

CHAPITRE XX.

Des pénétrations réciproques des Voûtes.

411. Dans les chapitres précédens, nous avons donné les différentes espèces de voûtes les plus susceptibles d'être mises en usage, et nous les avons considérées, chacune en particulier, dans toutes les circonstances remarquables où elles pouvaient se rencontrer. Dans celui-ci, il va être question de toutes ces voûtes se pénétrant réciproquement les unes les autres, et nous étudierons toutes les combinaisons susceptibles de donner des résultats en harmonie avec les règles de la bonne construction. Cette partie de la coupe des pierres présente un si grand nombre de cas particuliers, qu'il est absolument impossible de les considérer les uns après les autres; de sorte qu'il faut nécessairement établir une méthode dont la fécondité soit telle, qu'au moyen d'un petit nombre de procédés généraux, nous puissions nous mettre au-dessus de toutes les difficultés. Ce n'est qu'en établissant bien l'ordre analogique, et en faisant bien sentir l'enchaînement des choses des unes aux autres, que nous pourrons faire concevoir la généralité des procédés que nous allons donner. Pour y réussir, nous diviserons les pénétrations en quatre classes: la première comprendra les pénétrations des berceaux ordinaires entre eux et avec les autres espèces de voûtes; la seconde renfermera les pénétrations des berceaux en descente entre eux et avec les autres espèces de voûtes; la troisième se composera des pénétrations des portes coniques entre elles et avec les autres espèces de voûtes, et la quatrième, des pénétrations des voussures et des niches avec les autres espèces de voûtes. Chaque classe sera subdivisée en plusieurs genres, et chaque genre en plusieurs espèces.

PREMIÈRE CLASSE.

412. La première classe de pénétrations sera subdivisée;

1°. En pénétrations de plusieurs berceaux ordinaires;

- 2°. En pénétrations d'un berceau ordinaire avec une voûte sphérique;
- 3°. En pénétrations d'un berceau ordinaire, avec une voûte sphéroïde;
- 4°. En pénétrations d'un berceau ordinaire, avec une voûte annulaire;
- 5°. En pénétrations d'un berceau ordinaire, avec une voûte annulaireoïde;
- 6°. En pénétrations d'un berceau ordinaire, avec une voûte ellipsoïde;
- 7°. En pénétrations d'un berceau ordinaire, avec une voûte quelconque dont l'intrados est une surface de révolution, l'axe de rotation étant situé horizontalement dans l'espace;

Et 8°. en pénétrations d'un berceau ordinaire, avec un berceau en descente.

DES PÉNÉTRATIONS DE DEUX BERCEAUX ORDINAIRES.

413. Supposons (fig. 350) 1°. que les droites $E'F'$, GH soient les traces horizontales des faces d'un des murs d'une galerie en berceau, dont la courbe quelconque MIN est la moitié du ceintre principal; 2°. que les droites AB et GK , DC et HI , soient celles des faces des deux murs d'une seconde galerie en berceau, moins large que la première, dont le ceintre principal est la courbe quelconque ELF ; 3°. que les naissances des berceaux de ces deux galeries soient sur un même plan horizontal; 4°. que les projections horizontales des génératrices de ces deux berceaux fassent entre elles un angle quelconque; et 5°. que les droites BC , KI soient les traces horizontales des faces d'un mur droit faisant un angle quelconque avec les faces des murs du berceau dont le ceintre principal est la courbe ELF , et étant à une distance quelconque par rapport au mur du berceau dont le demi-ceintre principal est la courbe MIN .

Le mur dont les traces horizontales sont les droites BC , KI , au lieu d'être droit, pourrait être en talus, gauche, cylindrique droit, cylindrique oblique, conique droit, ou conique oblique; et dans ces différens cas, on traiterait la tête du berceau qui répondrait à ce mur, comme il a été expliqué en détail dans le septième chapitre. De sorte que quel que soit ce mur, nous n'aurons à nous occuper que de ce qui est relatif à la pénétration des deux berceaux.

Lorsqu'on fait pénétrer deux berceaux, ou l'on construit ces deux voûtes en même temps, ou bien l'une existe déjà et on y pratique une trouée en démolissant quelques-uns de ses voussoirs pour donner passage au berceau qui doit le rencontrer, et qu'il s'agit de construire. Dans l'un et l'autre cas, il faut que les assises correspondantes des deux berceaux se raccordent le plus régulièrement et le plus simplement possible; dans le premier cas, ce raccordement est facile, en ce qu'on peut faire les divisions des deux ceintres prin-

cipaux de manière à satisfaire aux conditions que nous allons établir; mais dans le second cas, comme l'appareil de l'ancienne voûte existe, et ne peut être changé, il est beaucoup plus difficile de satisfaire aux mêmes conditions: c'est pour cela que nous nous supposerons dans cette dernière circonstance.

