à partir de l'insolation, elle-même décrite par une distribution usuelle de probabilité (Angström, 1924). Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible dans un lieu donné, au cours d'une période donnée. Son évaluation peut se faire à partir des données de l'irradiation solaire globale. Elle est utilisée pour simuler le fonctionnement probable d'un système énergétique solaire et donc d'effectuer son dimensionnement le plus exact possible compte tenu des demandes en énergie à satisfaire.

Méthode

Données expérimentales

Le nombre de stations que nous avons utilisées pour les besoins de notre étude, est de trentaine deux. Les périodes d'enregistrement des données météorologiques sont les plus récentes et vont de dix à quarante années. Les données considérées sont collectées quotidiennement. La mesure de l'insolation est disponible dans l'ensemble de ces stations, celle de l'irradiation n'est effectuée que dans un nombre limité de stations. Au préalable, les données ont subi un prétraitement basé sur les relations astronomiques, afin d'éliminer leur variabilité saisonnière, et d'isoler ainsi leurs fluctuations d'un jour à l'autre (A.F.E.D.E.S, 1974; Boileau, Guerrier, 1985).

Modélisation par une distribution beta de l'insolation

Représentons les données SS/SS_0 par une variable aléatoire (x) qui varie de façon continue dans l'intervalle compris entre 0 et 1 (SS est l'insolation quotidienne brute, SS_0 est celle qui lui correspond hors atmosphère). Puis, supposons que la densité de probabilité de (x) soit une distribution beta définie par:

$$f(x) = \frac{1}{\beta(p, q)} x^{p-1} (1-x)^{q-1} \quad (1)$$

où $p > 0$, $q > 0$ et $\beta(p, q)$ est la fonction beta.

La moyenne de la distribution beta est: $\bar{x} = \frac{p}{p+q}$ (2)

et son écart-type est: $\sigma = \left\{ \frac{pq}{(p+q)^2 (p+q+1)} \right\}^{1/2}$ (3)

Pour mettre en œuvre la méthode d'ajustement, supposons que la moyenne et l'écart-type de la distribution beta qu'il faudrait trouver, soient respectivement identiques à la moyenne et l'écart-type caractérisant les distributions de fréquence relative des données expérimentales. Pour un site donné, la moyenne (x_m) et l'écart-type (σ_m) de la distribution de fréquence sont d'abord calculés pour chacun des douze mois de l'année. Pour un mois donné, ces deux paramètres sont remplacés par leur valeur numérique dans le système d'équations (2) et (3). L'étape suivante est la résolution de ces deux équations pour trouver les valeurs numériques des paramètres p et q de la distribution beta.

Résultats

En guise d'illustration, la figure 1 donne les distributions beta (trait continu) et les distributions expérimentales de fréquences (trait pointillé) obtenues en Janvier et Juillet pour Alger.

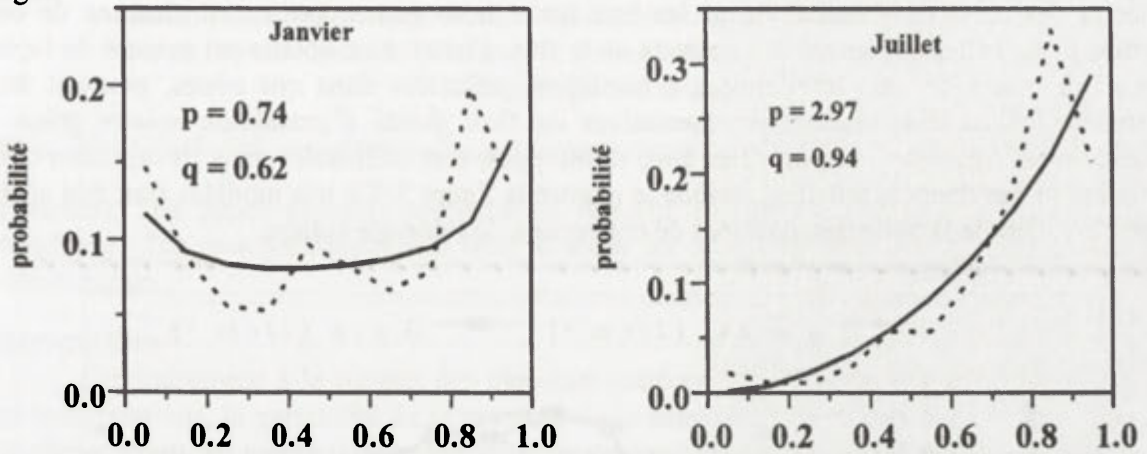


Fig. 1. Distributions beta (trait continu) et distributions expérimentales de fréquences (trait pointillé) obtenues en Janvier et Juillet pour Alger

