

ne me permettent pas de donner l'épure de ce berceau ; cependant, je ne doute pas que le lecteur, envieux de se perfectionner dans la coupe des pierres, ne vienne à bout de la dessiner de lui-même, d'après l'explication générale que je viens d'en donner.

CHAPITRE VIII.

Des Berceaux en descente.

319. Les berceaux en descente ne diffèrent des berceaux proprement dits, qu'en ce que les génératrices des premiers sont inclinées à l'horizon, tandis que celles des seconds sont horizontales (n°. 294); mais cette seule différence, dans la position des génératrices des surfaces d'intrados, en amène de grandes dans la forme de la voûte, dans l'appareil, et sur-tout dans les difficultés qui en résultent dans le tracer des épures. Du reste, les berceaux en descente, aussi bien que les berceaux proprement dits, peuvent être pratiqués au travers des murs droits, des murs en talus, des murs gauches, des murs cylindriques droits, des murs cylindriques obliques, des murs coniques droits et des murs coniques obliques. Passons de suite à des exemples.

DES BERCEAUX EN DESCENTE PRATIQUÉS AU TRAVERS DES MURS DROITS.

Nous expliquerons ces sortes de berceaux en même temps que ceux pratiqués au travers des murs en talus.

DES BERCEAUX EN DESCENTE PRATIQUÉS AU TRAVERS DES MURS EN TALUS.

320. Nous distinguerons deux espèces de berceaux en descente pratiqués au travers des murs en talus : ceux dans lesquels les projections horizontales des arrêtes des douëlles seront perpendiculaires à la trace horizontale du plan en talus, et que nous appellerons *berceaux en descente droits et en talus*, et ceux dans lesquels les mêmes projections horizontales seront obliques à la trace horizontale du plan en talus, et que nous nommerons *berceaux en descente biais et en talus*.

DES BERCEAUX EN DESCENTE DROITS ET EN TALUS.

321. Supposons 1°. que la courbe régulière quelconque BFD (fig. 204) soit le demi-ceintre de face (sur le plan en talus du mur) du berceau en descente dont il s'agit; 2°. que les droites A'h, A³c soient les traces horizontales des faces du mur en talus au travers duquel on veut pratiquer le berceau en descente, la trace A'h étant celle de la face en talus; 3°. que le quadrilatère k'h'rr' soit une section faite dans le mur en talus par un plan vertical perpendiculaire à la trace horizontale A'h' du plan en talus; 4°. que la droite k'h', de ce quadrilatère, soit la ligne de terre de la section, et la droite h'r la ligne du talus, de sorte que l'angle k'h'r soit l'inclinaison du plan en talus par rapport au plan horizontal; 5°. enfin supposons que la droite kk' soit la projection verticale (dans le plan de la section faite dans le mur en talus) de l'axe de la face cylindrique du berceau. Cela posé, voici comment on opérera pour dessiner l'épure du berceau en question :

On divisera le ceintre de face BFD,....., en autant de parties égales qu'on voudra avoir d'assises de voussoirs; on disposera l'appareil, et on obtiendra les projections horizontales des arrêtes des douëlles et des extrémités des coupes, comme pour les berceaux ordinaires. Cela fait, on prendra les ordonnées E⁴E, F⁴F, G⁴G du ceintre de face, que l'on portera sur la ligne de talus kr, à partir du point k, de manière que les distances kl, ko, kp et kq, soient respectivement égales à ces ordonnées; puis, par les points l, o, p et q, on mena les droites ll', oo', pp' et qq' parallèles à la projection verticale kk' de l'axe du berceau, lesquelles droites seront les projections verticales des arrêtes des douëlles des voussoirs; par les mêmes points l, o, p et q, et le point k, on abaissera, à la ligne de terre h'k', les perpendiculaires ka, le, of, pg et qA², lesquelles iront rencontrer respectivement les projections horizontales des arrêtes des douëlles aux points a, e, f, g et A², par lesquels on fera passer une courbe aefgA² qui sera la moitié de la projection horizontale de l'intersection de la surface cylindrique du berceau avec la face en talus du mur. Pour avoir les projections horizontales ee', ff' et gg', des intersections des plans des coupes du berceau avec le plan en talus, on opérera sur les arrêtes des extrémités des coupes, comme nous venons de l'indiquer sur les arrêtes des douëlles, ainsi que les lignes ponctuées de construction l'indiquent dans l'épure. Ces lignes ponctuées indiquent qu'on a transporté les hauteurs des ordonnées du ceintre de face BFD, et des extrémités des coupes sur la droite kO², à partir du point k, et qu'ensuite, par le point k, comme centre, on a décrit les arcs de cercle I²l, K²n, L²o, etc.; pour transporter

les mêmes hauteurs sur la ligne de talus kr . Si la courbe BFD était le ceintre de face, non pas sur le plan en talus, comme nous venons de le supposer, mais sur la face verticale du mur dont les traces sont les droites A^3k' , $k'r'$, il ne faudrait point décrire les arcs de cercle dont nous venons de parler, mais il faudrait, par les points I^2 , K^2 , L^2 , M^2 , N^2 et O^2 , mener des parallèles à la droite kk' pour avoir les projections verticales des arrêtes des douëlles et des extrémités des coupes du berceau. Dans ce cas, les points l , n , o , p , q et r seraient les rencontres de ces parallèles (à la droite kk') avec la ligne kr du talus, et serviraient encore, comme précédemment, à obtenir la projection horizontale des intersections de l'intrados et des plans des coupes du berceau avec le plan en talus. Il est essentiel d'observer que cette projection horizontale est inutile pour tracer les voussoirs du berceau dont il s'agit, et que nous ne la donnons que comme introduction aux épures suivantes.

Il est facile de voir que si le plan en talus devenait vertical, la ligne de talus kr coïnciderait avec la verticale kO^2 , et que, par conséquent, la projection horizontale des intersections de l'intrados et des plans des coupes du berceau, avec cette face du mur, serait la trace horizontale mb de cette même face, comme la trace A^3c est la projection horizontale des intersections des mêmes surfaces avec la face verticale du mur en talus; d'où il suit évidemment l'explication de l'épure d'un berceau en descente pratiqué dans un mur droit, c'est-à-dire, d'où l'on voit la différence qu'il y a entre l'épure d'un berceau de cette espèce, à celle du berceau dont il est question dans cet article.

Cherchons, maintenant, le ceintre principal ou la section droite du berceau. Le plan qui donne cette section droite est perpendiculaire à l'axe de la surface cylindrique du berceau (n°. 201); mais les traces d'un plan perpendiculaire à une droite sont perpendiculaires aux projections de cette droite (n°. 166); d'où il suit que les traces TP , PQ du plan de la section droite de notre berceau sont, la première perpendiculaire à la projection horizontale A^2A^3 de l'axe du berceau (et en même temps à la ligne de terre h/k'), et la seconde perpendiculaire à la projection verticale kk' du même axe. Ces deux traces seraient toutes les deux nécessaires si l'on voulait avoir les projections de la section droite, et si la trace horizontale TP n'était pas perpendiculaire à la ligne de terre h/k' ; mais, dans le cas actuel, il suffit d'avoir la trace verticale PQ ; la projection horizontale de la section droite est inutile; la projection verticale seule est nécessaire, et cette projection verticale est la portion $s'Q$ de la trace verticale PQ du plan de la section droite; de sorte que pour avoir cette projection verticale il suffira

de mener une perpendiculaire quelconque $s'Q$ ou sT à la droite kk' ; je dis de mener *quelconque* cette perpendiculaire, parce que la section droite reste constante quand on fait mouvoir son plan parallèlement à lui-même. En profitant de cette observation, on préférera de mener la perpendiculaire sT (à la droite kk'), qui rencontre toutes les projections verticales des arrêtes des douëlles et des extrémités des coupes, au lieu de l'autre $s'Q$ qui obligerait de prolonger toutes les projections dont nous venons de parler jusqu'aux points l^2 , n^4 , o^2 , p^2 , etc. La droite kk' est à la fois la projection verticale de l'axe et des génératrices de naissance de l'intrados du berceau; ou en d'autres termes, cette droite kk' est la projection verticale d'un plan mené par les génératrices de naissance perpendiculairement au plan vertical; d'où il suit que le point s est la projection verticale de l'intersection de ce plan des génératrices de naissance avec celui de la section droite. Cette intersection, terminée aux génératrices de naissance, est évidemment un des axes du ceintre principal du berceau. Par conséquent les distances su , sx , sy et sz seront les grandeurs des ordonnées de ce ceintre principal. Quant aux abscisses de ce même ceintre, il est clair qu'elles seront les distances de^2 , e^2f^2 , f^2g^2 et g^2A^3 , comprises entre les projections horizontales des arrêtes des douëlles des berceaux, car les ordonnées ne sont que les intersections, avec le plan de la section droite, des plans projetans des arrêtes des douëlles sur le plan horizontal, lesquels plans projetans sont partout à égales distances deux à deux. Ainsi donc, en faisant les distances e^2e^4 , f^2f^5 , g^2g^5 et A^3A^4 respectivement égales aux distances su , sx , sy et sz , et en faisant passer une courbe à la main par les points d , e^4 , f^5 , g^5 et A^4 , on aura la moitié du ceintre demandé. Par les mêmes raisons, si l'on fait les distances e^3e^5 , f^3f^4 et g^3g^4 respectivement égales aux distances sv , sz et st , et que par les points e^4 et e^5 , f^5 et f^4 , g^5 et g^4 on mène les droites e^4e^5 , f^5f^4 et g^5g^4 , ces dernières lignes seront les coupes de la section droite du berceau; de sorte qu'en menant les horizontales e^5e^6 , f^4f^6 et g^4g^6 , et en abaissant les verticales G^2G^5 , F^2F^5 et E^3e , on obtiendra les figures $de^4e^5e^6c$, $e^4e^5f^7f^6f^4f^5$, $f^5f^4g^7g^6g^4g^5$, qui seront les panneaux de tête des voussoirs pour servir à tracer les joints perpendiculaires aux arrêtes des douëlles; et l'épure sera terminée.