Supposons donc que ce soit le grand berceau dont le demi-ceintre principal est la courbe MiN qui existe d'abord; on fera la division des voussoirs dans le ceintre principal ELF de l'autre berceau, de manière que la hauteur d^5d , de la première douëlle du grand berceau, soit plus grande que celle a^8a de la première douëlle du second. Si l'inverse avait lieu, les arrêtes apparentes des deux voûtes se raccorderaient d'une manière désagréable à la vue; et si ces deux hauteurs étaient égales, il en résulterait une aiguë d'angle à l'endroit de l'intersection des deux intrados. Ainsi, on doit satisfaire à la condition que nous venons d'établir, à moins que des inconvéniens plus graves ne s'y opposent. Cette condition est même de rigueur pour toutes les classes de pénétrations, c'est-à-dire que, *quelles que soient les voûtes qui se pénètrent, la hauteur de l'arrête supérieure de la douëlle de la première assise de la plus petite voûte doit toujours être moindre que celle de l'arrête correspondante de la grande.*

Ayant divisé le ceintre principal ELF du petit berceau, d'après cette condition, on cherchera les projections de l'intersection des deux intrados de la manière qui suit, quelle que soit la nature des ceintres principaux des deux berceaux.

On prolongera les deux lignes de terre EP , OP , jusqu'à leur rencontre au point P , par lequel on mènera les droites Pl^2 , Pl' , respectivement perpendiculaires à ces mêmes lignes de terre EP , OP ; par les points de division a , b , c , L , du ceintre ELF , on mènera, à la ligne de terre EP , les parallèles aa' , bb' , cc' , LL' ; par le point P comme centre, et avec les rayons Pa' , Pb' , Pc' , PL' , on décrira les arcs de cercle a^2a^2 , b^2b^2 , c^2c^2 , L^2L^2 ; par les points a^2 , b^2 , c^2 , L^2 , où ces arcs de cercle rencontrent la droite Pl' , on mènera, à la ligne de terre PO , les parallèles a^2a^3 , b^2b^3 , c^2c^3 , L^2L^3 , qui rencontreront le ceintre principal MiN , du grand berceau, aux points a^3 , b^3 , c^3 , L^3 , par lesquels on abaissera, à la ligne de terre PO , les perpendiculaires a^3a^5 , b^3b^5 , c^3c^5 , L^3L^4 , qui rencontreront respectivement les projections horizontales des arrêtes des douëlles et celle de l'axe du petit berceau aux points a^5 et a^4 , b^5 et b^4 , c^5 et c^4 , et L^4 , par lesquels et les points A et D (qui sont les projections horizontales des intersections des faces contiguës et intérieures des murs), on fera passer la courbe $Aa^5b^5c^5L^4c^4b^4a^4D$, qui sera la projection horizontale de l'intersection des deux intrados. Quant

aux projections verticales de cette intersection, qui est située à la fois sur les deux intrados, elles ne sont autre chose que celles des ceintres principaux des deux berceaux.

Maintenant, considérons que la première assise du petit berceau doit se raccorder avec la première assise du grand, la seconde du petit avec la seconde du grand, et ainsi du suite, jusqu'à ce qu'on soit arrivé à une assise du grand berceau dont l'arrête supérieure s'élève assez, au-dessus du milieu de la douëlle de la clef du petit, pour que cette clef ait une épaisseur convenable. Arrivé à cette assise du grand berceau, quel que soit le nombre d'assises qui restent dans le petit, elles se raccorderont toutes avec cette dernière assise du grand; de sorte que les autres assises de ce dernier berceau seront tout-à-fait indépendantes du petit.

Pour raccorder convenablement ces assises respectives, supposons d'abord qu'il s'agisse des deux premières, et n'opérons que pour la moitié du petit berceau: par le point d , qui est la projection verticale de l'arrête supérieure de celle qui appartient au grand berceau, on menera, à la ligne de terre PO , la parallèle dd' ; par le point P , comme centre, et avec le rayon Pd' , on décrira l'arc de cercle $d'd^2$; par le point d^2 , où cet arc de cercle rencontre la droite Pl^2 , on menera, à la ligne de terre EP , la parallèle d^2d^3 , qui sera la projection verticale de l'arrête de douëlle, du grand berceau, qui passe par le point d , et qui rencontrera la coupe ad^3 du petit berceau au point d^3 , qui sera la projection verticale du point où cette coupe ad^3 rencontre l'arrête de douëlle dont il vient d'être question. Pour avoir la projection horizontale d^4 du même point, par le point d^3 on abaissera à la ligne de terre EP la perpendiculaire d^3d^4 ; par le point d , on abaissera la projection horizontale dd^4 de l'arrête de douëlle, du grand berceau, qui répond au point d , laquelle rencontrera la droite d^3d^4 au point d^4 qui sera la projection demandée. Puisque l'arrête du petit berceau qui répond au point a est plus bas que l'arrête correspondante du grand berceau, il s'ensuit que le plan de la coupe qui passe par la droite ad^3 , rencontre l'intrados du grand berceau suivant une courbe dont les points a^4 , d^4 sont les projections horizontales de ses extrémités.