Pour chacun des douze mois de l'année, on trouve que les données expérimentales considérées pour ce site, sont lissées de manière satisfaisante par des distributions beta. L'application du test de Cramer-Von Mises à chacune des douze bases mensuelles de données SS/SS_0 confirme que ces dernières sont très bien décrites par des distributions beta convenablement choisies. De façon similaire, les distributions de probabilité caractérisant les données journalières d'insolation collectées dans trente deux sites de l'Algérie et pour chaque mois de l'année, ont été calculées suivant l'approche basée sur des distributions beta. Ensuite, les paramètres p et q des distributions beta caractérisant les trente deux sites, ont été représentés en fonction de la latitude et de la longitude, pour chacun des douze mois de l'année. La figure 2 illustre la cartographie des paramètres beta pour le mois de Janvier. On trouve que les cartes des paramètres beta comportent huit régions homogènes. Ces dernières sont remarquables et diffèrent d'un mois à l'autre suivant les variations saisonnières du rayonnement solaire en Algérie. Par définition, Une région donnée sera homogène si les caractéristiques du rayonnement solaires sont quasiment identiques en tout point de cette région.

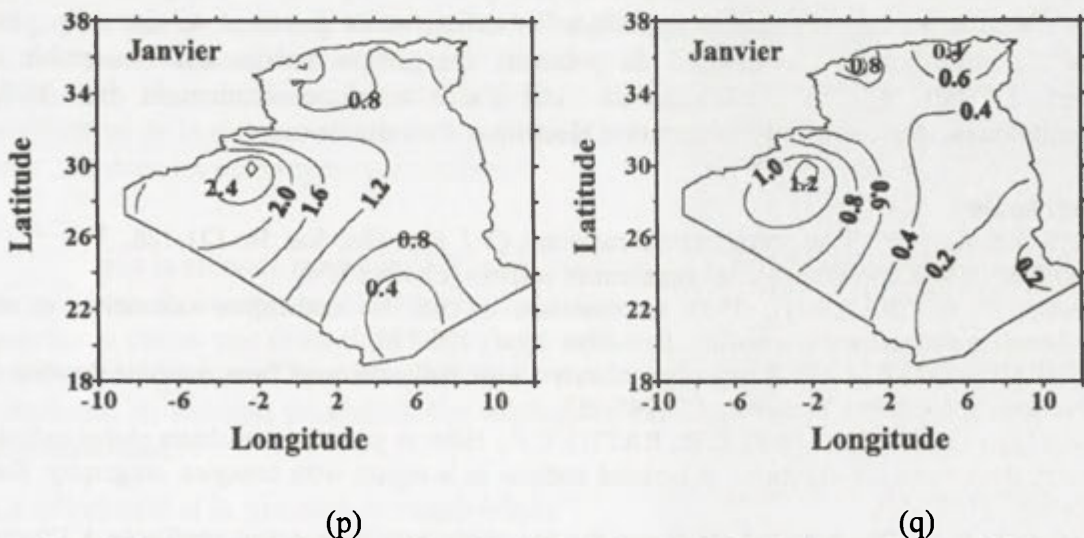


Fig. 2. Cartographie des paramètres (p) et (q) de la distribution beta pour le mois de Janvier

Ce type de cartographie vise à estimer le gisement solaire dans des sites où aucune mesure solaire n'est effectuée (Chaudhary, 1990; Decarli et al, 1986; Lestienne, 1979; Youcef Ettoumi, Adane, 1994). Grâce à la cartographie des paramètres beta, les distributions de probabilité de l'insolation peuvent être évaluées pour n'importe quel site de l'Algérie et pour chacun des mois de l'année. Parmi les huit zones homogènes composant chacune de ces cartes, il y a celles contenant des endroits où le flux d'irradiation solaire est mesuré de façon régulière. Dans ce cas, les données d'insolation collectées dans ces zones, peuvent être transformées en des données représentatives du flux global d'irradiation solaire grâce à l'équation d'Angström. Les modèles ainsi développés, sont utilisables dans l'évaluation et la simulation des données solaires, comme le montre la figure 3. De tels modèles sont très utiles dans le calcul de la taille des systèmes de conversion de l'énergie solaire.