322. Pour avoir le développement des panneaux des douëlles et des coupes, on étendra la demi-section droite $de^4f^5g^5A^4$ sur une ligne droite AB (fig. 205), comme pour les berceaux proprement dits, et par les points B , E , D , C et A , on mènera les droites $B'B^2$, $E'E^2$, $D'D^2$, $C'C^2$ et $A'A^2$ perpendiculaires à la droite AB ; puis on fera les distances BB' , EE' , DD' , CC'

et AA' respectivement égales aux distances sk , ul , xo , yp et zq (fig. 204), et par les points B' , E' , D' , C' et A' (fig. 205), on fera passer la courbe $B'E'D'C'A'$, qui sera l'un des bords du développement des panneaux des douëles; pour avoir l'autre bord $B^2E^2D^2C^2A^2$, on fera les distances BB^2 , EE^2 , DD^2 , CC^2 et AA^2 , respectivement égales aux distances sk' , ul' , xo' , yp' et zq' (fig. 204); pour avoir les panneaux des coupes, on fera les distances EF , DG et CH (fig. 205), respectivement égales aux largeurs e^4e^5 , f^5f^4 et g^5g^4 des coupes prises dans la section droite; par les points F , G et H , on menera les droites $F'F^2$, $G'G^2$, $H'H^2$, perpendiculaires à la droite AB ; on fera les distances FF' , GG' et HH' respectivement égales aux distances vn , zq et tr (fig. 204); et, par les points E' et F' , D' et G' , C' et H' (fig. 205), on menera les droites $E'F'$, $D'G'$ et $C'H'$, qui formeront un bord des panneaux demandés. Pour avoir l'autre bord, on fera les distances FF^2 , GG^2 et HH^2 (fig. 205), respectivement égales aux distances vn' , zq' et tr' (fig. 204), et on menera les droites E^2F^2 , D^2G^2 et C^2H^2 (fig. 205).

Pour tracer les voussoirs par panneaux, on s'y prendra de la même manière que nous avons expliquée au n^o. 305, en prenant les panneaux de tête sur la section droite, et en prenant la plus grande longueur des pierres dans la projection verticale, ainsi que le rectangle $k'RnS$ l'indique pour un premier voussoir.

323. Après avoir équare la pierre au panneau de tête, on pourrait tracer sur cette pierre l'intersection $uvxyz$ (fig. 206) du plan de la section droite avec le premier voussoir, et faire ensuite les distances vi , um^2 , zm' , yn et xh (fig. 206) respectivement égales aux distances sk , sk , ul , vn et vn (fig. 204), et joindre les points m^2 , i , h , n et m' (fig. 206) par les droites m^2i , ih , hn , et nm' , par lesquelles on fera passer un plan qui sera la tête du voussoir du côté du talus. Pour avoir la tête du côté de la face verticale du mur, on fera les distances vd , ur , zl , yo et xt (fig. 206) respectivement égales aux distances sk' , sk' , ul' , vn' et vn' (fig. 204), et on joindra les points r , d , t , o et l (fig. 206) par les droites rd , dt , to , et ol , par lesquelles on fera passer un plan qui sera la seconde tête du voussoir. On tracerait les autres voussoirs en s'y prenant d'une manière semblable.

On pourrait encore tracer les voussoirs des berceaux droits en descente et en talus, de la manière suivante :

S'il s'agissait du premier voussoir, on ferait le parement de la pierre qui devrait contenir la douëlle, sur lequel, au moyen d'un panneau ou autrement, on tracerait la figure $k'knn'$, et on ferait, d'équerre à ce parement, les quatre faces contiguës aux côtés de cette figure $k'knn'$; ensuite,

sur la face répondante à la droite kn , qui serait la tête en talus du voussoir, on appliquerait le panneau de tête BEE/E^3B' , pris sur le ceintre de face BED , ce qui donnerait sur cette tête la courbure de la douëlle et la direction de la coupe du lit de dessus. On conçoit facilement comment ensuite on terminerait le voussoir.

DES BERCEAUX EN DESCENTE BIAIS ET EN TALUS.

324. Supposons 1°. que la courbe régulière quelconque ADB (fig. 207) soit la projection verticale du ceintre de face, du berceau en descente dont il s'agit, qui est situé sur la face verticale du mur en talus, la ligne de terre AB de cette projection verticale étant perpendiculaire à la projection horizontale de l'axe du berceau; 2°. que la droite IH soit la trace horizontale de la face verticale du mur, et que la droite EG soit la projection horizontale de l'intersection du plan qui passe par les génératrices de naissance du berceau avec le plan en talus; 3°. que l'intersection dont nous venons de parler soit une droite horizontale parallèle à la face verticale du mur, d'où il s'ensuivra que la projection horizontale EG , de cette même intersection, sera parallèle à la trace horizontale IH ; 4°. que le quadrilatère $INMK$ soit la section droite du mur, la droite MK étant la ligne de talus, la droite IK la ligne de terre, et la droite IN l'intersection du plan de la section avec la face verticale du mur; 5°. enfin, que la droite IL soit la projection verticale de l'axe et des génératrices de naissance du berceau, de sorte que la distance TL soit la hauteur du rampant du berceau. D'après ces conditions il est clair qu'on aura les projections horizontales $Ea^2b^2c^2C^2.....G$, et a^2f^2, b^2e^2, c^2d^2 , etc., des intersections de l'intrados et des plans des coupes du berceau, par la méthode donnée au n°. 321, en observant de porter les ordonnées $a/a, b/b, c/c,$, et les hauteurs $f/f, e/e, d/d$, etc., des extrémités des coupes du ceintre de face, sur la ligne IN de la face verticale du mur, à partir du point I .

Si les deux faces du mur étaient verticales, la ligne du talus KM serait le prolongement de la droite EG , laquelle deviendrait, à la fois, la trace horizontale de la face du mur, et la projection horizontale de tout ce qui est situé sur cette même face; d'où il s'ensuivrait que la section droite $INMK$ du mur deviendrait inutile.

La projection verticale, sur le plan dont la ligne de terre est la droite IK , ne donne plus, comme dans le cas du n°. 321, les véritables longueurs des arrêtes des douëlles et des extrémités des coupes, en ce que la ligne de terre IK n'est pas parallèle aux projections horizontales EF, a^2a^3 , etc., des

arrêtes des douëlles, ce qui nous oblige à avoir une seconde projection verticale dans un plan parallèle aux plans projetans des arrêtes des douëlles.

Pour avoir cette projection verticale, on prendra une ligne de terre PQ parallèle à la projection horizontale C^1C^3 de l'axe du berceau; on menera la droite RS parallèle à la ligne de terre PQ, et à une distance PR égale à la hauteur TL du rampant du berceau; par les sommets E et G, F et H, des jambages du berceau, on élèvera les perpendiculaires ER, GS, FO et HQ; les deux premières, de ces perpendiculaires, rencontreront la droite RS aux points R et S, et les deux dernières rencontreront la ligne de terre PQ aux points O et Q; on joindra les points R et O, S et Q par les droites RO, SQ, qui seront les projections verticales des génératrices de naissance du berceau. La droite RS sera la projection verticale de l'intersection du plan qui passe par les génératrices de naissance du berceau avec le plan en talus, et la ligne de terre OQ sera la projection verticale de l'intersection du même plan, qui passe par les génératrices de naissance, avec la face verticale du mur. Cela fait, on cherchera la projection verticale $Oa^6b^6c^6C^6\dots Q$ du ceintre de face situé sur la face verticale du mur, et on l'obtiendra en élevant, par les points a^3, b^3, c^3, C^3 , etc., les perpendiculaires $a^3a^6, b^3b^6, c^3c^6, C^3C^6$, etc., à la ligne de terre PQ; en faisant $a^3a^6, b^3b^6, c^3c^6, C^3C^6$, etc., respectivement égales aux ordonnées a^1a, b^1b, c^1c, CD , etc., et en faisant passer à la main la courbe $Oa^6b^6c^6C^6\dots Q$, par les points O, $a^6, b^6, c^6, C^6\dots Q$, qui sera la projection demandée, sauf celles des intersections des plans des coupes du berceau avec la face verticale du mur. Pour avoir ces dernières projections, on élèvera, par les points f^3, e^3, d^3 , etc., les perpendiculaires f^3f^6, e^3e^6, d^3d^6 , etc., à la ligne de terre PQ; on fera les hauteurs f^3f^6, e^3e^6, d^3d^6 , etc., égales aux hauteurs f^1f, e^1e, d^1d , etc., et on joindra les points a^6 et f^6, b^6 et e^6, c^6 et d^6 , etc., par les droites a^6f^6, b^6e^6, c^6d^6 , etc., qui seront les projections verticales des intersections des plans des coupes du berceau avec la face verticale du mur.