Pour achever la projection horizontale $a^4e^4d^4$ de cette intersection, il suffira d'obtenir un ou plusieurs points intermédiaires aux points a^4 , d^4 déjà trouvés; si, par exemple, on se contente d'un seul, on prendra un point e , sur le ceintre Min , entre les points a^3 , d , par lequel on menera, à la ligne de terre PO , la perpendiculaire ee^4 , et la parallèle ee' ; on fera la distance Pe^2 égale à Pe' ; par le point e^2 on menera, à la ligne de terre EP , la pa-

parallèle e^2e^3 ; par le point e^3 , où la droite e^2e^3 rencontre la coupe ad^3 , on abaissera une perpendiculaire e^3e^4 à la ligne de terre EP , laquelle rencontrera la droite ee^4 au point e^4 , par lequel, et les points a^4 , d^4 , on mènera la courbe $a^4e^4d^4$, qui sera la projection demandée.

Le plan de la coupe ad^3 cesse d'intercepter l'intrados du grand berceau au point dont la projection horizontale est le point d^4 , mais étant prolongé plus haut, il intercepte le plan de la coupe dg , et à partir du même point : il nous reste donc à donner la projection horizontale d^4g^4 de cette dernière intersection. Pour l'obtenir, on observera d'abord que, pour éviter les entailles sur les parties horizontales d'état de charge des voussoirs, il faudra que les extrémités g^3 , g des coupes ag^3 , dg soient sur le même plan horizontal; et comme la hauteur TT' est déterminée dans la vieille voûte, on fera la hauteur Pg^2 égale à cette hauteur donnée TT' ; par le point g^2 , on mènera, à la ligne de terre EP , la parallèle g^2g^3 , qui rencontrera la coupe ag^3 , au point g^3 qui sera la projection verticale de l'extrémité de cette coupe ag^3 . Par ce point g^3 , on abaissera, à la ligne de terre EP , la perpendiculaire g^3g^4 , qui sera la projection horizontale de la même extrémité de coupe; par le point g on abaissera, à la ligne de terre PO , la perpendiculaire gg^4 , qui sera la projection horizontale de l'extrémité de la première coupe du grand berceau, et le point g^4 , où cette dernière droite gg^4 rencontre la première g^3g^4 , est un point de la projection demandée; mais le point d^4 est évidemment un autre point de la même projection; d'où il suit que la droite g^4d^4 , menée par les points g^4 , d^4 , sera la projection dont il s'agit, et la projection horizontale du raccordement des deux premières assises sera terminée.

Pour avoir celle du raccordement des deuxièmes assises, on opérera, sur les coupes bX , fo , comme nous venons de l'expliquer sur les coupes ag^3 , dg .

Pour le raccordement des troisièmes assises, on commencera par déterminer la projection horizontale $e^4k^3i^4$, de l'intersection du plan de la coupe cl^3 , avec l'intrados de la vieille voûte, en opérant comme ci-dessus; puis celle i^4l^4 de l'intersection des deux plans des coupes il , cl^3 , et ensuite on remarquera que le plan de la coupe cl^3 interceptera l'extrados de la vieille voûte. Pour avoir la projection horizontale l^4m^3 de cette intersection, on prolongera l'horizontale RQ jusqu'en m ; par le centre P , on décrira l'arc de cercle mm' ; par le point m' , on mènera la droite $m'm^2$ parallèle à la ligne de terre EP , qui rencontrera la coupe cl^3 au point m^2 ; par ce point m^2 , on abaissera, à la ligne de terre EP , la perpendiculaire m^2m^3 ; par le point R , on abaissera, à la ligne de terre PO , la perpendiculaire

Rm^3 , qui rencontrera la droite m^2m^3 au point m^3 , qui appartiendra à la projection demandée; mais le point l^4 appartient aussi à cette projection; donc la courbe l^4m^3 , qui passera par les deux points l^4 , m^3 , sera cette projection demandée. Si l'on veut avoir un point o^6 intermédiaire de cette courbe, on prendra un point o^2 sur la courbe Rl , entre les points R , l , et on opérera sur ce point o^2 , comme les lignes o^2o^6 , o^2o^3 , o^3o^4 , o^4o^5 et o^5o^6 l'indiquent dans l'épure.

