

## CHAPITRE VII.

*Des Berceaux.*

294. On appelle *voûtes en berceau*, toutes celles dont la face apparente, en dessous, est une surface cylindrique concave dont les génératrices sont toujours situées horizontalement. La directrice de cette surface peut être une courbe régulière quelconque; mais, le plus souvent, c'est une demi-circonférence de cercle, un arc de cercle moindre qu'une demi-circonférence, une demi-ellipse, une anse-de-panier, quelquefois une parabole; rarement une cycloïde, une cassinoïde, une chaînette, etc. Cette directrice est toujours la section droite de la surface cylindrique (n°. 201), à moins de quelque cas particulier où l'on veut qu'il en soit autrement; mais alors on en avertit.

Nous appellerons *ceintre principal*, cette même directrice ou section droite. Quand le ceintre principal d'un berceau est une demi-circonférence de cercle, ce berceau est dit *en plein ceintre*; si ce ceintre était une demi-ellipse ou une anse-de-panier, et que le grand axe fût horizontal, ou s'il était un arc de cercle moindre qu'une demi-circonférence, le berceau serait *surbaissé*; au contraire, il serait *surhaussé*, si, le ceintre principal étant une demi-ellipse ou une anse-de-panier, le grand axe était vertical.

295. Supposons, maintenant, que la figure 165 représente la section faite dans une voûte en berceau, par un plan perpendiculaire à la direction des génératrices de la surface de cette voûte, que le quart de cercle AD soit la moitié du ceintre principal de la face apparente en dessous du berceau, que le quart de cercle EF soit le ceintre principal d'une seconde surface cylindrique parallèle (n°. 263) à celle dont AD est le ceintre principal, et que la distance uniforme AE entre les deux ceintres dont nous venons de parler soit l'épaisseur de la voûte: la surface cylindrique dont l'arc AD est la demi-directrice sera ce qu'on appelle *intrados*, et celle dont l'arc EF est la demi-directrice sera *l'extrados* du berceau. Les noms d'intrados et d'extrados sont indépendans de la nature des courbes qui servent de

directrices aux surfaces cylindriques, et ne supposent pas même que ces deux surfaces soient parallèles.

Quand l'extrados est parallèle à l'intrados, le berceau est *extradossé uniformément*. Tel est celui dont ADFE (fig. 165) est la moitié de la section droite. Cette manière de disposer les voûtes en berceau est la moins bonne de toutes : elle est la moins solide, et celle qui s'accorde le moins bien avec les assises des carreaux des murs.

296. La figure 166 présente une disposition de berceau en plein ceintre beaucoup plus solide que celle de la fig. 165. On voit ici que l'extrados n'est pas parallèle à l'intrados. Pour avoir la moitié GH de la directrice de cette extrados (fig. 166), on fait DG égal à l'épaisseur que l'on veut donner au sommet de la voûte, et DQ égal au diamètre AB du berceau, ou au moins aux trois quarts de ce diamètre AB ; par le point Q comme centre, et avec le rayon QG, on décrit un arc de cercle GH, qui est la directrice demandée. Dans l'exemple de la fig. 166 nous avons fait DQ égal au diamètre AB tout entier. On arrête l'extrados GH au point H par une horizontale HI, qui est déterminée par les assises du mur, de manière qu'on ait un nombre complet d'assises dans la hauteur KI. La partie horizontale HI est réservée pour recevoir les carreaux du mur, dans le cas où ce mur se prolongerait plus haut.

297. On appelle *voussoirs* les morceaux de pierre qui constituent une voûte à surface courbe quelconque. Les faces portantes des voussoirs se nomment *coupes*. Les coupes doivent toujours être normales ou perpendiculaires à l'intrados de la voûte. La face des voussoirs qui fait partie de l'intrados d'une voûte à surface courbe quelconque prend le nom de *douëlle* : celle qui fait partie de l'extrados porte le nom d'*extrados du voussoir*, et les deux autres faces se nomment *joints* ou *têtes*.

298. Il faut toujours que le ceintre principal d'une voûte à surface courbe soit divisé en un nombre impair de voussoirs, pour qu'il s'en trouve un au sommet de la voûte, que l'on appelle *clef*. Cette condition est nécessaire, comme pour les plates-bandes, afin de donner plus de solidité à la voûte, et de rendre l'appareil plus agréable. Il faut aussi que les douëlles des voussoirs comprennent des arcs égaux sur le ceintre principal du berceau, c'est-à-dire que ces douëlles doivent être de même largeur.

299. Cela posé, pour avoir la disposition des voussoirs (fig. 165), on n'aura qu'à diviser l'arc AD en autant de parties égales qu'on voudra avoir de voussoirs dans cette moitié AD du ceintre principal, en observant, au sommet, une demi-division pour la demi-clef; ensuite, comme le ceintre

principal est une demi-circonférence de cercle, par tous les points de division, on mènera des droites au centre C, qui seront les coupes des voussoirs.

On fera la même chose pour la distribution des voussoirs du berceau dont BODGHIK est la section droite (fig. 166), et on observera que la coupe LM rencontre l'horizontale MN qui passe au niveau du lit d'une assise du mur, et forme, avec cette horizontale, un état de charge MN (n°. 278); quant aux autres coupes, comme OP, elles vont uniformément rencontrer l'extrados, ainsi qu'on le voit dans la fig. 166. Cette forme d'appareil est celle qu'il faut préférer pour les berceaux des caves, des galeries ou corridors, etc.

Quelque soit le ceintre principal d'un berceau, on distribuera les voussoirs comme dans les cas précédens, où le ceintre principal est une demi-circonférence. Quant aux coupes, nous avons déjà dit qu'elles devaient toujours être normales à la courbe qui sert de ceintre principal.

300. Lorsqu'il s'agit d'un berceau pratiqué dans un mur quelconque, la forme d'appareil de la fig. 166 ne peut convenir, sur-tout si le mur est en pierres de taille; dans ce cas, on emploiera la disposition que présente la fig. 167, ou celle que présente la fig. 168, suivant la grandeur du ceintre et le nombre des voussoirs. L'inspection seule de ces deux figures me paraît suffisante pour faire concevoir l'ajustement des voussoirs en état de charge avec les carreaux du mur. Les ceintres principaux de ces deux exemples sont encore des demi-circonférences de cercle.

Voici divers autres exemples d'appareils de berceaux.

La fig. 169 représente la section droite d'un berceau dont le ceintre principal est un arc de cercle moindre qu'une demi-circonférence: on voit, dans cette figure, la disposition des voussoirs la plus convenable pour ce genre de berceaux, supposés pratiqués dans un mur quelconque.

La fig. 170 représente la section droite d'un berceau surbaissé, dont le ceintre principal est une demi-ellipse. La moitié à gauche de cette figure représente un berceau extradossé de manière que la moindre épaisseur de la voûte est à la clef. La directrice AB de l'extrados est un arc de cercle dont le centre est sur le prolongement de l'axe CD, à une distance du point D égale à DC. Les coupes des voussoirs sont des normales à l'ellipse, que l'on mènera, par les points de division qui donnent les largeurs des douelles des voussoirs, par le moyen donné n°. 61. La figure indique assez le reste de l'ajustement. L'autre moitié à droite de la figure 170 offre un exemple d'ajustement en état de charge avec les assises du mur.

La figure 171 est la section droite d'un berceau surhaussé, dont le ceintre principal est une demi-ellipse. Cette figure est encore divisée en deux demies, dont l'une, à gauche, est la demi-section droite d'un berceau extradossé par une surface cylindrique équidistante avec l'intrados. L'autre moitié indique l'ajustement des voussoirs sans état de charge avec les carreaux du mur. On mena encore les coupes normales à l'ellipse comme il a été dit.

La figure 172 représente deux exemples de berceaux surbaissés en anse-de-panier. On observera ici de faire tendre les coupes des voussoirs au centre de l'arc sur lequel est situé le point de division par lequel doit passer la coupe que l'on veut mener. Du reste, la disposition des voussoirs ne présente aucune difficulté.

La figure 173 offre deux exemples de berceaux dont le ceintre principal est une parabole. Pour mener les coupes, on se rappellera comment on mène des normales à cette courbe (n°. 81). Quant à la disposition des voussoirs, elle est évidente.

La figure 174 présente un berceau dont le ceintre principal est ce qu'on appelle *ogive*. Ce ceintre est formé par deux arcs de cercle, dont les centres sont respectivement aux points de naissance de ces arcs. Du reste, l'inspection seule de la figure ne laisse rien à expliquer.

La figure 175 est la section droite d'un berceau dont le ceintre principal est une cycloïde (n°. 102), la figure 176 est un berceau dont le ceintre principal est une chaînette (n°. 111); la fig. 177 est un berceau dont le ceintre principal est une courbe formée par deux arcs égaux de la développée du cercle (n°. 115); la fig. 178 est un berceau dont le ceintre principal est un arc rampant elliptique (n°. 121), et la fig. 179 un berceau dont le ceintre principal est aussi un arc rampant, mais formé par deux arcs de cercle (n°. 122).

J'ai passé rapidement sur l'explication de toutes ces figures, persuadé qu'un peu de réflexion, en les considérant, suffira pour bien saisir l'esprit de leurs dispositions particulières.

En présentant ces types d'appareil des voussoirs des berceaux, nous avons fait abstraction des circonstances dans lesquelles ces sortes de voûtes peuvent se rencontrer, parce que tout ce que nous venons de dire est indépendant de ces circonstances. Maintenant, nous allons considérer les berceaux pratiqués, 1°. dans les murs droits; 2°. dans les murs en talus; 3°. dans les murs gauches; 4°. dans les murs cylindriques droits; 5°. dans les murs cylindriques obliques; 6°. dans les murs coniques droits; et 7°. dans les murs coniques obliques.