Pour avoir les projections verticales des arrêtes des douëlles et des extrémités des coupes, et des intersections de l'intrados et des plans des coupes du berceau avec la face en talus du mur; 1°. pour les arrêtes des douëlles et pour l'intersection de l'intrados du berceau avec le plan en talus, par les points a^6, b^6, c^6, C^6 , etc.; on menera les droites $a^6a^7, b^6b^7, c^6c^7, C^6C^7$, etc., parallèlement à la droite QS ou OR, et par les points a^2, b^2, c^2, C^2 , etc., on élèvera les droites $a^2a^7, b^2b^7, c^2c^7, C^2C^7$, etc., perpendiculairement à la ligne de terre PQ, lesquelles iront rencontrer les parallèles à QS respectivement aux points a^7, b^7, c^7, C^7 , etc., par lesquels, et les points R et S, on fera passer

une courbe $Ra^7b^7c^7C^7.....S$, qui sera la projection verticale de l'intersection de l'intrados avec le plan en talus ; et les droites a^6a^7 , b^6b^7 , c^6c^7 , C^6C^7 , etc., seront les projections verticales des arrêtes des douëlles ; 2°. pour les arrêtes des extrémités des coupes, et pour les intersections des plans des coupes avec le plan en talus, par les points f^6 , e^6 , d^4 , etc., on mènera les droites f^6f^7 , e^6e^7 , d^4d^5 , etc., parallèlement à la droite QS ou OR par les points f^2 , e^2 , d^2 , etc., on élèvera les droites f^2f^7 , e^2e^7 , d^2d^5 , etc., perpendiculairement à la ligne de terre PQ , lesquelles iront respectivement rencontrer les parallèles à la droite QS , aux points f^7 , e^7 , d^5 , etc., que l'on joindra respectivement avec les points a^7 , b^7 , c^7 , etc., par les droites a^7f^7 , b^7e^7 , c^7d^5 , etc., qui seront les projections verticales des intersections des plans des coupes avec le plan en talus, et les droites f^6f^7 , e^6e^7 , d^4d^5 , etc., seront celles des extrémités des coupes.

Pour avoir la section droite $F'C^8H^2$ du berceau, on mènera la droite gt perpendiculairement à la droite SQ ; on prolongera les projections horizontales des arrêtes des douëlles, si cela est nécessaire, et on mènera la perpendiculaire $F'H'$ quelconque à ces mêmes projections horizontales. Cela fait, on fera la distance $H'H^2$ égale à la distance gh , comprise entre les projections verticales des génératrices de naissance, et on joindra les points F' et H^2 par la droite $F'H^2$, qui sera le diamètre de la section droite. Puis, on fera les distances a^9a^{10} , b^9b^{10} , c^9c^{10} , $C^{10}C^8$, etc., respectivement égales aux distances gi , gm , gp , gr , etc., du point g aux points où les projections verticales des arrêtes des douëlles vont rencontrer la droite gt , et par les points F' , a^{10} , b^{10} , c^{10} , C^8 , H^2 , on fera passer la courbe $F'C^8H^2$, qui sera la section droite demandée.

Quant aux coupes $a^{10}f^{10}$, $b^{10}e^{10}$, $c^{10}d^{10}$, etc., de cette section droite, on les aura en faisant les distances f^9f^{10} , e^9e^{10} , d^9d^{10} , etc., respectivement égales aux distances gk , gp , gt , etc., du point g aux points où les projections verticales des arrêtes des extrémités des coupes vont rencontrer la droite gt , et on joindra ensuite les points a^{10} et f^{10} , b^{10} et e^{10} , c^{10} et d^{10} , etc., par des droites qui seront les coupes demandées. Si la courbe ADB était une demi-circonférence de cercle, ces coupes tendraient au point C^9 , et la courbe $F'C^8H^2$ serait une demi-ellipse rapportée à ses diamètres conjugués.

Il ne s'agit plus, maintenant, que de trouver le développement des panneaux des douëlles et des coupes (fig. 208) pour que l'épure soit terminée. Pour cela, on étendra, comme à l'ordinaire, la courbe $F'C^8H^2$ (fig. 207) de la section droite, sur une droite AB (fig. 208), on mènera, à cette droite AB , les perpendiculaires CM' , DN , EO , FP , GQ , etc., qui doivent

*

représenter, dans le développement, les arrêtes des douëlles; on fera les distances AC , YD , VE , LF , MG , etc., respectivement égales aux distances gR , ia^7 , mb^7 , pc^7 , rC^7 , etc., par rapport à la droite gt (fig. 207) des points R , a^7 , b^7 , c^7 , C^7 , etc., de la projection verticale RC^7S de l'intersection de l'intrados du berceau avec le plan en talus, et par les points C , D , E , F , G , L' (fig. 208), on fera passer la courbe $CDEFG$ L' qui sera un des bords du développement des douëlles; pour avoir l'autre bord $M'NOPQ$ U' , on fera les distances AM' , YN , VO , LP , MQ , etc., respectivement égales aux distances gO , ia^6 , mb^6 , pc^6 , rC^6 , etc. (fig. 207), par rapport à la droite gt , des points O , a^6 , b^6 , c^6 , C^6 , etc., de la projection verticale OC^6Q de l'intersection de l'intrados du berceau avec la face verticale du mur.

Quant aux panneaux des coupes, on les obtiendra de la même manière, en observant toujours de faire les largeurs YX , VZ , IT , etc. (fig. 208), de ces coupes, respectivement égales aux coupes $a^{10}f^{10}$, $b^{10}e^{10}$, $c^{10}d^{10}$, etc., de la section droite (fig. 207).

Outre les panneaux des coupes, il faut encore des panneaux pour tracer les arrêtes des têtes des voussoirs sur les plans inclinés qui forment les états de charge, et qui sont représentés dans la section droite (fig. 207) par les droites $F'u$, $f^{10}v$, etc. Pour avoir ces panneaux, on fixera, à volonté, la largeur $F'u$; par le point u , on menera la droite uu^2 parallèle à $C^{10}C$; par le point u^2 , où la droite uu^2 rencontre la projection horizontale EG de l'intersection du plan qui passe par les naissances du berceau, avec le plan en talus, on élèvera la droite u^2x , perpendiculaire à la ligne de terre PQ ; par le point x , où cette droite u^2x rencontre la droite Rx , on menera la droite xy parallèle à la droite RO . Cela fait, on aura le panneau du lit de pose du premier voussoir, de la manière suivante: on menera une droite AB quelconque (fig. 209), sur laquelle on fera la distance AB égale à $F'u$ (fig. 207); par les points A et B (fig. 209), on élèvera les droites DC , FH , perpendiculaires à AB ; on fera les distances AC et BE respectivement égales aux distances yx , gR (fig. 207), et on joindra les points C et E par la droite CE (fig. 209), qui sera le bord du panneau du côté du talus. Pour avoir l'autre bord DF , on fera les distances CD et EF , chacune égale à RO (fig. 207), et on joindra les points D et F (fig. 209) par la droite DF , qui sera, par conséquent, parallèle à CE , comme cela doit être, à cause que les intersections du plan qui contient ce panneau avec les faces du mur sont des droites parallèles. Pour avoir le panneau du lit de dessus du même voussoir,

on fera la distance BL (fig. 209) égale à $f^{10}v$ (fig. 207), par le point L on mènera la droite LI perpendiculaire à AB ; on fera la distance BH , égale à kf^7 (fig. 207), et par le point H on mènera la droite IH (fig. 209) qui sera le bord du panneau du côté du talus. Pour avoir l'autre bord KG , on fera les distances IK , HG , chacune égale à la distance f^6f^7 (fig. 207), et on joindra les points K et G par la droite KG (fig. 209), qui sera parallèle à IH . On s'y prendrait de la même manière pour avoir les panneaux des plans qui forment les états de charge des autres voussoirs.

Quant à la manière de tracer les voussoirs, il faudra toujours se servir des panneaux de tête levés sur la section droite, pour équarrir les voussoirs comme s'il ne s'agissait que d'un berceau ordinaire dans un mur droit, et ensuite, pour tracer les têtes des voussoirs, on se servira convenablement des panneaux des douëlles, des coupes et des plans qui forment les états de charge, ou bien en traçant sur le voussoir l'intersection du plan de la section droite, et en rapportant, sur la pierre, les longueurs des arrêtes, comme dans le cas des berceaux en descente droits en talus (n°. 323). Dans le cas où les voussoirs feraient seuls l'épaisseur du mur, avant de les équarrir aux panneaux de tête, on chercherait leurs plus grandes longueurs sur la projection verticale dont la droite PQ est la ligne de terre. La fig. 210 représente le premier voussoir, dont le panneau de tête est $F'a^{10}f^{10}vu$ (fig. 207). Dans cette figure 210, les têtes primitives du voussoir sont $yghdc$, $vselk$; la tête en talus est $ukmt'$; la tête du côté de la face verticale du mur est xcz^2z/z , et l'intersection du plan de la section droite est $pqrno$.

DES BERCEAUX EN DESCENTE PRATIQUÉS DANS LES MURS GAUCHES.