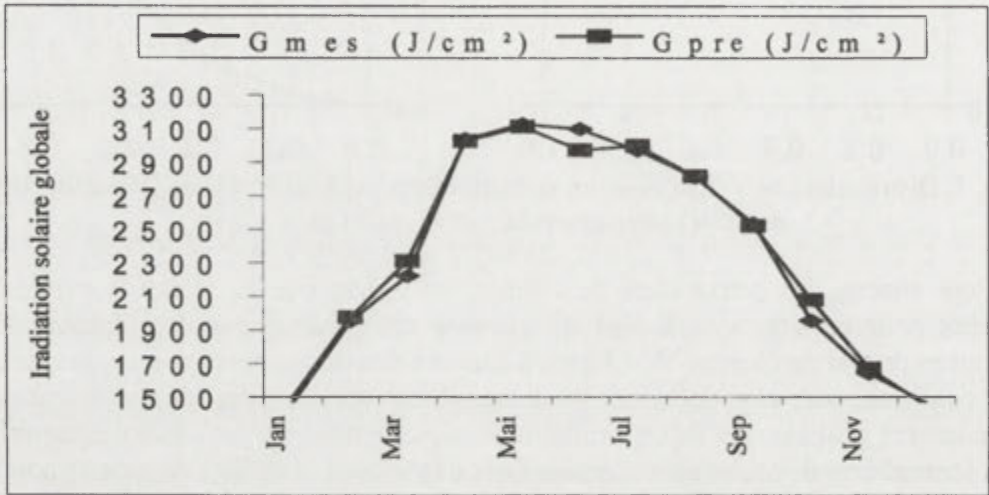


Fig. 3. Représentation de l'irradiation solaire globale expérimentale et celle générée pour le site de Béchar

Conclusion

Ainsi, nous avons montré que les mesures solaires collectées quotidiennement dans diverses localités de l'Algérie, sont décrites convenablement par des distributions de probabilité beta. Grâce au concept de zone homogène, les cartes des paramètres caractérisant les distributions beta qui en résultent, peuvent être associées à l'équation d'Angström pour estimer le flux global d'irradiation solaire en n'importe quel point de l'Algérie. Ce travail permet d'établir les caractéristiques statistiques et radiatives du gisement solaire en Algérie, en vue de contribuer à l'évaluation du potentiel énergétique solaire sur l'ensemble du territoire. De tels résultats constituent un outil d'aide au dimensionnement des champs photovoltaïques nécessaires à l'alimentation électrique d'un site donné.

Bibliographie

- ANGSTRÖM, A., 1924: Solar and terrestrial radiation, *Q. J. Ray. Met. Soc.* 50: 121-126.
 A.F.E.D.E.S, 1974: Généralités sur le rayonnement solaire», *Cahiers* N°4.
 BOILEAU, E., GUERRIER, B., 1985: Comparaison de modèles statistiques saisonniers et non-saisonniers en météorologie solaire. *Rev. Phys. Appl.*, 125-130.
 CHAUDHARY, Q.U.Z., 1990: A procedure to obtain solar radiation maps from sunshine duration for Pakistan. *Solar&wind Technology*, 7: 245-253.
 DECARLI, F., GROPP, C., FESTA, R., RATTI, C.F., 1986: A procedure to obtain global radiation maps from sunshine durations at isolated stations in a region with complex orography. *Solar Energy*, 37: 91-108.
 LESTIENNE, R., 1979: Analyse statistique des processus météorologiques appliquée à l'énergie solaire. *Rev. Phys. Appl.*, 14: 139-144.
 YUCEF ETTOUMI, F., ADANE, A., 1994: Simulation of hourly sunshine duration from nebulosity. *World Renewable Energy Congress, Proc. WRECII*, 5: 2354-2356.