Observons, maintenant, que la droite L^2L^3 est la projection verticale, dans le plan dont la ligne de terre est la droite PO , de la génératrice du milieu de la clef du petit berceau, et que le point i appartient à l'arrête supérieure de la troisième assise du grand berceau; je dis que si la distance L^3i est au moins égale aux trois quarts de la largeur d'une douëlle de la vieille voûte, quel que soit le nombre d'assises qu'on ait dans le petit berceau, à partir de la troisième, elles se raccorderont toutes, ainsi que la clef, avec la troisième du grand berceau.

Pour avoir la projection horizontale du raccordement de toutes les assises supérieures du petit berceau avec la troisième du grand, on opérera comme ci-dessus. Enfin, on opérera de la même manière sur les coupes du côté à gauche du petit berceau, et l'épure sera terminée, pour ce qui regarde la pénétration des deux berceaux.

On extradossera cylindriquement la partie, du petit berceau, comprise entre les faces du mur dont les traces horizontales sont la droite GH et la ligne quelconque KI . Supposons que la courbe UVX soit la directrice de cet extradoss; par les points X , n ,, où les coupes bX , cl^3 rencontrent cette courbe UVX , on abaissera, à la ligne de terre EP , les perpendiculaires XX^2 , nn^2 ,, dont les parties $X'X^2$, $n'n^2$,, comprises entre les lignes GH , KI , seront les projections horizontales des extrémités des coupes de cette partie du petit berceau; enfin, on abaissera les projections horizontales des extrémités des coupes, de ce même berceau, dans l'étendue comprise entre les traces horizontales KI , BC , du mur quelconque qui termine le petit berceau, et les figures $a^9a^4e^4d^4g^4g^5$, $b^7b^4h^4f^4o'X'X^3$, $c^7c^4k^3i^4l^4o^6m^3m^4n^2n'm^5m^6$, etc., seront les projections horizontales des formes des coupes du petit berceau, et l'épure sera terminée.

Si l'on veut avoir le développement des panneaux des douëlles et des coupes du petit berceau, on s'y prendra comme nous l'avons expliqué dans le chapitre VII, pour les différens cas que ce chapitre renferme. Ainsi, sur une droite AB (fig. 351) quelconque, on développera le ceintre principal ELF du berceau (fig. 350), et par les points A , E , F , G , H , I , K , L et

B (fig. 351), on mènera, à la droite AB, les perpendiculaires AD, EE', FF', GG', HH', II', KK', LL', BC; on prendra (fig. 350) une directrice quelconque BC; on fera (fig. 351) les distances BC, LL', KK', II', HH', etc., respectivement égales aux distances (fig. 350) CD, a²a⁴, b⁷b⁴, c⁷c⁴, L⁵L⁴, etc., et par les points (fig. 351) C, L', K', I', H', etc.; on fera passer la courbe CH'D, qui sera le développement de la courbe d'intersection des intrados des deux berceaux, et conséquemment les figures BCL/L, LL'K'/K', etc., seront les panneaux de douëlle demandés.

Pour avoir les panneaux des coupes, celui de la première, par exemple, dont la droite ag³ (fig. 350) est la projection verticale; on fera (fig. 351) les distances LO, LN, LM, respectivement égales aux distances (fig. 350) ae³, ad³, ag³; par les points O, N, M (fig. 351), on mènera, à la droite AB, les perpendiculaires OO', NN', MM'; on fera les distances OO', NN', MM', respectivement égales aux distances (fig. 350) e⁵e⁴, d⁵d⁴, g⁵g⁴; par les points L', O', N' (fig. 351), on fera passer la courbe L'O'N'; par les points N', M', on mènera la droite N'M', et la figure LL'O'N'M'M sera le panneau demandé.

On aura le panneau KK'Q'P'P de la seconde coupe, en opérant de la même manière sur la coupe bX (fig. 350), et sur sa projection horizontale b⁷b⁴f⁴o'X³. Quant à celui II'U'T'S'Q²Q³K³K²Q⁴Q (fig. 351), de la coupe cl³ (fig. 350), on l'aura en prenant les distances (fig. 351) IU, IK, IT, IQ, IS, respectivement égales aux distances (fig. 350) ck², cn, ci³, cm², cl³; en menant (fig. 351) par les points U, K, T, Q, S, les droites UU', KK³, TT', QQ², SS', perpendiculaires à la droite AB; en faisant les longueurs UU', TT', SS', QQ², QQ³, KK³, KK², QQ⁴, respectivement égales aux distances (fig. 350) k⁴k³, i⁵i⁴, m⁶l⁴, m⁶m³, m⁶m⁴, n³n², n³n¹, m⁶m⁵; en faisant passer une courbe I'U'T' (fig. 351) par les points I', U', T', une ligne droite T'S' par les points T', S', une courbe S'Q² par les points S', Q², une droite Q³K³ par les points Q³, K³, et une droite K²Q⁴ par les points K², Q⁴. On aurait les autres panneaux de joint de la même manière.