325. Supposons 1°. que la droite GI soit la trace horizontale de la face verticale du mur; 2°. que la droite FH soit la projection horizontale de la génératrice, de la surface gauche, qui passe par les points où les génératrices de naissance, de l'intrados du berceau, percent la face gauche du mur; 3°. que les droites Nk^4 , QR soient les projections horizontales des directrices de la surface gauche, et que les droites $N'N^2$, ST , soient les projections verticales des mêmes directrices, dans un plan vertical dont la ligne de terre est l'une Nk^4 des projections horizontales de ces mêmes directrices; 4°. que la surface gauche soit engendrée par une ligne droite qui, restant toujours de niveau, glisse sur les deux directrices dont nous venons de parler; 5°. enfin, supposons que la courbe régulière quelconque ABC soit la

projection verticale du ceintre de face, du berceau, situé sur la face plane et verticale du mur, dans un plan vertical dont la ligne de terre AC soit perpendiculaire à la projection horizontale de l'axe du berceau. Cela posé, voici comment on obtiendra la projection horizontale des intersections de l'intrados, des plans des coupes et de ceux d'état de charge des voussoirs du berceau avec la surface gauche.

On commencera par mener la droite N'S parallèlement à la ligne de terre NO, et à une distance égale à la hauteur de la rampe du berceau; ensuite, (puisque la droite FH est la projection horizontale de la génératrice, de la surface gauche, qui passe par les points où les génératrices de naissance du berceau rencontrent la surface gauche) par les points F et H, on élèvera les droites FP', HO' perpendiculaires à la ligne de terre NO, et les points P' et O' seront les projections verticales des points où les génératrices de naissance du berceau rencontrent la surface gauche; puis par les points G et I, on élèvera les droites GP, IO perpendiculaires à la ligne de terre NO, et les points P et O seront les projections verticales des points où les génératrices de naissance rencontrent la face plane et verticale du mur: si donc on joint les points P et P', O et O', par les droites PP', OO', ces droites seront les projections verticales des génératrices de naissance elles-mêmes. Cela fait, on cherchera les projections horizontales et verticales d'un certain nombre de génératrices de la surface gauche; pour cela, on menera arbitrairement les droites N⁴N⁷, N²T, etc., parallèlement à la ligne de terre NO, lesquelles seront les projections verticales des génératrices en question; puis, par les points N⁴, N², etc. (où ces droites N⁴N⁷, N²T, etc., rencontrent la projection verticale N'N² de la directrice dont la projection horizontale est la ligne de terre NO), on abaissera les perpendiculaires N⁴N⁵, N²N³, etc.; par les points N⁷, T, etc. (où les mêmes droites N⁴N⁷, N²T, etc., rencontrent la projection verticale ST de la directrice dont la projection horizontale est la droite QR), on abaissera, à la ligne de terre NO, les perpendiculaires N⁷N⁶, TU, etc., qui iront rencontrer la droite QR aux points N⁶, U, etc., par lesquels, et les pieds N⁵, N³, etc., des perpendiculaires abaissées des points N⁴, N², etc., sur la ligne de terre NO, on menera les droites N⁶N⁵, UN³, etc., qui seront les projections horizontales d'une suite de génératrices de la surface gauche. Cela fait, on imaginera des plans verticaux élevés sur les projections horizontales des arrêtes et des milieux des douëlles, des extrémités et des milieux des coupes, ainsi que d'un certain nombre de droites parallèles aux arrêtes des douëlles et menées sur les plans formant les états de charge des vous-

soirs, et on obtiendra les projections verticales des intersections de tous ces plans avec la surface gauche, de la manière suivante :

Supposons, par exemple, qu'il s'agisse de l'intersection du plan élevé sur la droite kk^+ (qui est la projection horizontale d'une droite parallèle aux arrêtes des douilles et menée sur un plan d'état de charge), par les points k, k^3, k^3 , etc., où cette droite kk^+ rencontre les projections horizontales des génératrices de la surface gauche, on élèvera des perpendiculaires kk', k^8k^9, k^3k^2 , etc., qui iront rencontrer respectivement les projections verticales $N'S, N^4N^7, N^2T$, etc., des génératrices correspondantes, aux points k', k^9, k^2 , etc., par lesquels on fera passer la courbe $k'k^9k^2$, qui sera la projection verticale de l'intersection du plan en question avec la surface gauche. On s'y prendra de la même manière pour les autres plans, et on aura la suite d'intersections (en projection verticale) $N^1i^2, h^1h^8, a^7a^8, g^7g^8, b^7b^8, E^1E^2, c^7c^8, f^7f^8, d^7d^8, e^7e^8, l^1i^2$, et m^1m^2 , qui répondent respectivement aux plans verticaux élevés sur les droites $Ni^3, h^6h^7, a^6a^7, g^6g^7, b^6b^7, EB', c^6c^7, f^6f^7, d^6d^7, e^6e^7, ll^+$, et mm^+ , ainsi que les lignes ponctuées $kk', NN', h^7h^7, a^6a^7, g^6g^7, b^7b^7$, etc. l'indiquent. Cela fait, on cherchera (comme il a été expliqué au n°. 324) la projection verticale PB^3O du ceintre de face, du berceau, situé sur la face verticale du mur, ainsi que celles a^3h^3, b^3g^3, c^3f^3 et d^3e^3 , des intersections des plans des coupes avec la même face, et ensuite, par les points a^3, b^3, B^3, c^3 , et d^3 , on mènera les droites $a^3a^4, b^3b^4, B^3B^4, c^3c^4$, et d^3d^4 parallèles aux projections verticales OO', PP' , des génératrices de naissance du berceau, lesquelles iront rencontrer respectivement les intersections $a^7a^8, b^7b^8, E^1E^2, c^7c^8$ et d^7d^8 , aux points a^4, b^4, B^4, c^4 et d^4 , par lesquels, et les points P' et O' , on fera passer la courbe $P'a^4b^4c^4d^4O'$, qui sera la projection verticale de l'intersection de l'intrados du berceau avec la surface gauche. Par les points h^3, g^3, f^3 et e^3 , et les milieux des coupes, on mènera des droites h^3h^4, g^3g^4, f^3f^4 , et e^3e^4 , parallèlement à la droite OO' , lesquelles iront rencontrer respectivement les intersections h^7h^8, g^7g^8, f^7f^8 et e^7e^8 aux points h^4, g^4, f^4 et e^4 , par lesquels et les points a^4, b^4, c^4, d^4 (ainsi que par ceux que donneraient les droites menées par les milieux des coupes), on fera passer les courbes $a^4h^4, b^4g^4, c^4f^4, d^4e^4$, qui seront les projections verticales des intersections des plans des coupes du berceau avec la surface gauche. Maintenant, par les points a^4, b^4, B^4, c^4, d^4 , on abaissera les perpendiculaires $a^4a^5, b^4b^5, B^4B^5, c^4c^5, d^4d^5$, à la ligne de terre NO , lesquelles iront rencontrer respectivement les projections horizontales $a^6a^7, b^6b^7, EB', c^6c^7, d^6d^7$, des arrêtes des douilles, en des points a^5, b^5, B^5, c^5, d^5 , par lesquels, et les points F et H , on fera passer

une courbe $Fa^5b^5B^5c^5d^5H$ qui sera la projection horizontale de l'intersection de l'intrados du berceau avec la surface gauche. Par les points h^4, g^4, f^4, e^4 , (et les milieux des coupes) on abaissera des perpendiculaires $h^4h^5, g^4g^5, f^4f^5, e^4e^5$, à la ligne de terre NO , lesquelles iront respectivement rencontrer les projections horizontales $h^6h', g^6g', f^6f', e^6e'$ des extrémités des coupes, aux points h^5, g^5, f^5, e^5 , par lesquels et les points a^5, b^5, c^5, d^5 , on fera passer les courbes $a^5h^5, b^5g^5, c^5f^5, d^5e^5$, lesquelles seront les projections horizontales des intersections des plans des coupes du berceau avec la surface gauche.

Actuellement, il ne nous manque plus que les projections horizontales et verticales des intersections des plans des états de charges des voussoirs avec la surface gauche, que l'on obtiendra de la manière suivante :

Par les points k^4, i^3, l^4 et m^4 , où les droites kk^4, Ni^3, ll^4 et mm^4 rencontrent la trace horizontale GI de la face verticale du mur, on élèvera les perpendiculaires m^4m^5, l^4l^6, i^3i^4 , et k^4k^5 , à la ligne de terre NO ; par les points m^5, l^5, i^6 et k^5 (où ces droites viennent rencontrer les états de charge e^3m^5, h^3k^5), on menera les droites $m^5m^7, l^5l^{10}, i^6i^7$ et k^5k^6 , parallèles à la droite OO' , lesquelles iront rencontrer respectivement les intersections m^7m^2, l^7l^2, N^7i^2 et k^7k^2 (correspondantes aux droites mm^4, ll^4, Ni^3 et kk^4), aux points m^7, l^{10}, i^7 et k^6 , par lesquels, et les points e^4 et h^4 , on fera passer les courbes $e^4l^{10}m^7, h^4i^7k^6$, qui seront les projections verticales des intersections des premiers plans d'état de charge avec la surface gauche. Pour avoir les projections horizontales $k^7i^8h^5, e^5l^9m^8$; on abaissera, par les points k^6, i^7, l^{10} et m^7 , les perpendiculaires $k^6k^7, i^7i^8, l^{10}l^9$ et m^7m^8 , lesquelles iront respectivement rencontrer les droites kk^4, Ni^3, ll^4 et mm^4 aux points k^7, i^8, l^9 et m^8 , par lesquels et les points h^5 et e^5 , on fera passer les courbes $k^7i^8h^5, e^5l^9m^8$, qui seront les projections demandées, ainsi que les lignes ponctuées de construction l'indiquent; pour avoir les projections $i^5h^{11}g^4f^4e^{11}l^{10}$ et $i^9h^{12}g^5f^5e^{12}l^8$, on s'y prendra d'une manière semblable.