LES CONDITIONS DE CIRCULATION PROPRES A LA VARIABILITE DE LA NEBULOSITE EN POLOGNE, EN 1951-2000

Elwira ZMUDZKA

*Institut de Climatologie, Faculté de Géographie et d'Etudes Régionales,
Université de Varsovie, Krakowskie Przedmieście 30, Warszawa, Pologne
elwiraz@wgsr.uw.edu.pl*

Mots clés: Nébulosité, circulation atmosphérique, variabilité, Europe Centrale, Pologne

Abstract: The paper presents comparative research of air circulation and variability of cloudiness. The meteorological data from Warsaw for the period 1951-2000 were taken into consideration.

Introduction

Contrairement à la plupart des éléments météorologiques tels que, la température ou les précipitations, la variabilité de la grandeur de la nébulosité – l'un des éléments principaux du climat ayant, en même temps, une importance considérable pour la formation du climat et du temps – est relativement peu connue et fait rarement l'objet des recherches.

Méthode

La communication présente l'état des résultats des recherches sur la variabilité de la grandeur de la nébulosité en Pologne dans la seconde moitié du XX^e siècle et de ses rapports avec les caractéristiques de la circulation atmosphérique au-dessus de l'Europe Centrale. On s'est servi d'un ensemble important de données d'observation en provenance du territoire de la Pologne (les montagnes exceptées) et en particulier des grandeurs de la nébulosité calculées en faisant la moyenne territoriale des années successives 1951-2000 observée dans le territoire polonais (jusqu'au 300 m d'altitude) par 48 stations synoptiques.

La description des conditions de circulation a été effectuée partant des moyennes mensuelles des valeurs des indices de la circulation zonale et méridienne ainsi que du vecteur du vent géostrophique déterminés pour un territoire délimité par les parallèles 45° et 60°N et les méridiens 10° et 30°E. On a également pris en considération une série de 50 ans des moyennes mensuelles de la valeur de la pression atmosphérique à Łódź. L'analyse a porté aussi sur les rapports entre la grandeur de la nébulosité et la fréquence (nombre de jours) des macrotypes de la circulation atmosphérique distingués en égard au caractère de la pression (cyclonal, anticyclonal, nul) et la direction de l'afflux des masses d'air (les secteurs correspondant aux quatre directions principales où le secteur N = 0,5NW + N + 0,5NE). On a eu recours à la classification de Lityński (Stępniewska-Podraźka, 1991; Pawłowska et al., 2000). Les dépendances ont été déterminées à l'aide des coefficients de corrélation et des coefficients de la régression simple et multiple. On a également calculé la nébulosité moyenne pour 24h dans les macrotypes particuliers.

Résultats

Dans la seconde moitié du XX^e s. en Pologne, pendant la plus grande partie de l'année, la grandeur de la nébulosité a diminué de façon insignifiante (Tabl. 1). La grandeur en question a connu une diminution importante en mai tandis qu'une tendance de croissance est apparue en septembre (Żmudzka, 2003). Les tendances des changements de la grandeur de la nébulosité en Pologne pourraient être expliquées par une influence directe de la circulation atmosphérique.

La nébulosité et la pression atmosphérique

La circulation zonale ouest influe sur la grandeur de la nébulosité pendant l'été et fait augmenter ladite grandeur (Tabl. 2). Le rapport entre la nébulosité et les gradients méridionaux de pression pendant toute l'année n'est pas important. La croissance de la pression entraîne la diminution de la nébulosité. Cette influence est la plus forte en juillet (ce

qui permet d'expliquer 64% de variances de la grandeur de la nébulosité), ensuite en mars et en septembre.