## DES BERCEAUX PRATIQUÉS DANS LES MURS DROITS.

Les génératrices des berceaux pratiqués dans les murs droits, sont, ou perpendiculaires ou obliques aux faces des murs. Dans le premier cas, les berceaux prennent le nom de *berceaux droits*; et dans le second, celui de *berceaux biais*.

## DES BERCEAUX DROITS.

301. Les épures des berceaux droits ne présentent aucune difficulté : il suffit de tracer le ceintre principal, de le diviser en autant de parties égales qu'on veut avoir de voussoirs, de mener les coupes normales à ce ceintre par les points de division, et de disposer l'appareil de manière que les voussoirs s'ajustent convenablement avec les assises du mur par des états de charge ou autrement. D'après cette épure, on tracera et on taillera les voussoirs au moyen de panneaux de tête, de la même manière qu'il a été dit pour les plates-bandes (n°. 284).

## DES BERCEAUX BIAIS.

302. PREMIER EXEMPLE. Supposons (fig. 180) que la courbe ADB soit le ceintre principal d'un berceau biais, cette courbe ADB étant quelconque. Prenons la droite AB, qui passe par les naissances A et B du ceintre, pour la ligne de terre : les génératrices du berceau seront perpendiculaires au plan des projections verticales, puisque le ceintre principal est la section droite du berceau. Il suit de là que les projections horizontales des arrêtes des douëlles des voussoirs seront perpendiculaires à la ligne de terre AB, et les projections verticales des mêmes arrêtes seront des points situés sur le ceintre principal ADB (n°. 150) : si donc on a fait la division des voussoirs, mené les coupes normales au ceintre ADB, et disposé l'appareil, comme il a été dit plus haut; en abaissant, par les points de division E, M, Q, ..... des perpendiculaires Ac, Ee'', Mm'', Qq'', ..... à la ligne de terre, ces dernières droites seront les projections horizontales indéfinies des arrêtes des douëlles des voussoirs. Supposons, maintenant, que les droites ab, cd soient parallèles entre elles, et soient les traces horizontales des faces du mur droit au travers duquel le berceau biais doit être pratiqué : les parties ac, ee'', mm'', qq'', ..... des droites Ac, Ee'', Mm'', Qq'', ..... dont il vient d'être question, seront les projections horizontales et en même temps les véritables longueurs des arrêtes des douëlles des voussoirs. Les projections horizontales des extrémités des coupes, dont les points

F, L, R, ..... sont les projections verticales, seront les parties  $ac''$ ,  $ll''$ ,  $rr''$ , ..... des perpendiculaires  $Fc$ ,  $Ll''$ ,  $Rr''$ , ..... menées par les points F, L, R, ..... à la ligne de terre AB.

Les joints des voussoirs qui viennent s'adapter contre les joints des carreaux du mur doivent être d'équerre aux faces du mur; mais comme il se pourrait que le biais du berceau fût assez considérable pour que les têtes des voussoirs devinssent trop grandes sur une face du mur, tandis qu'elles seraient trop petites sur l'autre face, on plie ces joints comme les droites brisées  $gg'hg''$ ,  $zz'kz''$ ,  $vv'uv''$  l'indiquent en projection horizontale, en ayant soin que les parties  $gg'$ ,  $g''h$ ,  $zz'$ ,  $z''k$ ,  $vv'$ ,  $v''u$  de ces joints, soient d'équerre aux faces du mur.

Les intersections des faces du mur avec le berceau seront des ellipses égales entre elles, si le ceintre principal ADB est une demi-circonférence de cercle, puisque les faces du mur sont des plans parallèles (n°. 196). Ces intersections s'appellent *les ceintres de face du berceau*.

Pour obtenir un de ces ceintres de face, par les points  $e^3$ ,  $m^3$ ,  $q^3$ , ..... on élèvera des perpendiculaires  $e^3e^4$ ,  $m^3m^4$ ,  $q^3q^4$ ,  $c^3c^4$ , ..... à la trace horizontale  $ab$  de l'une des faces du mur; on fera ces perpendiculaires respectivement égales aux ordonnées  $E'E$ ,  $M'M$ ,  $Q'Q$ ,  $CD$ , ..... du ceintre principal; et on fera passer une courbe à la main par les points  $b$ ,  $e^4$ ,  $m^4$ ,  $q^4$ , ..... qui sera le ceintre de face demandé, rabattu autour de la droite  $ab$ .

Si l'on trouvait que les points  $b$ ,  $e^4$ ,  $m^4$ ,  $q^4$ , ..... fussent trop écartés les uns des autres pour dessiner exactement cette courbe, on pourrait prendre, sur le ceintre principal, les points  $A'$ ,  $E'$ ,  $M'$ , ..... au milieu des douëlles  $AE$ ,  $EM$ ,  $MQ$ , .....; abaisser ensuite les projections horizontales des génératrices menées par les points dont les projections verticales sont les points  $A'$ ,  $E'$ ,  $M'$ , .....; par les points  $f^3$ ,  $l^3$ ,  $n^3$ , ..... élever les perpendiculaires  $f^3f^4$ ,  $l^3l^4$ ,  $n^3n^4$ , ..... à la droite  $ab$ , et faire ces perpendiculaires respectivement égales aux distances des points  $A'$ ,  $E'$ ,  $M'$ , ..... par rapport à la ligne de terre AB.

Cette épure, telle que nous venons de l'expliquer, est plus que suffisante pour tracer les voussoirs du berceau; cependant nous allons encore y ajouter le développement des panneaux des douëlles et des joints.

#### DÉVELOPPEMENT DES PANNEAUX.

303. Pour avoir le développement des douëlles, on étendra la courbe ADB du ceintre principal, sur une ligne droite AB (fig. 181); pour cela,

on prendra une ouverture de compas égale à une demi-douëlle  $AA'$  (fig. 180), que l'on portera autant de fois sur la droite  $AB$  (fig. 181); à partir du point  $A$ , qu'il y a de demi-douëlles dans le ceintre principal; ce qui donnera les points  $A, C, D, E, F, G, H, I, \dots B$ , par lesquels on menera les droites  $A'A'', C'C'', D'D'', E'E'', F'F'', G'G'', H'H'', I'I'', \dots$  perpendiculaires à la droite  $AB$ , lesquelles seront les génératrices indéfinies du berceau, qui sont, alternativement, les arrêtes et les milieux des douëlles. Pour avoir les longueurs de ces génératrices, on menera une directrice  $a'b'$  dans la projection horizontale (fig. 180), qui doit être, ainsi qu'on sait, perpendiculaire aux projections horizontales des arrêtes des douëlles; on fera les droites  $AA', CC', DD', EE', FF', GG', HH', II', \dots$  (fig. 181), respectivement égales aux parties  $a'a, f'f, e'e, l'l, m'm, n'n, q'q, C''C'', \dots$  des projections horizontales des génératrices en question (fig. 180), et par les points  $A', C', D', E', F', G', H', \dots$  on fera passer une courbe  $A'C'D'E'F' \dots$  (fig. 181), qui sera un bord du développement des douëlles. Pour avoir l'autre bord  $A''C''D''E''F'' \dots$  on fera les droites  $AA'', CC'', DD'', EE'', FF'', GG'', HH'', \dots$  respectivement égales aux parties  $a''c, f''f'', e''e'', l''l'', m''m'', \dots$  des projections horizontales des mêmes génératrices que ci-dessus (fig. 180), et on dessinera à la main une courbe par les points  $A'', C'', D'', E'', \dots$  (fig. 181), et on aura le développement demandé, dans lequel les panneaux des douëlles sont les figures  $A'A'D'D'', D'D'F'F'', F'F'H'H'', \dots$

Cherchons maintenant les panneaux des joints, et commençons par celui de la coupe  $EF$  (fig. 180), qui est la figure  $K''K'D'D''$  (fig. 181). Pour cela, on fera  $DK$  (fig. 181), égal à la longueur de la coupé  $EF$  (fig. 180); par le point  $K$  (fig. 181), on menera une perpendiculaire  $K'K''$  à la droite  $AB$ , et on fera les distances  $KK', KK''$  respectivement égales aux parties  $a'a, a''c$  (fig. 180) de la projection horizontale  $ac$  de l'arrête supérieure de la coupe en question, et on joindra les points  $D', K'$  et  $D'', K''$ , (fig. 181) par les droites  $D'K', D''K''$ ; et la figure  $D'D'K'K''$  sera le panneau demandé. Pour avoir les panneaux  $F'F'L'L'', H'H'M'M'', \dots$  (fig. 181), des autres coupes  $ML, QR, \dots$  (fig. 180), on opérera de la même manière.

Il y a deux méthodes pour tracer et tailler les vousoirs : la première est connue sous le nom de *méthode par équarrissement*, et la seconde sous celui de *méthode par panneaux*. La première est la plus sûre et la plus générale; mais elle exige plus de pierre que la seconde, quand l'appareilleur ne sait pas la modifier suivant les circonstances. La seconde est moins

rigoureuse, théoriquement parlant, puisque le développement des panneaux des douëlles ne peut s'obtenir que par approximation, et entraîne un trop grand attirail de panneaux. Nous allons expliquer l'une et l'autre méthode sur le tracer des voussoirs du berceau biais qui nous occupe en ce moment.

MÉTHODE PAR ÉQUARRISSEMENT, POUR TRACER ET TAILLER LES VOUSSOIRS  
DES BERCEAUX.