Si la ligne de terre NO était parallèle à la projection horizontale EB' de l'axe du berceau, l'épure serait terminée jusqu'au point qu'on pourrait avoir la section droite du berceau et le développement des panneaux des douëlles et des coupes, ainsi que ceux des plans d'état de charge. Mais ici cela n'a pas lieu, et, en conséquence, il faudra obtenir une seconde projection verticale sur la ligne de terre QI' , absolument de la même manière que dans le cas de la descente biaise dans un mur en talus (n°. 324), ainsi que les lignes ponctuées l'indiquent dans l'épure. On aura ensuite la section droite $LD'M$, ainsi que le développement des panneaux (que nous n'avons pas cru nécessaire de joindre à l'épure) comme il a été dit au n°. 324.

Quant à la manière de tracer les vousoirs, elle est tout-à-fait la même que pour les berceaux en descente biais dans les murs en talus.

DES BERCEAUX EN DESCENTE PRATIQUÉS DANS LES MURS CYLINDRIQUES DROITS.

Nous distinguerons deux espèces de berceaux en descente pratiqués dans les murs cylindriques droits : la première espèce comprendra ceux dont la projection horizontale de l'axe sera l'un des axes des traces horizontales des faces du mur que nous supposons concentriques, de sorte que les deux moitiés du berceau seront symétriques. Nous appellerons cette espèce de berceaux, *berceaux en descente droits pratiqués dans les murs cylindriques droits*. La seconde espèce comprendra tous ceux dont la projection horizontale de l'axe sera quelconque, et nous appellerons ceux-ci, *berceaux en descente biais pratiqués dans les murs cylindriques droits*. Cette dernière espèce comprendra aussi tous ceux dans lesquels les traces horizontales des faces du mur seront des courbes quelconques.

DES BERCEAUX EN DESCENTE DROITS PRATIQUÉS DANS LES MURS CYLINDRIQUES DROITS,

326. PREMIER EXEMPLE. J'observerai d'abord que ces sortes de berceaux étant symétriques, il suffira de la moitié de l'épure. En conséquence, supposons que les courbes régulières LC^2 , KC^8 (fig. 212) soient les traces horizontales des faces d'une moitié du mur; que la courbe BaC soit la projection verticale (dans un plan perpendiculaire à la projection horizontale de l'axe du berceau) de la moitié du ceintre de face du berceau sur la face du mur dont la courbe LC^2 est la trace horizontale, et que la droite FG soit la projection horizontale de l'une des génératrices de naissance du berceau. On se rappellera que la projection horizontale C^2C^8 , de l'axe du berceau, coïncide avec un axe $C^{11}C^2$, prolongé, des traces horizontales des faces du mur. Cela posé, on divisera la projection verticale BaC de la moitié du ceintre de face, en autant de parties égales qu'on voudra avoir de vousoirs; on disposera les coupes et les états de charge comme à l'ordinaire, et on abaissera les projections horizontales des arrêtes des douëlles et des extrémités des coupes, ainsi que celles des milieux des douëlles et des coupes; puis, on prendra une ligne de terre KL quelconque parallèle à la projection horizontale de l'axe du berceau, et parallèlement à cette ligne de terre KL , et à une distance égale à la hauteur de la rampe du berceau, on menera la droite L/C^3 qui sera la projection verticale de l'intersection avec la face

du mur, dont LC^2 est la trace horizontale, d'un plan horizontal mené par les points où les génératrices de naissance du berceau percent la même face du mur. Cela posé, on observera 1°. que l'intersection, avec la face LC^2 du mur, du plan horizontal dont nous venons de parler, est une courbe égale à LC^2 ; 2°. que si, par les génératrices de naissance du berceau et cette intersection, on fait passer une surface, cette surface sera cylindrique, et on pourra imaginer projetées, sur cette surface, les arrêtes des douëlles du berceau; 3°. et que si, par les points où les arrêtes des douëlles et des extrémités des coupes percent la face LC^2 du mur, on abaisse des perpendiculaires sur le plan horizontal dont il vient d'être question, ces perpendiculaires seront dans la face du mur, et leurs longueurs comprises entre les points desquels on les aura abaissées et l'intersection avec la face du mur du plan horizontal en question, seront respectivement égales aux hauteurs a/a , b/b , h/h , m/X , i/i et k/k . Il suit de là que pour avoir la projection verticale $G'a^4b^4C^4$, du ceintre de face dont nous avons déjà parlé plusieurs fois, il suffira 1°. de mener les droites C^2C^6 , b^2b^4 , a^2a^4 et GG' , par les points C^2 , b^2 , a^2 et G , perpendiculairement à la ligne de terre KL ; 2°. de faire les distances a^3a^4 , b^3b^4 et C^3C^4 respectivement égales aux ordonnées a/a , b/b et C/C , et de faire passer une courbe à la main par les points G' , a^4 , b^4 et C^4 . De même, pour avoir les projections verticales des intersections des plans des coupes du berceau avec la face du mur dont la courbe LC^2 est la trace horizontale, par les points h^2 , m^2 , i^2 et k^2 , on élèvera les droites h^2h^3 , m^2m^3 , i^2i^3 et k^2k^3 , perpendiculaires à la ligne de terre KL , et on portera les distances h/h , m/X , i/i et k/k sur ces mêmes perpendiculaires, à partir de la droite L/C^3 , ce qui donnera les points m^3 , h^3 , i^3 et k^3 , et on dessinera les courbes $a^4i^3k^3$, $b^4h^3m^3$, qui seront les projections demandées. Ensuite, par les points k^3 et m^3 , on mènera les droites k^3L^2 et C^6U^5 , parallèles à la ligne de terre KL ; par les points L et U^2 on élèvera les droites LL^2 , U^2U^5 , perpendiculaires à la même ligne de terre, et les figures $L/L^2k^3a^4G'$, $U^4k^3a^4b^4m^3U^5$, seront les projections verticales de la forme des têtes des voussoirs sur la face du mur dont la courbe LC^2 est la trace horizontale. Cela fait, on obtiendra la projection verticale des arrêtes des douëlles et des extrémités des coupes, ainsi que celles des intersections de l'intrados et des surfaces des coupes avec la face du mur, dont la trace horizontale est la courbe KC^8 , de la manière suivante :

D'abord, par le point F , on élèvera la droite FG^2 perpendiculaire à la ligne de terre KL , et par le pied G^2 , de cette perpendiculaire, et le point G' , on mènera la droite G^2G' qui sera la projection verticale de la généra-

trice de naissance du côté du jambage FG. Puis, par les points a^4 , b^4 , C^4 , on menera les droites indéfinies a^4a^5 , b^4b^5 , C^4C^5 , qui seront les projections verticales indéfinies des arrêtes des douëlles; par les points a^7 , b^7 , C^8 , on élèvera les droites a^7a^5 , b^7b^5 , C^8C^5 , perpendiculaires à la ligne de terre KL, lesquelles iront rencontrer respectivement les projections verticales a^4a^5 , b^4b^5 , C^4C^5 , des arrêtes des douëlles, aux points a^5 , b^5 , C^5 , par lesquels, et le point G^2 , on fera passer la courbe $G^2a^5b^5C^5$, qui sera la projection verticale de l'intersection de l'intrados du berceau avec la face du mur dont la trace horizontale est la courbe KC^8 .

Pour avoir les projections verticales $a^5i^4k^4$, $b^5h^4m^4$, par les points K^5 , i^5 , m^5 et h^5 , on élèvera les droites K^5k^4 , i^5i^4 , m^5m^4 et h^5h^4 , perpendiculaires à la ligne de terre KL, lesquelles iront respectivement rencontrer les droites k^3k^4 , i^3i^4 , m^3m^4 , h^3h^4 , menées par les points k^3 , i^3 , m^3 , h^3 , parallèlement à la droite G^1G^2 , en des points k^4 , i^4 , m^4 , h^4 , par lesquels et les points a^5 et b^5 , on fera passer les courbes $a^5i^4k^4$, $b^5h^4m^4$, qui seront les projections demandées. On observera que les coupes du berceau, au lieu d'être planes, sont ici des surfaces cylindriques.