Tableau 1. Coefficients de direction du trend linéaire α (%/année) et une estimation de rang (τ – statistique de Mann-Kendall) du trend des changements, calculés en faisant la moyenne territoriale, des valeurs mensuelles, saisonnières et annuelles de la nébulosité en Pologne, en 1951 – 2000 (en caractères gras – les valeurs statistiquement essentielles au niveau de 0,05)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XII-II	III-V	VI-VIII	IX-XI	I-XII
α	-0,10	-0,06	0,07	-0,01	-0,21	0,07	-0,06	-0,11	0,18	-0,05	-0,10	-0,04	-0,07	-0,05	-0,03	0,01	-0,04
τ	-0,16	-0,14	0,06	-0,05	-0,29	0,09	-0,06	-0,17	0,19	-0,06	-0,16	-0,09	-0,19	-0,12	-0,07	0,01	-0,14

Tableau 2. Coefficients de la corrélation linéaire de la moyenne territoriale de la grandeur de la nébulosité en Pologne avec les indices locaux de la circulation zonale (ZI) et méridienne (MI) et avec la pression atmosphérique (pL) sur un point [52,5°N, 20°E] (en caractères gras – coefficients de corrélation essentiels au niveau de 0,05)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XII-II	III-V	VI-VIII	IX-XI	I-XI
ZI	-0,02	0,15	0,20	0,04	0,01	0,33	0,46	0,37	-0,01	0,15	-0,37	-0,04	-0,03	0,07	0,52	-0,19	-0,22
MI	-0,04	0,30	-0,06	0,05	0,19	-0,10	-0,27	-0,08	0,29	0,31	-0,09	-0,12	-0,13	-0,06	-0,25	0,20	-0,01
pL	-0,58	-0,44	-0,68	-0,48	-0,57	-0,50	-0,80	-0,56	-0,63	-0,58	-0,24	-0,53	-0,68	-0,58	-0,64	-0,46	-0,64

La nébulosité et le vent géostrophique

En été et au tournant de l'automne et de l'hiver (en novembre) la grandeur de la nébulosité dépend de la composante occidentale du vent géostrophique (les valeurs absolues des coefficients de régression qui déterminent la force du rapport entre la nébulosité et la composante V_W sont plus élevées que les coefficients caractérisant ce rapport avec la composante septentrionale V_N , Tabl. 3). En été, cette composante occidentale contribue à l'accroissement de la grandeur de la nébulosité tandis qu'au tournant de l'automne et de l'hiver – à sa diminution. Pendant ces mois, la grandeur moyenne de la nébulosité en Pologne dépend aussi de la vitesse du vent géostrophique. Ainsi en juillet, où la direction du vent géostrophique représente le secteur nord-ouest, la corrélation est positive, par contre en novembre, avec la composante méridionale (SW) – la corrélation est négative.

Tableau 3. Coefficients des équations de régression (a, b, c) et de la corrélation multiple (R) de la grandeur moyenne de la nébulosité au-dessus du territoire de la Pologne avec les composantes du vent géostrophique (V_W, V_N) et la pression (pL) sur un point [52,5°N, 20°E] (en caractères gras – les coefficients de corrélation et de régression essentiels au niveau de 0,05)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XII-II	III-V	VI-VIII	IX-XI	I-XII
$a(V_W)$	-0,19	-0,21	0,26	-0,43	0,92	1,89	1,90	1,11	0,26	0,37	-1,49	-0,29	-0,04	-0,16	2,10	-1,26	-1,36
$b(V_N)$	0,48	1,84	0,43	1,72	3,08	0,35	0,41	0,95	4,33	1,88	0,63	0,03	0,30	0,75	0,43	2,20	1,49
$c(pL)$	-0,81	-0,76	-1,55	-1,56	-2,10	-1,70	-3,07	-2,02	-2,73	-1,44	-0,59	-0,66	-0,91	-1,62	-2,39	-1,17	-1,57
R	0,59	0,60	0,69	0,53	0,66	0,61	0,84	0,61	0,78	0,70	0,54	0,54	0,68	0,59	0,72	0,61	0,72

Pendant le reste de l'année, c'est la composante méridienne du vent géostrophique qui exerce une influence sur la grandeur de la nébulosité. Cette influence sur la formation de la nébulosité est la plus forte en septembre, en octobre, en mai ainsi qu'en février. L'intensification de la composante septentrionale entraîne un accroissement de la grandeur de la nébulosité pendant toute l'année.