304. Supposons qu'il s'agisse de tracer et de tailler le premier voussoir à gauche; on fera un panneau de projection horizontale  $g''e''egg'h$  (fig. 180); on choisira une pierre qui ait la hauteur  $AF'$ , et dont le lit puisse contenir ce panneau; on fera les deux lits parallèles entre eux, et à une distance égale à la hauteur  $AF$ ; on appliquera le panneau de projection horizontale sur chaque lit, de manière que les sommets du panneau se correspondent bien en se trouvant sur les mêmes droites d'équerre aux lits; on taillera ensuite toutes les faces de la pierre, ce qui donnera un prisme qui aura la forme  $g''e''egg'hg$  (fig. 182). Cela fait, on prendra la hauteur  $E''E$  de la première douëlle (fig. 180), que l'on portera de  $e''$  en  $E$ , et de  $e$  en  $E$  (fig. 182) sur le parement qui doit contenir la douëlle du voussoir; on fera ensuite les distances  $e''c$ ,  $ea$ , situées sur les arrêtes  $e''g''$ ,  $eg$ , égales chacune à la saillie  $ea$  de la première douëlle prise sur la trace horizontale  $ab$  de l'une des faces du mur (fig. 180), puis on joindra les points  $c$  et  $a$ ,  $E$  et  $E$  par les droites  $ca$ ,  $EE$ , et on joindra les points  $c$  et  $E$ ,  $a$  et  $E$ , par l'arc du ceintre de face que comprend la douëlle du premier voussoir. On tracera cet arc de courbe, au moyen d'un morceau de planche mince, que l'on taillera sur le ceintre de face même, de manière que ce morceau de planche ait parfaitement la courbure de l'arc que comprend la douëlle à tracer. Ce morceau de planche, ainsi taillé, prend le nom de *cerce*, ou *cherche*, ou *cerche*; le nom qui semble le plus usité maintenant est le premier, et c'est celui-là que nous adopterons comme étant plus doux à la prononciation. Il faut bien remarquer qu'en général le ceintre de face est une courbe qui change de courbure à chaque instant, ce qui exige que l'on fasse la cerce exactement d'une longueur égale à l'arc de la douëlle à tracer, et qu'on ait l'attention que l'extrémité de la cerce qui répond à l'arrête inférieure de la douëlle ne soit pas tournée du côté de l'arrête supérieure quand on trace la pierre.

Pour tracer la coupe de notre voussoir, il suffira de faire les distances  $e''F$ ,  $eF$ , situées sur les arrêtes supérieures  $e''g$ ,  $eg$ , des têtes du voussoir

(fig. 182), égales chacune à ea, qui est la projection horizontale de la longueur de la coupe EF (fig. 180), et de joindre les points F, F par une droite FF, qui sera l'arrête supérieure de la coupe : on joindra de plus les points E et F sur chaque tête du voussoir, par une droite EF (fig. 182); cela fait, la pierre sera tracée, et il ne restera plus qu'à tailler la douëlle et la coupe que nous venons de tracer.

Pour tracer le second voussoir à gauche, on fera un panneau de projection horizontale  $z''m''mzz'k$  (fig. 180); on choisira une pierre qui ait la hauteur  $NL'$ , et dont le lit contienne le panneau de projection horizontale; on fera les deux lits parallèles entre eux, et à une distance égale à la hauteur  $NL'$ ; on appliquera le panneau de projection horizontale sur chaque lit, de manière que les sommets du panneau se correspondent bien sur les mêmes perpendiculaires aux lits; on taillera ensuite toutes les faces de la pierre d'équerre à ces lits, et on aura un prisme ayant la forme  $z''m''mm^oz'kz''m^2$  (fig. 183). Sur le parement  $m^2m^ommm''$  qui doit contenir la douëlle du voussoir, on fera les distances  $m^2M$ ,  $m^oN$  chacune égale à  $NM$  (fig. 180), et on menera la droite  $MN$  (fig. 183) qui sera l'arrête supérieure de la douëlle du voussoir; on fera les distances  $m^2e''$ ,  $m^oe$  égales à la projection horizontale  $me$  de la douëlle  $EM$  (fig. 180), et on menera la droite  $e''e$  (fig. 183), qui sera l'arrête inférieure de la même douëlle; on joindra les points  $M$  et  $e''$ ,  $N$  et  $e$ , au moyen de la cerce de la seconde douëlle, levée sur le ceintre de face. Pour tracer la coupe du lit de dessus, on fera les distances  $m''L$ ,  $mL$  (fig. 183) égales à la projection horizontale  $ml$  de la coupe  $ML$  (fig. 180), et on menera les droites  $LL$ ,  $LM$  et  $LN$  (fig. 183). Pour tracer la coupe du lit de dessous, on fera les distances  $e''c$ ,  $ea$  (fig. 183) égales à la projection horizontale  $ea$  (fig. 180) de la coupe  $EF$ ; par les points  $c$  et  $a$  (fig. 183), on menera les droites  $cF$ ,  $aF$  d'équerre au lit de dessous; on fera les distances  $cF$ ,  $z'I$ ,  $kk$ ,  $z/z'$ ,  $zI$ ,  $aF$  (fig. 183), égales à  $EF'$  (fig. 180), et on menera les droites  $FI$ ,  $Ik$ ,  $kz'$ ,  $z'I$ , et  $IF$ , ainsi que les coupes  $e''F$ ,  $eF$ , et la pierre sera tracée. Pour tracer les autres voussoirs, on s'y prendrait de la même manière.

#### MÉTHODE PAR PANNEAUX, POUR TRACER ET TAILLER LES VOUSSOIRS DES BERCEAUX.

305. Supposons qu'il s'agisse de tracer le premier voussoir à gauche; on levera son panneau de tête  $A EFGH$  (fig. 180), et l'on équarrira une pierre à ce panneau de tête, comme s'il était question d'un berceau droit, en ayant l'attention de faire cette pierre à la plus grande longueur  $g't$  de la projection horizontale du voussoir qu'il s'agit de tracer. La forme de cette

Pierre sera celle représentée par les lettres  $abCdefghiK$  (fig. 184). Cela fait, on tracera la forme du lit de pose qui est  $MA''INHI$  et celle du lit de dessus  $LK''K'GHI$  (fig. 184), au moyen du panneau de piédroit  $g''cagg'h$  (fig. 180); puis, avec le panneau de douëlle  $A''D''D'A'$  (fig. 181) on tracera la douëlle  $A''liD''$  (fig. 184), et avec le panneau de joint  $D''D'K'K''$  (fig. 181), on tracera la coupe  $D''iK'K''$  (fig. 184). En appliquant tous ces panneaux sur la pierre, il faut observer avec soin qu'ils se correspondent bien, et que la forme du voussoir reste franche, sans flèche ni écornure.

Ce que nous venons de dire de l'usage des panneaux de tête, de douëlles et de joints, sur le premier voussoir à gauche du berceau biais en question, doit suffire pour concevoir la manière de tracer les autres voussoirs du berceau, d'après la même méthode.

On pourrait encore tracer les voussoirs des berceaux, par le moyen donné (n°. 286) pour les claveaux des plates-bandes biaises, au moyen de la ligne de direction.

#### SECOND EXEMPLE DE BERCEAUX BIAIS.

306. Dans le premier exemple de berceaux biais, nous avons donné la forme de la surface du berceau par le ceintre principal; mais quelquefois cette forme est donnée par le ceintre de face  $ADB$  (fig. 185). Dans ce cas, on fait la division des voussoirs sur ce ceintre de face, que nous supposons être une courbe régulière quelconque. Cela fait, par les points  $A, E, M, Q, D, \dots$ , qui indiquent les arrêtes des douëlles sur le ceintre de face, on abaisse des perpendiculaires  $Aa, Ee, Mm, Qq, Dc', \dots$ , à la ligne de terre  $AB$ , par les points  $a, e, m, q, c', \dots$ , où ces perpendiculaires à la ligne de terre rencontrent la trace horizontale  $ab$ , de la face du mur, qui se trouve le plus près de cette ligne de terre  $AB$ , on mène les droites  $ac, ee'', mm'', qq'', c'c''', \dots$ , parallèles entre elles et dans la direction du biais du berceau, et ces dernières droites sont les projections horizontales des arrêtes des voussoirs: bien entendu que ces projections se terminent à la trace horizontale  $g''d$  de la seconde face du mur. Pour avoir les projections horizontales des extrémités des coupes et des demi-douëlles, on s'y prendrait de la même manière.

Si, les pierres étant trop courtes, on est obligé de faire des joints dans l'épaisseur du mur, comme il faut faire ces joints d'équerre aux arrêtes des douëlles, il s'ensuit que le ceintre principal devient nécessaire pour tracer ces joints. Voici comment on obtient ce ceintre, au moyen de celui de face :

On prolonge, si cela est nécessaire, les projections horizontales des arrêtes des douëlles, et on mène à leur direction une perpendiculaire  $a''b'$  quelconque, dont la partie  $a''d'$  est l'axe horizontal du ceintre principal demandé. Cela fait, on prend les ordonnées  $E''E$ ,  $M''M$ ,  $Q''Q$ ,  $CD$ ,....., du ceintre de face, que l'on porte respectivement de  $e^3$  en  $e^4$ , de  $m^3$  en  $m^4$ , de  $q^3$  en  $q^4$ , de  $c''$  en  $c''^v$ ,....., et par les points  $d'$ ,  $e^4$ ,  $m^4$ ,  $q^4$ ,  $c''^v$ ....., on fait passer une courbe qui est le ceintre principal demandé. Pour avoir les coupes  $e^4b$ ,  $m^4L'$ ,  $q^4R'$ ,....., on fait les distances  $f^3b$ ,  $l^3L'$ ,  $r^3R'$ ,....., égales aux hauteurs  $AF$ ,  $L''L$ ,  $R''R$ ,...., et l'on mène les droites  $e^4b$ ,  $m^4L'$ ,  $q^4R'$ ,.....; ou bien, si le ceintre de face  $ADB$  est circulaire, par le point  $c''$ , qui est le centre de la section droite, et les points  $e^4$ ,  $m^4$ ,  $q^4$ , etc., on menera les droites  $e^4b$ ,  $m^4L'$ ,  $q^4R'$ , etc., qui seront les coupes demandées, et qui iront rencontrer les horizontales  $X'b$ ,  $U'L'$ ,  $S'R'$ , qui indiquent les lits des carreaux du mur, aux points  $b$ ,  $L'$ ,  $R'$ , etc., qui seront les extrémités des coupes.