Pour tracer les voussoirs de cette pénétration, on emploiera la méthode par équarrissement, comme étant la plus convenable. Ainsi, par exemple, supposons qu'il s'agisse d'un premier voussoir, de celui dont le panneau de projection horizontale est la figure tpqrGs (fig. 350); on équarrira d'abord une pierre à ce panneau de projection horizontale, et à la hauteur TT', qui aura la forme tpqrGss'l'p'q'i'G' (fig. 352); ensuite, avec le panneau de tête MdgT'T' (fig. 350), on tracera, sur la tête tt's's (fig. 352), la forme

A't²ls's, et avec le panneau de tête Fag³g²P (fig. 350), sur la tête qq'r'r (fig. 352), on tracera la forme aq³mr'r, et la pierre sera tracée. Pour la tailler, on fera d'abord la douëlle A't²oa⁵A, et la coupe t²lno, qui fait partie de la grande voûte, comme s'il s'agissait d'un simple berceau, et ensuite on fera l'autre douëlle Aaq³a⁵, et la coupe q³mnoa⁵, comme s'il s'agissait aussi d'un simple berceau : les deux douëlles et les deux coupes se rencontreront naturellement comme il convient, et le voussoir sera terminé. On voit, par cette explication, qu'au moyen des panneaux de projection horizontale, et des panneaux de tête, les autres voussoirs ne seront pas plus difficiles à tracer.

La fig. 353 est une pierre du côté du mur, dont les traces horizontales sont les lignes KI, BC, dans l'hypothèse où ce mur est droit.

Dans l'épure précédente nous avons supposé les naissances des deux berceaux sur le même plan horizontal, ce qui a presque toujours lieu. Si les deux naissances étaient sur des plans horizontaux différens, il faudrait, en faisant la division du ceintre principal du berceau à construire, commencer cette division à partir de la hauteur de la naissance du vieux berceau. Si l'on construisait les deux berceaux en même temps, on commencerait la division des deux ceintres principaux à partir de la hauteur de la naissance la plus inférieure. Du reste, l'épure et les pierres se traceraient de la manière que nous venons d'expliquer.

DES PÉNÉTRATIONS DE TROIS BERCEAUX.

414. Trois berceaux peuvent se rencontrer de plusieurs manières : 1°. l'un d'eux peut rencontrer les deux autres, sans que ces derniers se rencontrent entre eux, et 2°. ils pourront se rencontrer tous les trois réciproquement, c'est-à-dire que, le premier pourra rencontrer les deux autres, le second les deux autres, et le troisième aussi les deux autres. Cela aurait lieu si les faces intérieures des murs qui les soutiennent se rencontraient de manière qu'en joignant, par des droites, les points de rencontre des traces horizontales de ces faces intérieures, on eût un triangle quelconque. Dans ce dernier cas, la rencontre des trois berceaux est presque toujours d'un effet si désagréable à la vue, que je ne crains pas de dire que c'est un cas impossible, car les productions de la coupe des pierres ne peuvent être bonnes, qu'autant qu'elles sont en harmonie avec les règles de la bonne architecture. Cependant il pourrait se faire qu'une pareille rencontre de berceaux se présentât dans la pratique; mais alors, au lieu de faire rencontrer ces berceaux naturellement, on pratiquerait des arcs-doubleaux dont les projections ho-

horizontales d'une arrête de chacun d'eux seraient les côtés du triangle dont il a été question ci-dessus, de sorte qu'entre ces trois arcs-doubleaux il resterait un espace triangulaire qu'on vouôterait d'une manière quelconque, indépendante des ceintres des trois berceaux.

Dans le cas où un des trois berceaux rencontre les deux autres sans que ceux-ci se rencontrent entre eux, il ne peut y avoir d'autres difficultés que celles que nous avons expliquées au n°. 413; ainsi le lecteur pourra s'exercer en faisant toutes les combinaisons possibles dans ce dernier cas, sans que rien ne puisse l'arrêter, s'il a bien compris ce que nous avons dit sur la fig. 350.

S'il s'agissait de la pénétration réciproque de quatre ou d'un plus grand nombre de berceaux, il y aurait des combinaisons qui présenteraient des défauts qu'il faudrait éluder en faisant usage d'arcs-doubleaux pour interrompre le cours des berceaux, et faire, entre ces arcs-doubleaux, une voûte d'une nature particulière de la forme la plus agréable possible. Les combinaisons qui ne présenteraient aucune défaut, ne présenteraient non plus aucune difficulté, car il suffirait de répéter autant de fois qu'il en serait besoin, ce que nous avons dit au n°. 413. Ainsi, on doit regarder comme complètement développée la théorie des pénétrations réciproques des berceaux ordinaires.