C'est pendant les mois d'été que dans le centre de l'Europe Centrale, la pression influe avec le plus d'intensité sur la grandeur de la nébulosité – à l'accroissement de la pression correspond une diminution de la nébulosité. En automne et au cours de l'année la nébulosité dépend principalement de la direction de l'afflux des masses d'air – composante méridienne. Le rôle de la pression est comparable au rôle de la composante occidentale. Parmi les directions de la circulation, la composante zonale a plus d'importance en été tandis qu'au printemps et en automne c'est la composante méridienne.

Les composantes occidentale et méridienne de la circulation atmosphérique ainsi que la pression atmosphérique expliquent 28-70% de la variabilité de la moyenne mensuelle de la grandeur de la nébulosité au-dessus de la Pologne. Les rapports entre la nébulosité et les conditions de circulation sont les plus faibles au tournant de l'automne et de l'hiver. L'importance de ces dépendances croît pendant plus chaude partie de l'année, avec le maximum en juillet. Les rapports intenses apparaissent également en automne (en septembre et octobre) de même qu'en mars. En automne, la plus grande importance revient à la composante méridienne tandis qu'en été et au printemps – à la pression au centre du territoire examiné.

La nébulosité et les macrotypes de la circulation

Pendant toute l'année (novembre excepté) c'est le système de la pression qui exerce une influence essentielle sur la formation de la grandeur de la nébulosité (corrélation négative avec la fréquence des systèmes anticycloniques et la corrélation positive avec la fréquence des systèmes cycloniques). Pendant la plus grande partie de l'année la nébulosité est liée plus intensément avec l'apparition des situations anticycloniques. Les dépendances entre la grandeur de la nébulosité et les macrotypes de la circulation sont les plus faibles en hiver et les plus fortes en juillet. On observe également une certaine augmentation de l'importance du caractère des systèmes isobariques en mars, en mai et en octobre. Le rapport entre la grandeur de la nébulosité et la direction de l'afflux des masses d'air est essentiel en automne; soulignons ici l'importance de l'advection du secteur méridional, liée avec la diminution de la nébulosité au dessus de la Pologne.

L'analyse de la corrélation et de la régression multiple de la grandeur de la nébulosité avec les macrotypes de la circulation atmosphérique, distingués en égard à la direction de l'afflux des masses d'air et liés avec le caractère de la pression permet de constater que:

- au printemps, l'influence essentielle sur la grandeur de la nébulosité est exercée par l'advection du secteur oriental et l'advection à la composante méridienne. De telles directions de l'afflux des masses d'air dans les systèmes anticycloniques sont à l'origine de la diminution essentielle de la grandeur de la nébulosité. Dans cette saison de l'année apparaît également une forte dépendance de la grandeur de la nébulosité de la circulation orientale cyclonique et de la circulation méridionale nulle (une augmentation de la nébulosité);
- en été, la grandeur de la nébulosité révèle une corrélation essentielle (corrélation positive) avec l'afflux des masses d'air du secteur occidental accompagnées par les systèmes aussi bien cyclonique qu'anticyclonique de la pression (une connexion essentielle avec la composante occidentale) et du secteur septentrional dans les situations cycloniques et nulles. L'augmentation de la grandeur de la nébulosité reste également en rapport essentiel avec la circulation orientale cyclonique et avec le centre de la dépression au-dessus de la Pologne. Il est lieu de souligner ici que pendant un afflux de l'air du nord, dans les situations cycloniques et nulles la nébulosité augmente de façon essentielle tandis que dans les situations anticycloniques elle diminue (faibles connexions de la grandeur de la nébulosité avec la composante méridienne de la circulation);
- en automne, la grandeur de la nébulosité est formée avec le plus d'intensité par un afflux des masses d'air du secteur méridional, accompagnées par le système isobarique nul ou anticyclonique (une diminution de la grandeur de la nébulosité). La diminution essentielle de la grandeur de la nébulosité accompagne également l'advection de l'ouest et le système anticyclonique de la pression. L'augmentation importante de la nébulosité reste en rapport avec les situations cycloniques avec l'advection de l'est;
- en hiver, la diminution de la grandeur de la nébulosité dépend, en premier lieu, des hautes pressions (anticyclone) au-dessus de la Pologne ainsi que des situations anticycloniques avec un afflux des masses d'air de l'est. Une augmentation de la nébulosité est due, avant tout, à une dépression avec le centre au-dessus de la Pologne et à l'afflux de l'air du nord accompagné par le système nul de la pression;
- au cours de l'année, la nébulosité diminue principalement à la faveur de l'advection des masses d'air du secteur méridional, dans le système anticyclonique de la pression (à Łódź, la nébulosité moyenne pour 24h pendant les jours avec ce macrotype de la circulation est la plus faible et s'élève à 52%). On observe la corrélation positive essentielle de la nébulosité et de l'afflux de l'air des secteurs oriental et

septentrional, avec le système cyclonique de la pression (la nébulosité moyenne pour 24h à Łódź s'élève respectivement à 81% et 82%).