Pour avoir le développement des panneaux des douëlles et des joints (fig. 186), on s'y prendra tout-à-fait de la même manière que nous avons expliquée au n°. 303, en observant de développer sur la droite  $AB$  (fig. 186), non pas le ceintre de face  $ADB$  (fig. 185), mais toujours la section droite  $a''c''d'$ . En développant cette section droite, on observera que les douëlles étant égales dans le ceintre de face, elles ne le seront plus dans la section droite, quel que soit le ceintre de face, ce qui exige que, dans le développement, on prenne successivement la largeur de chaque douëlle, à partir de la première (à gauche ou à droite), et qu'on porte ces largeurs sur la droite  $AB$  (fig. 186) dans le même ordre qu'on les aura prises sur la section droite. Pour les panneaux des joints, on prendra de même les largeurs des coupes sur la section droite ou ceintre principal, et jamais sur le ceintre de face.

Quant à la manière de tracer et de tailler les voussoirs, elle est la même que dans le premier exemple.

### TROISIÈME EXEMPLE DE BERCEAUX BIAIS.

307. Si le ceintre principal  $ADB$  (fig. 187) est une demi-circonférence de cercle, après avoir obtenu les projections horizontales des arrêtes des douëlles, on pourra avoir les panneaux des douëlles et des joints de la manière suivante:

On menera, par les points  $a$ ,  $e$ ,  $f$ ,  $g$  et  $a'$ ,  $e'$ ,  $f'$ ,  $g'$ , les droites  $aa^2$ ,  $e^2e^4$ ,  $f^2f^4$ ,  $g^2g^4$  et  $a'a^3$ ,  $e^6e^8$ ,  $f^6f^8$ ,  $g^6g^8$ , parallèlement à la ligne de terre  $AB$ . Cela fait, pour avoir les panneaux des douëlles, celui du premier voussoir, par

exemple, par le point  $a^2$ , où la droite  $aa^2$  rencontre la projection horizontale  $gg^9$  de l'une des arrêtes de la douëlle de la clef, et le point  $e^4$ , où la droite  $e^2e^4$  rencontre la projection horizontale  $hh'$  de la seconde arrête de la douëlle de la clef, on mènera la droite  $a^2e^4$ , et par les points  $a^3$  et  $e^8$  on mènera la droite  $a^3e^8$ , et le polygone  $a^3e^8e^4a^2$  sera le panneau demandé.

Pour avoir le panneau de la seconde douëlle, par le point  $e^5$ , où la droite  $e^2e^4$  rencontre la projection horizontale  $gg^9$  de l'une des arrêtes de la douëlle de la clef, et par le point  $f^4$ , où la droite  $ff^4$  rencontre la projection horizontale  $hh'$  de l'autre arrête de la douëlle de la clef, on mènera la droite  $e^5f^4$ ; par les points  $e^9$ ,  $f^8$ , on mènera la droite  $e^9f^8$ , et le polygone  $e^9f^8f^4e^5$  sera le panneau demandé.

Pour avoir le panneau de la troisième douëlle, on mènera les droites  $f^3g^4$ ,  $f^9g^8$  par les points  $f^5$  et  $g^4$ ,  $f^9$  et  $g^8$ , et le polygone  $f^9g^8g^4f^5$  sera le panneau demandé. Quant au panneau de la douëlle de la clef, il est tout trouvé : c'est le parallélogramme  $ghh'g^9$ . On trouvera les autres panneaux de douëlles, en opérant de la même manière que ci-dessus, ainsi qu'on le voit dans l'épure. On observera que les panneaux de douëlles, que nous venons de trouver, ne sont rigoureux qu'autant qu'on ne les enfonce pas dans les douëlles, ce qui les raccourcirait, ou qu'on laisse les douëlles plates, ainsi que les cordes  $AE$ ,  $EF$ , etc. l'indiquent dans le ceintre principal. On observera aussi que quand les faces du mur sont parallèles, la moitié des panneaux des douëlles suffit; de sorte que le panneau de douëlle du premier voussoir à gauche, peut servir pour le premier à droite, en le tournant de manière que le bord du panneau qui répondait à une face du mur réponde à l'autre.

Quant aux panneaux des joints, on les aura en menant, par le point  $c$  et les points  $e^2$ ,  $f^2$ ,  $g^2$ , les droites  $e^2e^3$ ,  $f^2f^3$ ,  $g^2g^3$ , et en menant par le point  $c'$  et les points  $e^6$ ,  $f^6$ ,  $g^6$ , les droites  $e^6e^7$ ,  $f^6f^7$ ,  $g^6g^7$ , et le premier panneau de joint à gauche sera  $e^6e^2e^3e^7$ , le second sera  $f^6f^2f^3f^7$  et le troisième sera  $g^6g^2g^3g^7$ . On aurait ceux à droite de la même manière.

L'usage de ces panneaux de douëlles et de joints est le même que si on les eut obtenus par le moyen donné au n°. 303.

Dans cet exemple de berceaux biaux, nous avons supposé le berceau extradossé uniformément, mais on pourrait lui donner une autre forme d'extrados, ou disposer les voussoirs en état de charge. N'oublions pas que les berceaux extradossés uniformément sont moins solides que les autres, et qu'il n'est permis d'en faire usage que quand le berceau est pratiqué dans un mur en moëllons.

## DES BERCEAUX EN TALUS.

Les berceaux en talus sont droits ou obliques: ils sont droits quand les projections horizontales des génératrices de l'intrados sont perpendiculaires à la trace horizontale de la face en talus, et ils sont obliques dans le cas contraire.

## DES BERCEAUX DROITS EN TALUS.

308. Supposons 1°. que la courbe régulière quelconque  $ADB$  (fig 188) soit le ceintre principal d'un berceau droit; 2°. que les droites  $EF$ ,  $GH$  soient les traces horizontales des faces du mur, celle de la face en talus étant la droite  $EF$ ; 3°. que le trapèze  $IKLM$  soit la section droite du mur. D'après ces données, et puisque le berceau est droit et que le ceintre  $ADB$  en est la section droite, la trace horizontale  $EF$  de la face en talus du mur sera parallèle à la ligne de terre  $AB$ , et la ligne de terre  $MI$ , de la section droite du mur, sera perpendiculaire à la première  $AB$ . Prolongeons ces deux lignes de terre, l'une  $AB$  vers  $l$  et l'autre  $IM$  vers  $m$ . Cela posé, voici de quelle manière on tracera l'épure du berceau en question :

On divisera le ceintre principal  $ADB$  en autant de parties égales qu'on voudra avoir de voussoirs; par les points de division  $b'$ ,  $c'$ ,  $d'$ ,  $f'$ ,  $g'$  et  $h'$ , qui seront les projections verticales des arrêtes des douëlles, on menera les normales  $b'b^3$ ,  $c'c^3$ ,  $d'd^3$ , etc. à ce ceintre principal, pour avoir les projections verticales des coupes des voussoirs; et, après avoir disposé l'appareil en état de charge ou autrement, on obtiendra les projections horizontales  $aa'$ ,  $bb^2$ ,  $cc^2$ ,  $dd^2$ , etc. des arrêtes des douëlles, en menant des perpendiculaires à la ligne de terre  $AB$  par les projections verticales  $b'$ ,  $c'$ ,  $d'$ , etc. des mêmes arrêtes, comme on l'a fait pour le premier exemple de berceaux biais (fig. 180); si, pour plus de précision, on veut avoir égard aux génératrices qui passent par les milieux des douëlles, on en aura les projections de la même manière que celles des génératrices qui passent par les arrêtes des douëlles, ainsi qu'on le voit dans l'épure. On obtiendra aussi les projections horizontales  $b^4b^5$ ,  $c^4c^5$ ,  $d^4d^5$ , etc. des extrémités des coupes, en abaissant, par les projections verticales  $b^3$ ,  $c^3$ ,  $d^3$ , etc. de ces mêmes extrémités, des perpendiculaires à la ligne de terre  $AB$ , comme pour les projections horizontales des arrêtes des douëlles. Cela fait, il faudra chercher les deux projections de l'intersection de la face cylindrique du berceau avec le plan en talus.

Pour cela, on remarquera que (le berceau ayant ses génératrices perpendiculaires au plan de projections verticales, puisque ce plan de projections

n'est autre que celui de la section droite du berceau), on remarquera, dis-je, que la projection verticale de l'intersection dont il s'agit est le ceintre principal ADB lui-même, d'où il suit qu'il ne nous reste plus qu'à obtenir la projection horizontale abcdefghi de la même intersection.

Nous obtiendrons cette projection horizontale en cherchant celles b, c, d, e, etc. des points où les arrêtes des douëles vont percer le plan en talus, et en faisant passer ensuite à la main une courbe abcdefghi par tous ces points, qui sera la projection demandée.