DES PÉNÉTRATIONS D'UN BERCEAU AVEC UNE VOUTE SPHÉRIQUE.

415. PREMIER EXEMPLE. Supposons que les naissances de la voûte sphérique et du berceau soient sur le même plan horizontal; que les arcs de cercle AC, BD (fig. 354), fassent partie des traces horizontales des faces du mur cylindrique droit sur lequel la voûte sphérique est établie; que le point T soit la projection horizontale du centre de cette voûte; que la droite MT, passant par le centre T ou non, soit la projection horizontale de l'axe, et les droites AB, CD celles des génératrices de naissance du berceau; que la courbe quelconque Q'VR' soit la projection verticale du ceintre principal de ce berceau, et supposons qu'on ait obtenu les projections horizontale et verticale de la voûte sphérique, comme il a été dit au n°. 369.

Que la voûte sphérique soit construite d'avance, ou qu'on la construise en même temps que le berceau, en divisant le ceintre principal de ce dernier, on observera que l'arrête supérieure de la douëlle de la première assise de la voûte sphérique soit plus élevée, par rapport au plan horizontal de naissance des deux voûtes, que l'arrête correspondante de la première assise du berceau, ainsi que nous l'avons recommandé pour les pénétrations des ber-

ceaux. Cela posé, on tracera l'épure actuellement en question, ainsi qu'il suit :

Pour trouver les projections horizontale et verticale de l'intersection de l'intrados du berceau avec celui de la voûte sphérique, on supposera une suite de plans horizontaux menés par les arrêtes des douëlles du berceau, qui rencontreront l'intrados de la voûte sphérique suivant des circonférences de cercle; on décrira les projections horizontales de ces circonférences de cercle, lesquelles rencontreront respectivement celles des arrêtes des douëlles correspondantes du berceau en des points qui appartiendront à la projection horizontale de l'intersection des deux intrados. Pour cela, on prolongera les lignes de terre $Q'S$, HS , jusqu'à leur rencontre en S ; par le point S , on élèvera respectivement à ces lignes de terre $Q'S$, HS , les perpendiculaires Sm^2 , Sm' ; par les points a , b , c , V , de division du demi-cceintre principal VbR' du berceau, on menera les droites aa' , bb' , cc' , VV' , parallèles à la ligne de terre $Q'S$, qui rencontreront la droite Sm^2 aux points a' , b' , c' , V' ; par le point S , comme centre, et avec les rayons Sa' , Sb' , Sc' , SV' , on décrira les arcs de cercle $a'a^2$, $b'b^2$, $c'c^2$, $V'V^2$; par les points a^2 , b^2 , c^2 , V^2 , où ces arcs de cercle rencontrent la droite Sm' , on menera, à la ligne de terre SH , les parallèles a^2a^3 , b^2b^3 , c^2c^3 , V^2V^3 , qui rencontreront la projection verticale du cceintre principal de la voûte sphérique, aux points a^3 , b^3 , c^3 , V^3 ; par ces derniers points, on abaissera, à la ligne de terre SH , les perpendiculaires a^3a^4 , b^3b^4 , c^3c^4 , V^3V^4 , qui rencontreront le rayon TE , du grand cercle de naissance (parallèle à la ligne de terre SH), aux points a^4 , b^4 , c^4 , V^4 ; par le point T , comme centre, et avec les rayons Ta^4 , Tb^4 , Tc^4 , on décrira les arcs de cercle a^4a^5 , b^4b^5 , c^4c^5 , qui rencontreront les projections horizontales a^4a^7 et Pa^5 , b^4b^7 et Ob^5 , c^4c^7 et Nc^5 , des arrêtes des douëlles du berceau, respectivement aux points a^7 et a^5 , b^7 et b^5 , c^7 et c^5 , par lesquels et les points B , V^4 et D , on fera passer la courbe $Ba^7b^7c^7V^4c^5b^5a^5D$, qui sera la projection horizontale de l'intersection des deux intrados.