Tendances multiannuelles des changements

Une tendance diminutive essentielle de la grandeur de la nébulosité en mai correspond à une intensification de la composante méridionale de la circulation pendant ce mois (une tendance diminutive V_N). Une analyse des tendances de changements du nombre de jours avec les macrotypes particuliers de la circulation indique en même temps que les tendances de croissance concernent principalement les systèmes anticycloniques à la composante méridionale (S_A et SW_A) et le centre des hautes pressions au-dessus de la Pologne qui réduisent essentiellement la grandeur de la nébulosité en mai.

En septembre la tendance négative des changements de la pression atmosphérique pourrait être considérée comme la cause principale d'une augmentation de la nébulosité. En 1951-2000, on a observé une augmentation du nombre de jours avec les types cycloniques à la direction orientale de l'advection (E_C et SE_C) et avec le centre de la dépression au-dessus de la Pologne se caractérisant par une corrélation positive avec la nébulosité. Les tendances constatées de changements de la nébulosité en Pologne correspondent aux changements d'autres éléments du climat, diversifiés au cours des mois particuliers: ainsi, p.ex., on a observé en mai un accroissement essentiel du rayonnement global et de la température et une diminution de la quantité de précipitations, en juin et en septembre, par contre, une tendance négative du rayonnement et de la température et une tendance positive des précipitations (Bogdańska, Podogrocki, 2000; Kozuchowski, Żmudzka, 2002; Żmudzka, 2002).

Conclusion

Les tendances des changements et une grande partie de la variabilité de la grandeur de la nébulosité en Pologne pourraient être expliquées par une influence directe de la circulation atmosphérique. La circulation zonale ouest en Europe Centrale influe, de façon importante, sur la grandeur de la nébulosité en Pologne pendant l'été, surtout en juillet, et au tournant de l'automne et de l'hiver (principalement en novembre). En été, cette composante occidentale contribue à l'accroissement de la grandeur de la nébulosité tandis qu'en novembre – à sa diminution.

L'influence de la circulation méridienne sur la formation de la nébulosité est la plus forte dans les saisons transitoires de l'année, surtout en septembre et en octobre (en automne, la nébulosité diminue principalement à la faveur de l'advection des masses d'air du secteur méridional). Pendant toute l'année c'est le système de la pression qui exerce une influence essentielle sur la formation de la grandeur de la nébulosité. La pression atmosphérique au centre de l'Europe Centrale influe avec le plus d'intensité sur la grandeur de la nébulosité en juillet, ensuite en septembre et en mars – à l'accroissement de la pression correspond une diminution de la nébulosité.

Bibliographie

- BOGDAŃSKA, B., PODOGROCKI, J., 2000: *La variabilité du rayonnement dans le territoire polonais pendant la période 1961-1995*. IMGW.
- KOZUCHOWSKI, K., ŻMUDZKA, E., 2002: Le réchauffement en Pologne: l'échelle et la distribution saisonnière des changements de la température de l'air dans la seconde moitié du XX^e siècle. *Przegląd Geofizyczny*, 46, 1-2: 81-90.
- PAWŁOWSKA, J., JANKOWSKA, A., PINDOR, T., 2000: *Calendrier des types de la circulation atmosphérique selon J. Lityński (1991-1999)*. IMGW.
- STĘPNIEWSKA-PODRAZKA, M., 1991: *Calendrier des types de la circulation atmosphérique (1951-1990)*. IMGW.
- ŻMUDZKA, E., 2002: Sur la variabilité des précipitations atmosphérique dans le territoire polonais de plaine dans la seconde moitié du XX^e siècle. *Wiadomości IMGW*, 25, 4: 23-38.
- ŻMUDZKA, E., 2003: La grandeur de la nébulosité en Pologne dans la seconde moitié du XX^e siècle. *Przegląd Geofizyczny* (sous presse).