Cherchons, maintenant, les projections verticales $K^1G^2C^9$, $L^3U^7k^4$, $U^6k^7m^4$, des intersections, avec la face du mur dont la courbe KC^8 est la trace horizontale, de la surface cylindrique qui passe par les naissances, et de celles qui forment les états de charge des voussoirs, qui sont aussi des surfaces cylindriques parfaitement égales à celle qui passe par les naissances. D'abord supposons qu'il s'agisse de l'intersection de cette dernière surface; par les points C^3 , b^3 , a^3 , U^3 et L^1 , on menera les droites C^3C^9 , b^3b^6 , a^3a^6 , U^3U^9 , L^1K^1 , parallèles à la droite G^1G^2 ; par les points C^8 , b^7 , a^7 , U^8 , K , on élèvera, à la ligne de terre KL, les perpendiculaires C^8C^9 , b^7b^6 , a^7a^6 , U^8U^9 et KK^1 , lesquelles iront rencontrer respectivement les droites C^3C^9 , b^3b^6 , a^3a^6 , U^3U^9 , L^1K^1 , en des points C^9 , b^6 , a^6 , U^9 et K^1 , par lesquels, et le point G^2 , on fera passer la courbe $C^9b^6a^6G^2U^9K^1$ qui sera la projection demandée. Les lignes ponctuées de construction indiquent assez clairement, d'après ce qui précède, comment on doit opérer pour avoir les projections verticales $L^3U^7k^4$ et $U^6k^7m^4$, des intersections des surfaces cylindriques des états de charge avec la face du mur dont la trace horizontale est la courbe KC^8 .

Maintenant il ne s'agit plus que d'avoir la section droite et les développemens des panneaux des douëlles, des coupes et des surfaces d'état de charge.

Pour avoir la section droite, on menera d'abord une droite quelconque

oz⁶, perpendiculaire aux projections verticales des arrêtes des douëlles, et une autre droite quelconque K^2C^{11} perpendiculaire aux projections horizontales des mêmes arrêtes, prolongées si cela est nécessaire, et ensuite, 1°. pour avoir l'intersection du plan de la section droite avec la surface cylindrique qui passe par les naissances du berceau, on fera les distances b^8b^9 , a^8a^9 , F^2F^2 , $U^{10}U^{11}$ et K^2K^3 , respectivement égales aux distances op , oq , or , os et ot , et par les points C^{11} , b^9 , a^9 , F^2 , U^{11} et K^3 , on fera passer la courbe $C^{11}b^9a^9F^2U^{11}K^3$, qui sera l'intersection demandée. 2°. Pour avoir la section droite de l'intrados du berceau, on fera les ordonnées a^8a^{10} , b^8b^{10} , $C^{11}C^{12}$, respectivement égales aux distances ou , oz et oz' , et par les points F^2 , a^{10} , b^{10} et C^{12} , on fera passer la courbe $F^2a^{10}b^{10}C^{12}$ qui sera la moitié de la section droite demandée. 3°. Pour avoir les intersections du plan de la section droite avec les surfaces cylindriques des coupes et des états de charge, on fera 1°. les distances h^6h^8 , m^6m^8 , i^6i^8 et k^6k^8 , respectivement égales aux distances oz^2 , oz^4 , oy et ox , et on menera les courbes $b^{10}h^8m^8$, $a^{10}i^8k^8$, qui seront les coupes des voussoirs dans la section droite; 2°. les distances $C^{11}C^{13}$, $U^{10}U^{13}$, $U^{10}U^{12}$ et K^2K^4 respectivement égales aux distances oC^7 , oz^6 , oy et oz , et on menera les courbes $C^{13}m^8U^{13}$, $k^8U^{12}K^4$, qui seront les intersections des surfaces d'état de charge avec le plan de la section droite.

Quant aux développemens des panneaux des douëlles et des coupes (fig. 213), on les obtiendra comme il a été dit au n°. 324, en observant que les bords des panneaux des coupes qui se trouvent aux faces du mur doivent être des lignes courbes, et que, par conséquent, il faut chercher au moins trois points de ces courbes.

Pour obtenir les panneaux des surfaces d'état de charge, celui du lit de pose du premier voussoir, par exemple, on menera la droite AB (fig. 213^{bis}), sur laquelle on fera les distances BI , IC , respectivement égales aux distances F^2U^{11} , $U^{11}K^3$ (fig. 212); par les points B , I , C (fig. 213^{bis}), on élèvera les droites DF , HK , EG , perpendiculaires à la droite AB ; on fera les distances BD , IH , CE , respectivement égales aux distances rG' , sU^3 , tL' (fig. 212), et par les points D , H , E (fig. 213^{bis}), on fera passer la courbe DHE qui sera le bord du panneau demandé du côté de la face convexe du mur. Pour avoir l'autre bord FKG , on fera les distances BF , IK , CG , respectivement égales aux distances rG^2 , sU^9 , tK' (fig. 212), et par les points F , K , G (fig. 213^{bis}), on décrira la courbe FKG , et le panneau demandé sera terminé. On aura le panneau $NOPRSQ$, du lit de dessus du même voussoir, et les panneaux des autres états de charge, en opérant d'une manière semblable.

La manière de tracer et de tailler les voussoirs est tout-à-fait la même que celle que nous avons donnée pour les autres berceaux en descente, en prenant toujours les panneaux de tête sur la section droite. On voit, par cette section droite, que toutes les faces des voussoirs seront des surfaces courbes, ce qui est un inconvénient dans la pratique.

327. **SECOND EXEMPLE.** Si l'on veut que les coupes et les surfaces d'état de charge soient planes, il faudra supposer que la courbe AdC (fig. 214), au lieu d'être la projection verticale de l'intrados du berceau avec la face du mur dont la trace horizontale est la courbure régulière IC² (comme nous l'avons supposé dans l'exemple précédent), est la projection verticale de la section faite, dans le berceau, par un plan vertical perpendiculaire à la projection horizontale C²C⁸ de l'axe du berceau, et il faudra opérer ensuite, de la manière suivante :

Après avoir obtenu les projections horizontales des arrêtes des douëlles et des coupes, ainsi que des milieux de ces dernières, on prendra une ligne de terre MN parallèle à la projection horizontale C²C⁸ de l'axe du berceau; par les points D et E, on menera les droites DM et EE' perpendiculaires à cette ligne de terre; on fera la distance E²E' égale à la hauteur de la rampe du berceau, et par les points M et E' on menera la droite ME' indéfiniment prolongée, qui sera la projection verticale du plan mené par les génératrices de naissance; par les points d², c² et C², qui sont les projections horizontales des points où les arrêtes des douëlles rencontrent la face du mur dont la trace horizontale est la courbe IC², on élèvera les perpendiculaires d²d⁴, c²c⁴, et C²N²; on fera les distances d³d⁴, c³c⁴, et N¹N², respectivement égales aux ordonnées d'd, c'c et C'C, et par les points E', d⁴, c⁴ et N², on fera passer la courbe E'd⁴c⁴N², qui sera la projection verticale de l'intersection de l'intrados du berceau avec la face du mur dont la trace horizontale est la courbe IC². On s'y prendra de la même manière pour avoir les projections verticales d⁴e³f³, c⁴g³l³ des intersections des plans des coupes avec la même face du mur, en ayant l'attention de porter les hauteurs ff, e'e, l'Y, et g'g, respectivement sur les droites f²f³, e²e³, l²l³, et g²g³, à partir de la droite inclinée MN', et on achevera l'épure comme dans l'exemple précédent, ainsi qu'on le voit par les lignes de construction, en observant que les lignes d'état de charge sont ici des lignes droites inclinées. Pour avoir la section droite D'd⁸C¹², le développement des panneaux des douëlles et des coupes (fig. 215), ainsi que celui des panneaux d'état de charge, et pour tracer les pierres, on s'y prendra comme dans les exemples précédens.

DES BERCEAUX EN DESCENTE BIAIS PRATIQUÉS DANS LES MURS CYLINDRIQUES DROITS.

328. PREMIER EXEMPLE. Supposons que les courbes quelconques A^4B^4 , A^3B^3 (fig. 216), soient les traces horizontales des faces du mur cylindrique droit, au travers duquel on veut pratiquer un berceau en descente; que la droite $C'C^2$ soit la projection horizontale de l'axe de ce berceau, et les droites $A'A^2$, $B'B^2$, soient celles des génératrices de naissance, et que la courbe quelconque AOB soit la projection verticale (dans un plan perpendiculaire à la projection horizontale $C'C^2$ de l'axe du berceau) de l'intersection de l'intrados du berceau, avec la face du mur dont la trace horizontale est la courbe A^4B^4 . Cela posé, après avoir obtenu les projections horizontales des arrêtes des douëles et des extrémités des coupes, ainsi que des milieux de ces dernières, on prendra une ligne de terre $B^{13}A^6$, parallèle à la projection horizontale de l'axe du berceau; on mènera la droite B^5A^5 , parallèle à cette ligne de terre $B^{13}A^6$, et à une distance égale à la hauteur de la rampe du berceau; par les points A' et B' on élèvera les perpendiculaires $A'A^5$, $B'B^6$ à la ligne de terre A^6B^{13} , qui rencontreront la droite B^6A^5 , aux points A^5 et B^6 ; par les points A^2 et B^2 on élèvera les perpendiculaires A^2A^6 et B^2B^7 , à la même ligne de terre; par le point A^6 , où A^2A^6 rencontre la ligne de terre A^6B^{13} , et le point A^5 , on mènera la droite A^6A^5 , qui sera la projection verticale de l'une des génératrices de naissance du berceau; par le point B^6 , et parallèlement à A^5A^6 , on mènera la droite B^6B^7 , qui sera la projection verticale de l'autre génératrice de naissance. Cela fait, on élèvera par les points d , c , C' , etc., les droites dd^3 , cc^3 , $C'C^4$, etc., perpendiculaires à la ligne de terre A^6B^{13} ; on fera les distances d^2d^3 , c^2c^3 , C^3C^4 , etc., respectivement égales aux ordonnées $G'G$, $F'F$, CO , etc., de la courbe AOB , et par les points A^5 , d^3 , c^3 , C^4 ,....., B^6 , on fera passer une courbe, qui sera la projection verticale de l'intersection de l'intrados du berceau avec la face du mur dont la trace horizontale est la courbe A^4B^4 . Pour avoir les projections verticales $d^3e^3f^3$, $c^3o^3p^3$, etc., des intersections des coupes avec la même face du mur, on s'y prendra d'une manière semblable. Enfin, on achevera l'épure comme nous l'avons expliqué au n°. 326, tant pour avoir les projections verticales des arrêtes des douëles, des extrémités des coupes, et des milieux de ces dernières, que pour avoir celles $A^6C^5B^7$, $d^4e^4f^8$, $c^4o^4p^4$, etc., des intersections de l'intrados et des coupes du berceau avec la seconde face du mur, ainsi que celles $g^5f^5p^4$, $h^5g^6f^8$, $B^8C^6A^6h^4$ des intersections des surfaces cylindriques qui forment les états de charge et de celle qui passe par les génératrices de naissance, ainsi qu'on le voit indiqué dans l'épure.