Voici maintenant comment on obtiendra les projections horizontales des points dont il vient d'être parlé.

Supposons qu'on veuille avoir celle g du point où l'arrête dont la projection verticale est le point g' rencontre le plan en talus; par le point g' on mena la droite g'g<sup>6</sup> parallèle à la ligne de terre AB: cette droite g'g<sup>6</sup> rencontrera la droite km en un point g<sup>6</sup>. Par le point k comme centre, et avec le rayon kg<sup>6</sup>, on décrira le quart de cercle g<sup>6</sup>g<sup>7</sup>, qui se terminera au point g<sup>7</sup> de la droite kl; par le point g<sup>7</sup> on mena la droite g<sup>7</sup>g<sup>8</sup> prolongée jusqu'à la droite IK. Cette droite g<sup>7</sup>g<sup>8</sup> rencontrera la ligne de talus ML en un point g<sup>8</sup>, par lequel on mena la droite g<sup>8</sup>g parallèle à la trace horizontale EF de la face en talus, laquelle droite g<sup>8</sup>g rencontrera la projection horizontale gg<sup>2</sup> de l'arrête de douëlle qui nous occupe, en un point g qui sera la projection horizontale demandée. On s'y prendra de la même manière pour avoir les projections horizontales b, c, d, e, etc., des points où les autres arrêtes de douëlle vont rencontrer le talus.

Pour avoir les projections horizontales des intersections des plans des coupes avec le talus, on opérera sur les arrêtes supérieures des coupes, dont les projections verticales sont les points b<sup>3</sup>, c<sup>3</sup>, d<sup>3</sup>, etc., et dont les projections horizontales sont les droites b<sup>4</sup>b<sup>5</sup>, c<sup>4</sup>c<sup>5</sup>, d<sup>4</sup>d<sup>5</sup>, etc., comme nous venons de l'indiquer sur les arrêtes des douëles, et on obtiendra les points b<sup>4</sup>, c<sup>4</sup>, d<sup>4</sup>, etc., qui seront les projections horizontales de ceux où les arrêtes des extrémités des coupes vont rencontrer la face en talus du mur. Si maintenant on joint les points b et b<sup>4</sup>, c et c<sup>4</sup>, d et d<sup>4</sup>, f et f<sup>4</sup>, etc., par les droites bb<sup>4</sup>, cc<sup>4</sup>, dd<sup>4</sup>, ff<sup>4</sup>, ..... , etc., on aura les projections horizontales demandées.

Si le ceintre principal ADB était une demi-circonférence de cercle, les projections horizontales bb<sup>4</sup>, cc<sup>4</sup>, dd<sup>4</sup>, ff<sup>4</sup>, gg<sup>4</sup>, etc., des intersections des plans des coupes avec le talus tendraient toutes au point C', qui est le point où l'axe de la surface du berceau rencontre la face en talus.

On aurait les mêmes projections horizontales en menant la droite M/L';

de manière qu'elle fit, avec la ligne de terre AB, un angle  $I'M'L'$  égal à l'angle IML, qui est l'inclinaison du talus sur le plan horizontal, et en opérant de la manière suivante :

Supposons qu'il s'agisse d'avoir la projection horizontale c du point où l'arrête de douëlle, dont le point  $c'$  est la projection verticale, rencontre la face en talus; par le point  $c'$  on mènera la droite  $c'c^6$  parallèle à la ligne de terre AB, laquelle droite  $c'c^6$  ira rencontrer la ligne de talus  $M'L'$  au point  $c^6$ ; par ce point  $c^6$  on mènera une perpendiculaire  $c^6c^7$  à la ligne de terre AB, qui ira rencontrer au point  $c^7$  la trace horizontale EF de la face en talus; par le point  $M'$  on abaissera à la ligne de terre AB la perpendiculaire  $M'K'$ ; par le point N, où la droite  $M'K'$  rencontre la trace horizontale EF de la face en talus, comme centre, et avec un rayon égal à  $Nc^7$ , on décrira le quart de cercle  $c^7c^8$ , qui se terminera au point  $c^8$  de la droite  $NK'$ ; par le point  $c^8$  on mènera la droite  $c^8c$  parallèle à la trace horizontale EF de la face en talus, qui ira rencontrer la projection horizontale  $cc^2$  de l'arrête de douëlle qui nous occupe, en un point c qui sera la projection horizontale demandée. On opérerait de la même manière pour les autres arrêtes de douëlle; et, si on le juge nécessaire, pour les génératrices qui passent par les milieux des douëlles, et on aurait les points a, b, c, d, e, f, g, h et i de la projection horizontale de l'intersection de la surface cylindrique avec la face en talus.

Pour avoir les projections horizontales  $bb^4$ ,  $cc^4$ ,  $dd^4$ , etc., des intersections des coupes avec la face en talus, on opérera sur les arrêtes des extrémités des coupes, comme nous venons de l'expliquer pour les arrêtes des douëlles, ainsi que l'enchaînement des lignes ponctuées de construction l'indique, ce qui donnera les points  $b^4$ ,  $c^4$ ,  $d^4$ ,  $f^4$ , etc., que l'on joindra respectivement avec les points b, c, d, f, etc., par des droites qui seront les projections horizontales demandées. Que l'on opère d'après le premier ou d'après le second procédé que nous venons d'expliquer, pour trouver les projections horizontales des intersections de la surface cylindrique et des plans des coupes du berceau avec le plan en talus, on observera que les arrêtes des douëlles et des extrémités des coupes du berceau sont, deux à deux, symétriquement disposées par rapport au plan horizontal, et que, conséquemment, l'opération qui donne la projection horizontale du point où l'une de ces arrêtes perce le plan en talus, donne en même temps celle du point où sa symétrique perce le même plan. Ainsi, par exemple, la droite  $g^8g$ , qui nous a donné le point g, étant prolongée donnera aussi le point c; et, réciproquement, la droite  $c^8c$  qui nous a donné le point

c, étant prolongée, donnera le point g, et ainsi des autres, comme on le voit dans l'épure.

309. Je recommande au lecteur de bien saisir l'enchaînement des lignes de construction, parce que ces lignes peignent les opérations à l'œil de telle sorte, qu'une fois qu'on s'est habitué à les considérer, elles tiennent lieu d'une explication détaillée, au lieu de compliquer l'épure, ainsi qu'on serait d'abord tenté de le croire. Voici de quelle manière on pourra prendre l'habitude de considérer cet enchaînement : Supposons que je veuille suivre les lignes de construction relatives à l'arrête de douëlle dont le point  $g'$  est la projection verticale; je suivrai de l'œil la droite  $g'g^6$ , qui me conduira au point  $g^6$ , lequel appartient à l'arc de cercle  $g^6g^7$ ; je suivrai cet arc qui me conduira au point  $g^7$ , lequel appartient à la droite  $g^7g^8$ , que je suivrai de même, et j'arriverai au point  $g^8$  qui est la projection verticale du point où l'arrête de douëlle qui m'occupe va percer la face en talus. Ce point  $g^8$  appartient à la droite  $g^8g$  que je suis, et j'arrive au point g qui est la projection horizontale du point de rencontre de mon arrête de douëlle avec le talus; ce point g se trouve sur la verticale  $gg'$  qui me conduit au point  $g'$  d'où j'étais parti. On trouverait le même enchaînement dans le procédé indiqué dans la moitié de l'épure à gauche. Continuons notre épure.

310. Si l'on veut avoir le ceintre de face sur la face en talus, comme les projections horizontales des arrêtes des douëlles sont perpendiculaires à la trace horizontale EF de la face en talus, on les prolongera, autant que nécessaire, et deviendront les directions des ordonnées du ceintre de face a p'i demandé. La droite ai sera l'un des axes de ce ceintre. Pour avoir les grandeurs des ordonnées successives, il ne faudra pas, comme dans le berceau biais (n°. 302), aller prendre celles des ordonnées correspondantes du ceintre principal ADB, parce que les ordonnées dont il est question ici se trouvent sur le plan en talus, et ont, par rapport au plan horizontal, la même inclinaison que ce plan en talus. En conséquence, voici comment on obtiendra les grandeurs de ces ordonnées.

Supposons qu'il s'agisse des ordonnées symétriques et égales Qq et Q'q'; au lieu de faire ces ordonnées égales à Pg' ou P'c', on les fera égales à la quantité Mg<sup>8</sup> prise sur la ligne ML du talus, ou bien égales à la quantité M'c<sup>6</sup> prise sur la ligne M'L' du même talus. Il est inutile de dire que les autres ordonnées s'obtiendraient de même sur la ligne du talus, en ayant soin de prendre les grandeurs correspondantes aux ordonnées respectives qu'on voudrait avoir.

Si l'on voulait ajouter à ce ceintre de face la direction des coupes sur la

face en talus, on raisonnerait sur les arrêtes des extrémités des coupes, comme nous venons de le faire sur celles des douëlles. Ainsi, par exemple, s'il s'agissait de déterminer la direction des coupes symétriques et égales  $qS'$  et  $q'R'$ , on ferait sur les projections horizontales  $Sg^5$ ,  $Rc^5$  des arrêtes des extrémités des coupes, les distances  $SS'$ ,  $RR'$  égales à la distance  $MO$  prise sur la ligne  $ML$  du talus, ou à la distance  $M'O'$  prise sur la ligne  $M'L'$  du même talus; ce qui donnerait les points  $S'$  et  $R'$  que l'on joindrait respectivement avec les points  $q$  et  $q'$  par les droites  $qS'$ ,  $q'R'$  qui seraient les coupes demandées. Si le ceintre principal  $ADB$  était une demi-circonférence de cercle, toutes les coupes du ceintre de face tendraient au point  $C'$  qui est le point où l'axe de la surface cylindrique du berceau perce le plan en talus.