Informacje dla autorów i czytelników

„DOKUMENTACJA GEOGRAFICZNA” – ukazuje się w standardowym nakładzie 200 egzemplarzy.

Sprzedaż publikacji IGiPZ PAN prowadzą księgarnie:

– DHN, ul. Twarda 51/55, 00-818 Warszawa, tel. 69 78 835, czynna od poniedziałku do piątku w godz. od 9 do 17.

– Główna Księgarnia Naukowa im. Bolesława Prusa, Krakowskie Przedmieście 7, 00-068 Warszawa, tel. 826 18 35.

Wymagania techniczne stawiane pracom składanym do druku w serii „DOKUMENTACJA GEOGRAFICZNA”

Tekst i tabele należy przygotować na dyskietce (3,5” Microdisks) w programie WORD 7.0, podpisy pod ryciny w języku polskim i angielskim powinny być umieszczone w oddzielnym pliku, ryciny (opracowane komputerowo lub na kalce) w postaci czystorysów gotowych do druku.

Do każdej pracy w języku polskim należy dołączyć streszczenie angielskie (1-2 strony) oraz abstrakt (3-6 zdań) i słowa kluczowe (3-4), również w języku angielskim.

DOKUMENTACJA GEOGRAFICZNA

1999

14. JANUSZ PASZYŃSKI, KRYSZYNA MIARA, JÓZEF SKOCZEK – Wymiana energii między atmosferą a podłożem jako podstawa kartowania topoklimatycznego.

2000

15. PIOTR EBERHARDT – Przemieszczenia ludności na terytorium Polski spowodowane II wojną światową.
16. TERESA KOZŁOWSKA-SZCZĘSNA – Stan badań klimatu i bioklimatu uzdrowisk polskich.
17. EWA NOWOSIELSKA – Sektor usług w Aglomeracji Warszawskiej 1992-1997: przemiany strukturalne i tendencje rozwoju.
18. TEOFIL LJEWSKI – Problemy zagospodarowania przestrzennego Polski w świetle przebudowy infrastruktury komunikacyjnej.
19. JAN MAREK MATUSZKIEWICZ, EWA ROO-ZIELIŃSKA (red.) – Międzywale Wisły jako swoisty układ przyrodniczy (odcinek Pilica-Narew).
20. BOŻENA GAŁCZYŃSKA, ROMAN KULIKOWSKI – Wieś i rolnictwo strefy podmiejskiej Warszawy. Zróżnicowania przestrzenne i procesy transformacji.
21. MARIUSZ KOWALSKI, PRZEMYSŁAW ŚLESZYŃSKI – Uwarunkowania zachowań wyborczych w województwie śląskim.

2001

22. JERZY BAŃSKI – Stan i perspektywy rolnictwa na obszarach problemowych w Polsce.
23. MAGDALENA KUCHCIK (red.) – Współczesne badania topoklimatyczne.
24. TERESA KOZŁOWSKA-SZCZĘSNA, KRZYSZTOF BŁAŻEJCZYK, BARBARA KRAWCZYK – Bioklimat Krasnobrodu.

2002

25. ELŻBIETA BARBARA KOZUBEK – Zmiany użytkowania ziemi w regionie tarnobrzeskim pod wpływem uprzemysłowienia w latach 1937–1992 w świetle interpretacji map i obrazów satelitarnych.
26. KRZYSZTOF BŁAŻEJCZYK – Znaczenie czynników cyrkulacyjnych i lokalnych w kształtowaniu klimatu i bioklimatu aglomeracji warszawskiej.
27. BOŻENA GAŁCZYŃSKA, MARGARITA ILIEVA (eds) – Transformations of rural areas in Poland and Bulgaria. A case study.
28. KRZYSZTOF BŁAŻEJCZYK, MAGDALENA KUCHCIK (red.) – Klimat i bioklimat Głuchołaz i Jarnołtówka.

PL – ISSN 0012-5032
ISBN 83-87954-38-1

<http://rcin.org.pl>