Pour avoir la section droite, on se conduira aussi comme dans le n^o. 326, c'est-à-dire qu'on mènera une droite qg^8 perpendiculaire à la direction des projections verticales des arrêtes des douëlles, et ensuite, on commencera par chercher l'intersection $h^7C^9B^{11}$ du plan de la section droite avec la surface qui passe par les naissances, comme nous l'avons fait au numéro cité, et on continuera la section droite, en obtenant d'abord l'intersection $A^8C^8B^{10}$ de l'intrados du berceau avec le plan de la section droite, puis, celles d^9f^{11} , c^9p^2 , etc., des coupes avec le même plan, et enfin celles h^8f^{11} , $g^{11}p^2m^5k^6$, etc., des surfaces d'état de charge.

Quant à la manière de tracer les voussoirs et d'avoir les développemens des panneaux, elle est encore la même que celle que nous avons donnée au n^o. 326. On observera que toutes les faces des voussoirs sont encore ici des surfaces cylindriques, comme dans le cas du même numéro.

329. SECOND EXEMPLE. Si l'on voulait que les coupes et les surfaces d'état de charge fussent planes, on supposerait (fig. 217) que la courbe ABC, au lieu d'être la projection verticale de l'intersection de l'intrados du berceau avec la face du mur dont la trace horizontale est la courbe DHF (comme nous l'avons supposé dans l'exemple précédent), est celle de l'intersection de l'intrados avec un plan vertical élevé sur la droite DF qui passe par les projections horizontales D et F des points où les génératrices de naissance percent la face du mur dont il vient d'être question; on chercherait ensuite, comme il a été expliqué dans les exemples précédens, la projection verticale $h^3a^6b^6B^4c^6d^6F'$, de l'intersection du plan élevé sur la droite DF avec l'intrados du berceau, en élevant les perpendiculaires Dh³, a⁶a⁶, b⁶b⁶, B⁴B⁴, etc., à la ligne de terre E'F², et en faisant les distances a³a⁶, b³b⁶, B²B⁴, etc., respectivement égales aux ordonnées a¹⁰a, b¹⁰b, etc. On obtiendra de même les projections verticales a⁶h⁴, b⁶g³, e⁶f³ et d⁶e³, des intersections des plans des coupes avec le même plan vertical de la droite DF; et ensuite, après avoir obtenu les projections verticales h³E' et F'G', des génératrices de naissance, comme précédemment, par les points d⁵, c⁶, B⁴, b⁶, a⁶, on mènera les droites indéfinies d⁶d³, c⁶c³, B⁴I', b⁶b³, a⁶a³, parallèlement à la droite h³E', lesquelles seront les projections verticales des arrêtes des douëlles du berceau; on mènera aussi les projections verticales indéfinies e³e⁴, f⁵f⁶, g⁵g⁶, h⁴h⁷, des arrêtes des extrémités des coupes; puis, par les points a⁴, b⁴, H, c⁴, d⁴, on élèvera, à la ligne de terre E'F², les perpendiculaires a⁴a⁷, b⁴b⁷, HB⁵, c⁴c⁷ et d⁴d⁷, qui iront rencontrer les projections verticales correspondantes des arrêtes des douëlles aux points a⁷, b⁷, B⁵, c⁷ et d⁷, par lesquels et les points h³, F', on fera passer la courbe h³a⁷b⁷B⁵

$c7d7F'$, qui sera la projection verticale de l'intersection de l'intrados du berceau avec la face du mur dont la trace horizontale est la courbe DHF . Par un moyen semblable, on obtiendra les projections verticales $a7o'$, $b7g^5$, $c7f^5$ et $d7e^5$, ainsi que les lignes ponctuées oo' , g^4g^5 , f^4f^5 , et e^4e^5 l'indiquent. Ensuite on obtiendra les projections verticales $E'I'G'$, a^8h7 , b^8g^6 , c^8f^6 , et d^8e^4 , des intersections de l'intrados et des plans des coupes du berceau avec la seconde face du mur, comme dans les exemples précédens. Quant aux projections verticales des intersections des plans d'état de charge et de celui qui passe par les naissances avec les faces du mur, on s'y prendra de la manière suivante :

1°. Pour celles $F'd^5c^5B^3b^5a^5h^3l7$, et $G'd^9c^9I^2b^9a^9E/i^2i^3$, du plan qui passe par les naissances du berceau, par les points $k', d^3, c^3, B^2, b^3, a^3, i', l^8$, où les droites $kk', d^3d^3, c^3c^3, B^2B^2, b^3b^3, a^3a^3, ii', l^8l^8$ vont rencontrer la droite $F'h^3$ (qui est la projection verticale de l'intersection du plan qui passe par les naissances avec le plan vertical élevé sur la droite DF), on menera les droites $k^4k^2, d^3d^9, c^3c^9, B^2I^2, b^3b^9, a^3a^9, i^2i^2, l^8i^3$, parallèles aux projections verticales des arrêtes des douëlles, lesquelles iront rencontrer d'une part, les droites $k^5k^4, d^4d^5, c^4c^5, HB^3, b^4b^5, a^4a^5, ii', l^8l^8$, aux points $k^4, d^5, c^5, B^3, b^5, a^5, i^4, l^7$, par lesquels on menera la courbe $k^4F^3B^3h^3l7$, qui sera la projection demandée pour la première face du mur; et de l'autre part, les droites $k^3k^2, d^2d^9, c^2c^9, II^2, b^2b^9, a^2a^9$, etc., aux points $k^2, d^9, c^9, I^2, b^9, a^9, i^2, i^3$, par lesquels on menera la courbe $k^2G'd^9c^9I^2b^9a^9E/i^2i^3$, qui sera la projection demandée pour la seconde face du mur.

2°. Pour les projections verticales $e^5k^6, h^4l^3, k^9f^5g^5D/l^5$, et les correspondantes $e^4k^7, h^7i^2l^2, e^8f^6g^6D^2i^6$, on s'y prendra de la même manière, ainsi que l'indiquent les lignes ponctuées de construction.

Quant à la section droite, on l'obtiendra comme pour les berceaux en descente biais pratiqués dans les murs droits. On fera le développement des panneaux des douëlles, des coupes et des plans d'état de charge, et on tracera les voussoirs, comme nous l'avons expliqué pour les autres berceaux en descente.

DES BERCEAUX EN DESCENTE PRATIQUÉS AU TRAVERS DES MURS CYLINDRIQUES OBLIQUES.

330. Supposons 1°. que la courbe quelconque MC^2K (fig. 218) soit la trace horizontale de la face droite du mur, et que la courbe régulière quelconque ADB soit la projection verticale (dans un plan perpendiculaire à la projection horizontale CC^2 du berceau) de l'intersection de l'intrados du

berceau avec cette première face du mur ; 2°. que l'on ait pris une ligne de terre L/K' parallèle à la projection horizontale CC^2 de l'axe du berceau ; 3°. que l'arc de cercle $IEOL$ soit la projection horizontale de l'intersection d'un plan horizontal (dont la trace verticale est la droite $O'I'$) avec la surface cylindrique oblique du mur, que nous supposons à base circulaire ; 4°. que le point N soit le centre de la projection horizontale $IEOL$ dont nous venons de parler, et que le point O^2 soit la projection horizontale du centre de l'intersection, avec la face cylindrique oblique du mur, d'un plan horizontal dont la trace verticale est la droite $Q'R'$; 5°. que xc^5n soit la projection horizontale de l'intersection de ce dernier plan avec la face oblique du mur. Le rayon O^2n , de cette projection, sera égal à celui NO de la première IEO . Cela posé, entre les traces verticales $O'I'$, $Q'R'$, des deux premiers plans, on mènera une nouvelle trace $M'N'$ (ou plusieurs), pour avoir la projection horizontale zc^3b^4z' de l'intersection d'au moins un troisième plan horizontal avec la face oblique du mur.