Pour avoir le développement des panneaux des douëlles et des joints (fig. 189), on s'y prendra de la même manière que pour celui du berceau biais, en observant :

1°. Que la trace horizontale  $GH$  de la face verticale du mur pourra servir de directrice, puisque cette trace est perpendiculaire aux projections horizontales des arrêtes des douëlles.

2°. Que les projections horizontales des arrêtes des douëlles ne se prolongent pas jusqu'à la trace  $EF$  du mur, mais seulement jusqu'à la projection  $abcdefghi$  de l'intersection de la surface du berceau avec la face en talus. Pour les panneaux des coupes, on aura égard aussi aux projections horizontales  $b^4$ ,  $c^4$ , etc., des extrémités des arrêtes supérieures de ces coupes.

Supposons, maintenant, qu'il s'agisse de tracer et de tailler les voussoirs.

1°. Si l'on veut employer la méthode par panneaux, on s'y prendra comme nous l'avons expliqué au n°. 305.

2°. Si l'on aime mieux se servir de la méthode par équarrissement, on équarrira une pierre (qui aura pour base le panneau de projection horizontale  $y'v'b'z'$ , et pour hauteur celle  $yZ$  de l'assise correspondante du mur), de la même manière que s'il s'agissait d'un carreau du mur en talus, et que nous avons expliquée au n°. 257; ensuite, on tracera la douëlle et la coupe, comme nous l'avons enseigné au n°. 304, en ayant soin de tracer la courbe  $bi$  qui est sur la face en talus (fig. 190); au moyen d'une cerce levée sur le ceintre de face pour la douëlle de la première assise à gauche que l'on veut tailler, et on prendra toutes les précautions indiquées dans le même numéro.

Pour les autres voussoirs, on opérera d'une manière tout-à-fait analogue, en ayant l'attention de diminuer la largeur des panneaux de projection horizontale, en raison de la diminution de l'épaisseur du mur occasionnée par

le talus. Ainsi, par exemple, pour le second voussoir à gauche, le bord du panneau de projection horizontale qui donne, sur la face en talus, l'arrête du lit de pose de la pierre (préparée comme s'il ne s'agissait que d'un carreau du mur), devra passer par le point  $b$  qui est la projection horizontale de l'extrémité de l'arrête de la douëlle du lit de pose du voussoir, et ce bord du panneau sera indiqué par la droite  $y^2y^3$ . Ainsi ce panneau sera le polygone  $y^2y^3c^2y^4$ .

## DES BERCEAUX BIAIS EN TALUS.

311. Supposons que la courbe régulière quelconque  $ADB$  (fig. 191) soit le ceintre principal du berceau, et que les droites  $EF'$ ,  $GH$ , parallèles ou non, soient les traces horizontales des faces du mur, la trace  $EF'$  étant celle de la face en talus.

Si nous supposons actuellement que la droite  $FL$  soit la ligne de talus, c'est-à-dire que l'angle  $LFK$ , que fait cette droite  $FL$  avec la ligne de terre  $AB$ , soit l'inclinaison du talus par rapport au plan horizontal; on obtiendra la projection horizontale de l'intersection de la surface cylindrique du berceau et des plans des coupes, avec la face en talus, tout-à-fait comme nous l'avons expliqué pour les berceaux droits en talus, ce que les lignes ponctuées de construction font voir très-clairement, si l'on se rappelle l'observation que nous avons faite au n°. 309. On se rappellera aussi que la droite  $FM$  où viennent se terminer les arcs de cercle décrits du point  $F$  comme centre, est perpendiculaire à la trace horizontale de la face en talus.

312. La direction du plan en talus peut être donnée par ses deux traces  $EF$ ,  $FI$  (voyez n°. 158 et suiv. ce que nous avons dit sur les traces des plans); dans ce cas, pour avoir les projections horizontales des intersections de la surface cylindrique du berceau et des plans des coupes avec la face en talus, on prolongera les droites menées par les projections verticales des arrêtes des douëlles et des extrémités des coupes parallèlement à la ligne de terre  $AB$  jusqu'à la trace verticale  $FI$  de la face en talus; et, par les points où toutes ces parallèles à la ligne de terre iront rencontrer cette trace verticale  $FI$ , on abaissera des perpendiculaires à la ligne de terre  $AB$ , par les pieds desquelles on menera des parallèles à la trace horizontale  $EF$  du plan en talus, qui iront rencontrer respectivement les projections horizontales des arrêtes des douëlles et des extrémités des coupes, en des points qui seront les projections horizontales des points d'intersection de toutes ces arrêtes avec la face en talus, ainsi que les lignes ponctuées de construction

l'indiquent dans l'épure. On joindra ensuite tous les points ainsi obtenus, qui sont relatifs aux arrêtes des douëlles, par une courbe abcdefghi, qui sera la projection horizontale de l'intersection de la surface cylindrique du berceau avec la face en talus ; on opérera de la même manière pour avoir les projections horizontales des intersections des coupes avec la même face en talus.

Si l'on ne connaissait le talus que par ses deux traces, et qu'on voulût avoir sa véritable inclinaison par rapport au plan horizontal, on s'y prendrait comme nous l'avons expliqué au n°. 173.

Pour avoir le développement des panneaux des douëlles et des coupes (fig. 192), on s'y prendrait comme il a été dit pour les berceaux que nous avons traités précédemment.

Quant au ceintre de face sur le talus, on l'obtiendra de la manière suivante :

Par les points b, c, d, e, f, g et h, on menera des perpendiculaires telles que  $c'c^2$ ,  $e'e^2$ ,  $g'g^2$ , etc., à la trace horizontale EF de la face en talus, lesquelles seront les directions des ordonnées du ceintre de face demandé. La droite ai, comme dans la fig. 188, sera un axe de ce ceintre, et on aura les grandeurs respectives des ordonnées de cette courbe, comme dans le cas du n°. 310, c'est-à-dire qu'on les prendra sur la ligne de talus FL, qui fait, avec la ligne de terre AB, un angle LFK qui donne la véritable inclinaison du plan en talus par rapport au plan horizontal. Il faudrait bien se garder de les aller prendre sur la trace verticale FI du plan en talus.

Pour tracer et tailler les voussoirs de ce genre de berceau, on s'y prendra tout-à-fait de la même manière que nous avons expliquée plusieurs fois.

313. Si le ceintre principal ADB (fig. 193) était une demi-circonférence de cercle, après avoir obtenu (au moyen de la ligne de talus IK qui fait un angle KIL, avec la ligne de terre AB, qui est égal à l'inclinaison de la face en talus avec le plan horizontal), après avoir obtenu, dis-je, la projection horizontale abcdefghi de l'intersection de la surface cylindrique avec la face en talus, on pourra avoir les panneaux des douëlles et des coupes, comme nous l'avons expliqué au n°. 307, ainsi que l'indiquent les lignes ponctuées de construction dans la présente épure.

Pour avoir la projection horizontale de l'intersection de la surface cylindrique avec la face en talus, on observera que la droite FM est parallèle à la ligne de terre, et que la droite FN est perpendiculaire à la trace horizon-

tale EF du talus. On voit d'ailleurs que la droite IF est menée par le pied I de la ligne de talus, perpendiculairement à la ligne de terre.

DES BERCEAUX PRATIQUÉS AU TRAVERS D'UN MUR GAUCHE.

314. La courbe régulière ADB (fig. 194) est le ceintre principal du berceau que l'on veut pratiquer au travers d'un mur gauche; les droites EF, GH sont les traces horizontales des faces de ce mur; la première de ces deux traces est celle de la face gauche, et la seconde celle de la seconde face que nous supposons plane et verticale. Les trapèzes GELM, HFIK sont les sections faites dans le mur gauche par deux plans verticaux, qui pourraient être quelconque, mais que nous supposons perpendiculaires à la ligne de terre AB; ainsi, les traces horizontales GE, HF, de ces plans verticaux, seront perpendiculaires à la même ligne de terre AB. Les intersections EL, FI, avec la face gauche du mur, des plans verticaux dont il vient d'être question, sont des lignes droites, et sont les directrices de la face gauche; la génératrice de cette face est une ligne droite qui, restant toujours de niveau, glisse sur les deux directrices EL, FI. D'après ces conditions, voici comment on obtiendra les projections horizontales des intersections de la surface cylindrique et des plans des coupes du berceau avec la face gauche du mur :

On prolongera les droites GE, HF, qui sont perpendiculaires à la ligne de terre AB, respectivement jusqu'aux points O et Q; ensuite, par les points de la section droite des berceaux qui sont les projections verticales des arrêtes des douëlles et des extrémités des coupes, ainsi que des génératrices qui passent par les milieux des douëlles et des droites qui passent par les milieux des coupes, on menera des droites parallèles à la ligne de terre AB, que l'on prolongera de part et d'autre jusqu'aux droites NO, PQ; par les points N et P, comme centres, et avec des rayons respectivement égaux aux distances de ces centres aux points où les parallèles, que l'on vient de mener à la ligne de terre, vont rencontrer les droites NO, PQ, on décrira des arcs de cercle qui s'arrêteront sur les prolongemens NS, PR de la ligne de terre AB; par les points de rencontre de tous ces arcs avec les droites NS, PR, on menera des parallèles aux droites NG, PH, lesquelles iront rencontrer les directrices EL, FI, de la surface gauche, en des points par lesquels on abaissera des perpendiculaires aux droites EG, FH, et on joindra par des droites les pieds des perpendiculaires à la droite EG avec les pieds des perpendiculaires correspondantes abaissées sur la droite FH, ainsi que les lignes ponctuées de construction l'indiquent dans

l'épure. Les dernières droites que l'on vient de mener sont les projections horizontales d'une suite de génératrices de la surface gauche, lesquelles génératrices rencontrent, dans l'espace, celles de la surface cylindrique qui passent par les arrêtes et les milieux des douëlles et qui sont correspondantes aux premières, en des points qui sont à l'intersection de la surface cylindrique avec la surface gauche; par conséquent, les intersections respectives  $b, c, d, e, f$ , etc., des projections horizontales de toutes ces génératrices, seront les points par lesquels il faudra faire passer la courbe  $abcdefghi$ , qui est la projection horizontale de l'intersection de la surface cylindrique du berceau avec la surface gauche du mur.