Pour avoir la projection verticale de la même intersection, on observera d'abord que, si la projection horizontale MT de l'axe du berceau passe par le centre T du grand cercle de naissance de la voûte sphérique, ce qui a lieu dans notre épure, les projections verticales des points, de l'intersection dont il s'agit, dont les projections horizontales sont alternativement les points a^7 et a^5 , b^7 et b^5 , c^7 et c^5 , coïncideront deux à deux, et alors, pour avoir la projection verticale $D'D^2a^6b^6c^6V^3$ demandée, il suffira, par les points D , a^5 , b^5 , c^5 et V^4 , d'élever, à la ligne de terre SH , les perpendiculaires

DD' , a^5a^6 , b^5b^6 , c^5c^6 , et V^4V^3 , qui rencontreront les projections verticales $C'D'$, $P'a^6$, $O'b^6$, $N'c^6$, $M'V^3$, des arrêtes des douëlles du berceau, respectivement aux points D' , a^6 , b^6 , c^6 , V^3 , par lesquelles on fera passer la projection demandée $D'D^2a^6b^6c^6V^4$. Dans le cas où la projection horizontale MT de l'axe du berceau ne passerait pas par le centre T , la projection verticale demandée s'éleverait du point D' , de la ligne de terre, jusqu'au point V^3 du ceintre de la voûte sphérique, et redescendrait du point V^3 jusqu'à la ligne de terre, par une courbe différente de la courbe $D'a^6b^6c^6V^3$. On obtiendrait cette seconde courbe, en élevant, par les points B , a^7 , b^7 , c^7 , des perpendiculaires à la ligne de terre SH , qui iraient rencontrer les projections verticales $C'D'$, $P'a^6$, $O'b^6$, $N'c^6$, en des points qui appartiendraient à cette courbe.

Les projections de l'intersection des intrados étant décrites, il faudra trouver celles des intersections des plans des coupes du berceau avec l'intrados de la voûte sphérique.

Pour cela, on reportera les hauteurs des arrêtes des douëlles de la voûte sphérique, sur les coupes du berceau, en menant, par les points d , g , l , de division du ceintre de la voûte sphérique, les droites dd' , gg' , ll' , parallèles à la ligne de terre SH ; en décrivant par le point S , comme centre, et avec les rayons Sd' , Sg' , Sl' , les arcs de cercle $d'd^2$, $g'g^2$, $l'l^2$, qui rencontreront la droite Sm^2 aux points d^2 , g^2 , l^2 , et en menant, par les points d^2 , g^2 , l^2 , les droites d^2d^3 , g^2g^3 , l^2l^3 , parallèles à la ligne de terre $Q'S$. Cela fait, par les points d^3 , g^3 , l^3 , où ces dernières droites rencontreront les coupes af^3 , bi^3 , cm^3 du berceau, on abaissera, à la ligne de terre $Q'S$, les perpendiculaires d^3d^5 , g^3g^4 , l^3l^4 , qui rencontreront les projections horizontales des arrêtes des douëlles de la voûte sphérique, respectivement aux points d^5 , g^4 , l^4 , qui seront les projections horizontales des points où les plans des coupes du berceau rencontrent les arrêtes des douëlles de la voûte sphérique. Ensuite, on prendra, sur les coupes du berceau, les points e^3 , h^3 , n^3 , entre les extrémités a et d^3 , b et g^3 , c et l^3 ; par ces points e^3 , h^3 , n^3 , on mènera les droites e^3e^4 , h^3h^5 , n^3n^5 , perpendiculaires, et les droites e^3e^2 , h^3h^2 , n^3n^2 , parallèles, à la ligne de terre $Q'S$; par le point S , comme centre, et avec les rayons Se^2 , Sh^2 , Sn^2 , on décrira les arcs de cercle e^2e' , h^2h' , n^2n' ; par les points e' , h' , n' , on mènera, à la ligne de terre SH , les parallèles $e'e$, $h'h$, $n'n$, qui rencontreront le ceintre FG , de la voûte sphérique, aux points e , h , n ; par ces derniers points, on abaissera, à la ligne de terre SH , les perpendiculaires ee^6 , hh^4 , nn^4 , qui rencontreront le rayon ET du grand cercle de naissance de la voûte sphérique; par le centre T , de ce grand

cercle, et avec les rayons Te^6 , Th^4 , Tn^4 , on décrira les arcs de cercle e^6e^4 , h^4h^5 , n^4n^5 , qui rencontreront les droites e^3e^4 , h^3h^5 , n^3n^5 , respectivement aux points e^4 , h^5 , n^5 , qui appartiendront aux projections horizontales $a^5e^4d^5$, $b^5h^5g^4$, $c^5n^5l^4$, des intersections des plans des coupes du berceau avec l'intrados de la voûte sphérique. Pour avoir les projections verticales $a^6e^5d^6$, $b^6h^6g^5$, $c^6n^6l^6$, par les points d^5 et e^4 , h^5 et g^4 , n^5 et l^4 , on élèvera, à la ligne de terre SH , les perpendiculaires e^4e^5 et d^5d^6 , h^5h^6 et g^4g^5 , n^5n^6 et l^4l^6 , qui rencontreront les projections verticales des droites menées au milieu des coupes du berceau, et des arrêtes des douëlles de la voûte sphérique, respectivement aux points e^5 et d^6 , h^6 et g^5 , n^6 et l^6 , par lesquels et les points a^6 , b^6 , c^6 , on fera passer les courbes $a^6e^5d^6$, $b^6h^6g^5$, $c^6n^6l^6$, qui seront les projections demandées.