Pour avoir le centre T , de ce nouvel arc de cercle zc^3b^4z' , on joindra d'abord les deux centres donnés, N et O^2 , par la droite NO^2 ; par le centre O^2 , qui répond au plan horizontal le plus élevé, on élèvera la droite O^2P perpendiculaire à la droite NO^2 ; parallèlement à cette dernière droite, et à des distances respectivement égales aux distances comprises entre les traces $O'I'$ et $Q'R'$, $O'I'$ et $M'N'$, on mènera les droites PQ et RS ; la droite PQ rencontrera la droite O^2P au point P , par lequel et le point N on mènera la droite NP , qui rencontrera la droite RS au point R , par lequel on abaissera la droite RT perpendiculaire à la droite NO^2 , et le point T sera le centre demandé, par lequel, et avec un rayon égal à NO , on décrira l'arc de cercle zc^3b^4z' . Si la surface cylindrique oblique était à base elliptique, les arcs IEb^3OL , zc^3b^4z' , xc^5n , seraient des portions d'ellipses, lesquelles ellipses seraient égales entre elles, et auraient les axes parallèles. Quant à leurs centres, on les obtiendrait tout-à-fait comme nous venons d'obtenir ceux des arcs de cercles que nous venons de décrire. Cela posé, que la base de la surface cylindrique oblique soit circulaire ou elliptique, on obtiendra, comme à l'ordinaire, les projections horizontales des arrêtes des douëlles et des extrémités des coupes, ainsi que celles des milieux des douëlles, ou au moins celles des milieux des coupes (que nous n'avons pas menées dans l'épure, pour éviter la confusion de lignes), et ensuite, comme dans les berceaux pratiqués dans les murs gauches, on cherchera les projections verticales des intersections, avec la face cylindrique oblique du mur, des plans projetans (sur le plan horizontal) des arrêtes des douëlles

et des extrémités des coupes, etc. (lesquelles intersections seront des portions d'hyperboles), en opérant sur les arcs de cercle $IEOL$, zc^3b^4z' et xc^5n , comme nous l'avons expliqué au n°. 325 sur les projections horizontales NQ , N^5N^6 et N^3U de la face gauche du mur (fig. 211); de sorte que (fig. 218) s'il s'agissait, par exemple, de la projection verticale $E'c^9c^8$ de l'intersection du plan vertical élevé sur la droite EF , par les points E , c^3 , c^5 , où la droite EF rencontre les arcs de cercle $IEOL$, zc^3b^4z' et xc^5i , on élèverait les perpendiculaires EE' , c^3c^9 , c^5c^8 , à la ligne de terre L/K' , lesquelles iraient rencontrer respectivement les horizontales $O'I'$, $M'N'$, $Q'R'$, aux points E' , c^9 , c^8 , par lesquels on ferait passer la courbe $A'c^9c^8$, qui serait la projection demandée.

Après avoir trouvé les projections verticales des intersections de la suite de plans verticaux, dont nous venons de parler, avec la surface cylindrique oblique, on cherchera la projection verticale $F'a^9b^9C^7\dots H'$ de l'intersection de l'intrados du berceau avec la face cylindrique du mur, ainsi que celles a^9F^2 , b^9d^7 , etc., des intersections des surfaces cylindriques des coupes, et celles F^2K^2 , d^7e^{13} , etc., des intersections des surfaces cylindriques des états de charge avec la même face du mur, en opérant comme nous l'avons expliqué au n°. 325 pour avoir les projections analogues de la face verticale du mur gauche, dans le plan de projection dont la ligne de terre est la droite NO (fig. 211), ainsi que les lignes ponctuées de construction l'indiquent dans la présente épure (fig. 218).

Cela fait (et comme dans le cas du mur gauche, et par les mêmes moyens), 1°. on menera les projections verticales $F'E'$, $H'G'$, des génératrices de naissance du berceau, celles a^9a^{10} , b^9b^{10} , C^7C^8 , etc., des arrêtes des douëlles, etc.; 2°. on obtiendra la projection verticale $G'b^{12}a^{11}E'e^8I^5$, de l'intersection, avec la face cylindrique oblique du mur, de la surface cylindrique qui passe par les naissances du berceau, en observant que si les portions d'hyperboles, telles que $Q'M'G'$, n'étaient pas assez prolongées, on les prolongerait jusqu'à la droite $U'a^{13}$, en cherchant le centre Y de l'arc de cercle $c'b'C^9U$ (qui serait la projection horizontale de l'intersection, avec la face cylindrique oblique du mur, d'un plan horizontal dont la trace verticale serait la droite $U'a^{13}$), et on opérerait, ensuite, sur cet arc de cercle et sur la droite $U'a^{13}$, comme il a été dit ci-dessus, pour avoir les points a^{13} , b^{13} , c^{11} , etc., des portions d'hyperboles à prolonger. Pour avoir le centre Y dont il vient d'être question, on menera la droite VX , parallèle à NO^2 , et à une distance égale à celle comprise entre les droites $O'I'$ et $U'a^{13}$; par le point V , où la droite VX rencontrera la droite PN , on abaissera la per-

pendiculaire VY, et le pied Y, de cette perpendiculaire, sera le centre demandé; 3°. on cherchera la projection verticale E'a¹⁰b¹⁰C⁸...G', de l'intersection de l'intrados et celles a¹⁰c¹⁰, b¹⁰d⁸, etc., des intersections des surfaces cylindriques des coupes du berceau avec la face cylindrique oblique du mur; et enfin 4°. on aura les projections verticales c¹⁰e⁷I⁴, P'd⁸c⁷e⁶, des surfaces cylindriques d'état de charge avec la même face du mur, et l'épure sera terminée, sauf la section droite F⁴C⁵H², et les développemens des panneaux des douëlles, des coupes et des faces d'état de charge, qu'on obtiendra comme dans les autres berceaux en descente.

Les projections horizontales des intersections, avec la face cylindrique oblique du mur, de l'intrados, des surfaces des coupes et des états de charge du berceau sont inutiles; si on veut les obtenir, on s'y prendra encore comme pour le cas où le mur est gauche, la courbe I²e³Eb²G² est celle de l'intersection de la surface cylindrique qui passe par les naissances du berceau; la courbe Ea³b⁴C'.....G est celle de l'intersection de l'intrados; les courbes a³c², b⁴d², etc., sont celles relatives aux surfaces des coupes, et les courbes c²e⁴I³, hk et e⁵c⁴d²mn sont celles relatives aux surfaces d'état de charge. Quant à la manière de trouver les développemens des panneaux, et de tracer les voussoirs, elle est toujours la même.

DES BERCEAUX EN DESCENTE PRATIQUÉS DANS LES MURS CONIQUES QUELCONQUES.

Pour ce genre de berceaux en descente, on opérera tout-à-fait comme nous l'avons expliqué pour ceux qui sont pratiqués dans les murs cylindriques obliques, avec cette seule différence que, pour avoir les centres P, X, V (fig. 219), des projections horizontales IEG⁴, NN', OO', des intersections avec la surface conique quelconque, de la suite de plans horizontaux dont les traces verticales sont les droites G'¹K', G²K², G³K³, il faudra construire le triangle par l'axe IYP, comme pour les berceaux ordinaires pratiqués dans les murs coniques obliques (voyez ce que nous avons dit à ce sujet au n°. 318). En conséquence, je crois que l'inspection de l'épure de la figure 219 suffira au lecteur qui se sera donné la peine de suivre attentivement les explications précédentes, et qui aura fait soigneusement toutes les épures que j'ai données ou indiquées jusqu'ici.

REMARQUE SUR LES BERCEAUX EN DESCENTE.

On a vu, dans le cours de ce chapitre, combien les berceaux en descente sont plus difficiles que les berceaux ordinaires; mais les difficultés qu'ils

présentent ne sont rien en comparaison des défauts qu'il s'y rencontre, quand on les considère dans toute la simplicité de leur forme, comme nous l'avons fait ici; car ces défauts sont telles, qu'on ne peut les laisser subsister sans violer les lois les plus impérieuses de la bonne construction, ainsi que nous allons le faire concevoir.

En effet, les angles que forment les faces des pierres, pour un ouvrage quelconque, doivent toujours être droits; les surfaces des voussoirs des berceaux en descente étant inclinées à l'horizon, forment, avec les faces des murs, des angles d'autant plus aigus, que le rampant du berceau est plus considérable. Les lits des assises d'un mur doivent toujours être des plans horizontaux; les surfaces d'état de charge des voussoirs des berceaux doivent s'accorder parfaitement, sans entaille ni refouillement, avec les lits des murs; les surfaces d'état de charge, des voussoirs des berceaux en descente, sont inclinées à l'horizon: elle ne peuvent donc pas s'accorder d'une manière convenable avec les lits des assises des murs. Cette dernière défaut est d'autant plus grande, dans les berceaux en descente pratiqués dans les murs cylindriques ou coniques, que, non-seulement les surfaces d'état de charge ne sont pas horizontales, mais encore leurs intersections avec les faces des murs ne le sont pas non plus, ainsi qu'on le voit dans les épures fig. 212, 214, 216, 217, 218 et 219. Il y a plus; dans les épures fig. 216, 217, 218 et 219, l'un des ceintres de face du berceau est nécessairement un arc rampant, ce que les règles du bon goût réprouvent en architecture, sur-tout quand ces arcs rampans sont placés d'une manière ostensible. Toutes ces défauts disparaissent, et les berceaux en descente ne deviennent pas plus difficiles que les berceaux proprement dits, quand on les dispose comme il sera expliqué plus tard. En conséquence, j'aurais pu me dispenser de donner le chapitre que je termine ici, si je n'avais pas cru nécessaire de donner, à ceux qui veulent se mettre au-dessus des difficultés, l'occasion de s'exercer davantage.