Enfin, les projections horizontales des génératrices de la surface gauche rencontreront celles des horizontales menées par les milieux et les extrémités des coupes qui leur sont correspondantes, en des points  $b^2$  et  $b'$ ,  $c^2$  et  $c'$ ,  $d^2$  et  $d'$ ,  $f^2$  et  $f'$ , etc., qui appartiendront aux projections horizontales des intersections des plans des coupes avec la surface gauche, lesquelles projections seront les lignes courbes  $bb^2b'$ ,  $cc^2c'$ ,  $dd^2d'$ ,  $ff^2f'$ , etc., et l'épure sera terminée.

Pour avoir le développement des panneaux des douëlles et des coupes (fig. 195), on s'y prendra comme il a été dit plusieurs fois, en observant que les bords des panneaux des coupes qui sont à la surface gauche sont des lignes courbes.

Pour tracer et tailler par équarrissement les voussoirs du berceau, on équarrira des pierres d'une base convenable, comme s'il s'agissait simplement de carreaux du mur gauche, en s'y prenant de la manière que nous avons expliquée au n°. 262; et, ensuite, on fera les douëlles et les coupes, comme il a été dit au n°. 304. Il serait trop difficile et trop inexact d'avoir le ceintre de face sur la face gauche pour tracer la courbure de la douëlle sur la tête gauche du voussoir, ce qui m'a fait penser qu'il était inutile d'expliquer la manière d'avoir ce ceintre de face, d'autant plus que le ceintre principal, et le ceintre de face pris sur la face verticale du mur, suffisent dans la pratique, où l'on n'emploie, le plus souvent et dans d'autres cas, que le ceintre principal, et où l'on supplée aux ceintres de face, en faisant une espèce de petite rigole vers chaque bout de la douëlle, au moyen d'une cerce prise convenablement sur le ceintre principal, dans lesquelles rigoles on trace l'intersection du plan de la section droite avec la douëlle, et ensuite on achève la douëlle en faisant glisser une règle parallèlement aux arrêtes de cette douëlle, et de manière qu'elle glisse sur les arcs du ceintre principal tracés dans les deux rigoles.

Quant à la manière de tracer les voussoirs par panneaux, elle reste encore la même que celle des berceaux précédens.

#### DES BERCEAUX PRATIQUÉS DANS UN MUR CYLINDRIQUE DROIT.

315. La courbe régulière quelconque ADB (fig. 196) est le ceintre principal du berceau que l'on veut pratiquer au travers d'un mur cylindrique droit, et les traces horizontales EeF, GfH des faces du mur sont des courbes quelconques.

Quelles que soient les faces cylindriques du mur, comme elles sont droites, les projections horizontales des intersections de la surface cylindrique et des plans des coupes du berceau avec les surfaces cylindriques du mur, seront sur les traces mêmes EeF, GfH de ces dernières surfaces. Conséquemment l'épure de tous les berceaux pratiqués au travers des murs cylindriques droits se réduit à obtenir les projections horizontales des arrêtes des douëlles, des extrémités des coupes, des génératrices des milieux des douëlles et des horizontales menées aux milieux des coupes, lesquelles projections horizontales seront toujours comprises entre les traces horizontales EeF, GfH des faces du mur, ainsi qu'on le voit fait dans l'épure de la figure 196. On obtiendra d'ailleurs le développement des panneaux des douëlles et des coupes (fig. 197), comme à l'ordinaire, en observant que les bords des panneaux des joints qui sont aux faces du mur sont des lignes courbes.

Quant à la manière de tracer et de tailler les voussoirs par équarrissement, elle est encore la même que dans les cas précédens, eu égard à la forme du mur, qui sera toujours donnée par des panneaux de projection horizontale. Si l'on voulait avoir les cerces nécessaires pour tracer les arrêtes des douëlles sur les têtes cylindriques des voussoirs, on étendrait, sur une ligne droite, la longueur de l'arc aeb, en prenant les longueurs successives des projections horizontales des mêmes arrêtes des douëlles, pour les porter les unes au bout des autres sur le développement de l'arc aeb, et par les points de jonction de ces projections dans le développement, on élèverait des perpendiculaires à la droite sur laquelle on aurait fait ce développement, que l'on ferait respectivement égales aux ordonnées du ceintre principal ADB, et par les extrémités de ces perpendiculaires, on ferait passer une courbe qui comprendrait toutes les cerces nécessaires à l'objet que nous proposons ici. Il faudrait que ces cerces fussent faites en tôle ou en planche assez mince pour qu'elles fussent flexibles. On opérerait de même sur l'arc cfd pour l'autre face du mur. Mais ces cerces ne sont pas nécessaires pour tailler les voussoirs, en s'y prenant comme nous l'avons

dit à la fin du numéro 314. C'est pour cette raison que je n'ai pas décrit ces cerces dans l'épure.

DES BERCEAUX PRATIQUÉS AU TRAVERS D'UN MUR CYLINDRIQUE OBLIQUE.

316. La courbe régulière quelconque ADB (fig. 198) est le ceintre principal d'un berceau que l'on veut pratiquer au travers d'un mur cylindrique circulaire oblique. L'arc de cercle EF est la trace horizontale de la face cylindrique circulaire oblique du mur, et la courbe quelconque GH est celle de la face cylindrique droite quelconque du même mur; la droite EL est la projection horizontale, et la droite IK la projection verticale d'une génératrice quelconque de la surface cylindrique oblique; la droite PO est la projection horizontale et la droite MN la projection verticale de l'axe de la même surface. On observera que les droites IK, MN doivent être parallèles, ainsi que les droites EL, PO, puisque, dans toute surface cylindrique, les génératrices sont parallèles à l'axe, et que les projections de deux droites parallèles sont parallèles. Cela posé, voici comment on opérera pour avoir la projection horizontale abcdefghi de l'intersection de la surface cylindrique du berceau avec la surface cylindrique oblique du mur.

Supposons que l'on veuille avoir les projections horizontales c et g des points où les arrêtes de douëlle, dont les projections verticales sont les points  $c^4$ ,  $g^4$ , vont rencontrer la surface cylindrique oblique du mur; par les points  $c^4$ ,  $g^4$  on menera une parallèle  $c^5g^5$  qui ira rencontrer d'une part la projection verticale IK de la génératrice connue de la surface cylindrique oblique du mur en un point  $c^5$ , et de l'autre part la projection verticale MN de l'axe de la même surface, en un point  $g^5$ ; par ces points  $c^5$  et  $g^5$ , on abaissera les perpendiculaires  $c^5c^6$  et  $g^5g^6$  à la ligne de terre AB, lesquelles perpendiculaires  $c^5c^6$ ,  $g^5g^6$  rencontreront les droites EL, PO aux points  $c^6$  et  $g^6$ . Par le point  $g^6$ , comme centre, et avec le rayon  $g^6c^6$ , on décrira l'arc de cercle  $c^6cg$ , qui rencontrera aux points c et g les projections horizontales  $cc^7$ ,  $gg^7$  des arrêtes des douëlles, dont les points  $c^4$ ,  $g^4$  sont les projections verticales, et les points c et g seront les projections horizontales demandées. En opérant de la même manière sur les autres arrêtes de douëlle, prises deux à deux, ainsi que sur les génératrices qui passent par les milieux des douëlles, on aura les points successifs de la projection horizontale abcdefghi de l'intersection de la surface cylindrique du berceau avec la face cylindrique oblique du mur. De plus, en opérant de la même manière sur les arrêtes des extrémités et sur les horizontales qui passent par les milieux des coupes, on obtiendra les points nécessaires pour avoir les projections horizontales

$bb'b^2$ ,  $cc'c^2$ ,  $dd'd^2$ , etc., des intersections des coupes avec la surface cylindrique oblique du mur. Les arcs de cercle  $b^2b^3$ ,  $h^2h^3$ ,  $c^2c^3$ ,  $g^2g^3$ ,  $d^3d^2$  et  $f^2f^3$ , seront les projections horizontales des arrêtes horizontales des états de charge des voussoirs.

Cela est fondé 1°. sur ce que si l'on coupe une surface cylindrique circulaire par des plans parallèles à la base, les sections seront des circonférences de cercle parfaitement égales à celle de la base; 2°. sur ce que nous supposons ici des plans horizontaux menés par les arrêtes des douëlles et des extrémités des coupes; 3°. sur ce que la projection horizontale d'une circonférence de cercle située sur un plan horizontal est parfaitement égale à la circonférence en question. D'où il suit que nous aurions pu nous contenter d'avoir le centre  $g^6$  de l'arc de cercle  $c^6cg$  qui nous a servi à trouver les projections horizontales  $c$  et  $g$  des points où les génératrices, dont les projections verticales sont les points  $c^4$ ,  $g^4$ , vont rencontrer la surface cylindrique oblique en question, car cet arc de cercle est d'un rayon égal à celui de la trace horizontale  $EF$  de cette surface; ce qui aurait diminué beaucoup le nombre des lignes de construction.

On aurait pu traiter cette épure dans le même esprit que celle de la plate-bande pratiquée dans un mur du même genre. (Voyez ce que nous en avons dit au n°. 291).

Si la base de la surface cylindrique oblique était une ellipse, les plans horizontaux menés par les arrêtes des douëlles et des extrémités des coupes du berceau rencontreraient cette surface suivant des ellipses parfaitement égales à la base, et les axes de toutes ces ellipses non-seulement seraient égaux, mais encore ils seraient parallèles dans l'espace; par conséquent les projections horizontales de ces mêmes axes seraient toutes parallèles et égales aux axes de la base de la surface. D'où il suit que, pour avoir les projections horizontales de tous ces axes, il suffirait d'avoir celles des centres des ellipses auxquelles ces axes appartiennent, ce qu'on obtiendrait parfaitement de la même manière que nous venons de trouver les centres des cercles qui sont, dans notre épure (fig. 198), les projections horizontales des intersections des plans horizontaux menés, dans la surface cylindrique oblique, par les arrêtes des douëlles et des extrémités des coupes du berceau.

On obtiendra le développement des panneaux des douëlles et des coupes (fig. 199), comme il a été dit.

Pour tracer et tailler les voussoirs, on s'y prendra encore comme précédemment.

## DES BERCEAUX PRATIQUÉS AU TRAVERS DES MURS CONIQUES DROITS.

317. La courbe régulière quelconque ADB (fig. 200) est le ceintre principal d'un berceau pratiqué au travers d'un mur conique droit, que nous supposons à base circulaire; l'arc de cercle EF est la trace horizontale de la face conique, et l'arc de cercle GH est celle de la face cylindrique droite du mur. Supposons que la droite KL fasse, avec la ligne de terre AB, un angle MKL égal à celui que forment les génératrices de la surface conique avec le plan horizontal, et que, par le pied K de la droite KL, on abaisse la perpendiculaire KE, qui ira rencontrer au point E la trace horizontale EF, de la surface conique, par lequel on mènera la droite EI parallèle à la ligne de terre AB, et une autre droite EN au centre N de la base du cône. Cela posé, en considérant la droite KL comme une ligne de talus, on obtiendra les projections horizontales abcdefghi, et bb'b<sup>2</sup>, cc'c<sup>2</sup>, dd'd<sup>2</sup>, etc., des intersections de la surface cylindrique et des plans des coupes du berceau avec la face conique du mur, de la même manière que nous avons obtenu les mêmes projections dans les berceaux pratiqués au travers des murs en talus, en observant pourtant que, par le centre N de la base du cône, on décrira des arcs de cercle dont les rayons seront donnés par les distances de ce centre N aux différens points où les arcs décrits du point E, comme centre, vont rencontrer la droite EN. Ces arcs de cercle, décrits du point N, iront couper les projections horizontales des arrêtes des douëlles et des extrémités des coupes, ainsi que celles des milieux des douëlles et des coupes, en des points qui appartiendront aux projections horizontales demandées, comme les lignes ponctuées de construction l'indiquent.

Il est inutile de répéter ce qui est relatif au développement des panneaux des douëlles et des joints (fig. 201), et à la manière de tracer et de tailler les voussoirs.

## DES BERCEAUX PRATIQUÉS AU TRAVERS DES MURS CONIQUES OBLIQUES.

318. La courbe régulière quelconque ADB (fig. 202) est le ceintre principal d'un berceau pratiqué au travers d'un mur conique circulaire oblique; l'arc de cercle EF est la trace horizontale de la surface conique oblique, et la courbe quelconque GH est celle de la face cylindrique droite du mur; le point P est la projection horizontale du sommet de la surface conique, et le point Q est le centre de la base EF; et, par conséquent, la droite QP est la

projection horizontale de l'axe de la même surface. Supposons, maintenant, que l'on ait construit le demi-triangle par l'axe  $ERQ$ , comme nous l'avons expliqué au n°. 293, au sujet des plates-bandes. Supposons, de plus, qu'on ait mené la droite  $KM$ , quelconque, perpendiculaire à la ligne de terre  $AB$ ; que par le point  $M$ , où cette droite  $KM$  rencontre la droite  $EQ$  prolongée, on ait mené 1°. à cette dernière droite  $EQ$  la perpendiculaire  $MO$ , et 2°. la droite  $MN$  parallèle à la ligne de terre  $AB$ . Cela posé, par le point  $I$  comme centre, on décrira des quarts de cercle, tels que  $KL$ , avec des rayons respectivement égaux aux distances du point  $I$  aux points où les parallèles, à la ligne de terre  $AB$ , menées par les points de la section droite du berceau qui indiquent les arrêtes des douëllles et des extrémités des coupes, etc., vont rencontrer la droite  $IK$ ; par les points où tous ces quarts de cercle rencontreront la droite  $IL$ , on mènera des parallèles à la droite  $IM$  qui iront rencontrer la droite  $MN$ , à des distances du point  $M$ , respectivement égales aux hauteurs des arrêtes des douëllles et des coupes par rapport au plan horizontal; par le point  $M$ , comme centre, on rabattra, par des arcs de cercle, toutes les distances dont nous venons de parler sur la droite  $MO$ ; par les points où ces derniers arcs de cercle rencontreront la droite  $MO$ , on mènera des parallèles à la base  $EQ$  du demi-triangle par l'axe  $EQR$  de la surface conique, lesquelles iront rencontrer l'axe  $QR$  et la génératrice  $ER$  de la même surface. Par les points où ces parallèles rencontreront l'axe  $QR$ , on abaissera des perpendiculaires à la droite  $EQ$ , et les pieds de ces perpendiculaires seront les centres des projections horizontales d'une suite de cercles qui seront les intersections, avec la surface conique, d'une suite de plans horizontaux menés par les arrêtes des douëllles et des coupes du berceau. Les rayons respectifs de tous ces cercles seront les longueurs des parallèles à la droite  $EQ$  comprises entre les droites  $QR$  et  $ER$ , lesquels cercles intercepteront les projections horizontales des arrêtes des douëllles et des extrémités des coupes du berceau, en des points par lesquels on mènera les courbes  $abcdefghi$ ,  $bb'/b^2$ ,  $cc'/c^2$ ,  $dd'/d^2$ ,  $ff'/f^2$ , etc., qui seront les projections horizontales des intersections de la surface d'intrados et des plans des coupes du berceau avec la face conique oblique du mur, et l'épure sera terminée.

La figure 203 est le développement des panneaux des douëllles et des coupes, que l'on obtiendra comme dans les cas précédens.

Si la face conique du mur au travers duquel on veut pratiquer le berceau était à base elliptique, les intersections des plans horizontaux menées par les arrêtes des douëllles et des extrémités des coupes, au lieu d'être des cercles, comme dans l'exemple précédent, seraient des ellipses sem-

blables à la base de la surface conique. Pour avoir les projections horizontales de ces ellipses, qui seraient des ellipses respectivement égales à celles dont on veut les projections horizontales, on menerait un plan par le sommet de la surface conique et par l'un des axes de la base de cette surface, et on rabattrait, autour de ce même axe, le triangle qui résulterait de l'intersection de ce plan avec la surface conique. Au moyen de ce triangle, ou seulement de sa moitié, on obtiendrait un axe de chacune des ellipses qui doivent être les projections horizontales des intersections, avec la surface conique, de la suite des plans horizontaux menés par les arrêtes des douëlles et des extrémités des coupes du berceau, en opérant comme on l'a fait sur le triangle par l'axe ERQ de la surface conique qui nous a servi, dans l'exemple précédent, à avoir les centres et les rayons des cercles qui exprimaient les mêmes choses dans l'épure de la figure 202. Mais comme le plan de ce nouveau triangle pourrait ne pas être vertical, on déterminerait son inclinaison par rapport au plan horizontal, en construisant un triangle rectangle dont les côtés de l'angle droit seraient, l'un, la perpendiculaire abaissée par la projection horizontale du sommet de la surface conique sur l'axe (de la base de la surface conique) qui est la base du premier triangle, et l'autre serait la hauteur même du sommet de la surface conique : l'inclinaison demandée serait l'angle aigu, de ce triangle rectangle, dont le sommet n'est pas celui de la surface conique. Ensuite, on ferait l'angle KIL (fig. 202) égal à cette inclinaison, et on prendrait les hauteurs des arrêtes des douëlles et des extrémités des coupes, suivant la droite IK, pour les porter parallèlement à la base du triangle qui remplace celui par l'axe, et on opérerait ensuite comme nous l'avons expliqué sur le triangle par l'axe dans la fig. 202.

Ayant le centre et la grandeur d'un axe de toutes ces ellipses, on aura le second axe, pour chacune d'elles, en observant que toutes ces ellipses étant semblables à celle qui sert de base à la surface conique, leurs axes doivent être proportionnels à ceux de cette base. De plus, on observera que les axes de toutes les ellipses dont il s'agit doivent être parallèles à ceux de la base de la surface conique.

Le lecteur qui ne saurait pas trouver une quatrième proportionnelle à trois droites données, menerait un plan par le sommet et le second axe de la base de la surface conique, sur lequel il opérerait comme nous venons de l'indiquer sur le premier plan, ce qui lui donnerait les seconds axes des ellipses en question.

Je regrette que les bornes que j'ai dû me prescrire dans cet ouvrage

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<sup>o</sup>. 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*.