Il ne nous reste plus, présentement, qu'à trouver les projections des intersections des plans des coupes du berceau avec les surfaces coniques des coupes de la voûte sphérique, lesquelles intersections sont des lignes courbes. Supposons qu'il s'agisse de l'intersection des coupes cm^3 et lm ; par l'extrémité m , et par un point intermédiaire o , de la coupe, de la voûte sphérique, qui passe par la droite lm , on menera, à la ligne de terre SH , les parallèles mm' , oo' ; par le centre S , et avec les rayons Sm' , So' , on décrira les arcs de cercle $m'm^2$, $o'o^2$; par les points m^2 , o^2 , on menera, à la ligne de terre $Q'S$, les parallèles m^2m^3 , o^2o^3 , qui rencontreront la coupe cm^3 aux points m^3 , o^3 ; par ces derniers points m^3 , o^3 , on abaissera, à la ligne de terre $Q'S$, les perpendiculaires m^3m^4 , o^3o^4 , indéfiniment; par les points m , o , on abaissera, à la ligne de terre SH , les perpendiculaires mm^5 , oo^5 , qui rencontreront le rayon TE , parallèle à la ligne de terre SH aux points m^5 , o^5 ; par le centre T , et avec les rayons Tm^5 , To^5 on décrira les arcs de cercle m^5m^4 , o^5o^4 , qui rencontreront les droites m^3m^4 , o^3o^4 , aux points m^4 , o^4 , par lesquels et le point l^4 on fera passer la courbe $l^4o^4m^4$, qui sera la projection horizontale de l'intersection dont il s'agit. On aura la projection verticale $l^6o^6m^6$, de la même intersection, en élevant, par les points o^4 , m^4 , les droites o^4o^6 , m^4m^6 , perpendiculaires à la ligne de terre SH , lesquelles rencontreront les droites oo' , mm' , prolongées, aux points o^6 , m^6 , par lesquels et le point l^6 , on fera passer la courbe $l^6o^6m^6$, qui sera la projection demandée. On aurait les projections d^5f^4 et d^6f^5 , g^4i^4 et g^5i^5 , en opérant de la même manière. On opérerait encore de la même manière, si l'on voulait avoir la projection horizontale m^4d^5 de l'intersection du plan de coupe du berceau, qui passe par la droite cm^3 , avec l'extrados de la voûte sphérique, et l'épure serait terminée.

D'après tout ce qui précède, je ne crois pas avoir besoin d'expliquer la manière de trouver le développement des panneaux des douëlles et des joints. Quant aux voussoirs, le meilleur procédé est de les faire par équarrissement, en se servant toujours des panneaux de projection horizontale, et des panneaux de tête, autant que possible, comme étant le meilleur moyen de tracer les douëlles et les coupes. Ici on ne pourra faire usage de ces derniers panneaux, que pour les joints qui viennent contre ceux des voussoirs de la voûte sphérique, si la face extérieure du mur est cylindrique. Dans ce dernier cas, je crois qu'en se rappelant ce que nous avons dit sur la manière de tracer les voussoirs des berceaux pratiqués dans les murs cylindriques, on ne rencontrera aucune difficulté.

416. *SECOND EXEMPLE.* Supposons les mêmes choses que dans le premier exemple, avec cette seule différence que la naissance QR (fig. 354) du berceau soit plus haut que celle de la voûte sphérique. Dans ce cas, on opérera comme dans le premier, en ayant soin de regarder le ceintre principal du berceau, comme s'il descendait au niveau de la naissance de la voûte sphérique; de sorte que les douëlles des deux premières assises du berceau soient en partie planes, et en partie cylindriques, ainsi qu'on le voit dans l'épure (fig. 354).

417. *TROISIÈME EXEMPLE.* Si les deux naissances étaient sur le même plan horizontal; si le ceintre principal du berceau était une demi-circonférence de cercle, et si l'axe du berceau passait par le centre de l'intrados de la voûte sphérique, les projections $Ba^7b^7c^7V^4c^5a^5D$, $D'D^2a^6b^6c^6V^3$, de l'intersection des intrados, seraient deux lignes droites: la première passerait par les points B , D , et la seconde ne serait que le prolongement de la première. Cependant cette dernière projection ne serait une ligne droite que dans le cas où la ligne de terre SH serait parallèle à la projection horizontale de l'axe du berceau. Ainsi, dans ce cas, l'épure de la pénétration se simplifierait beaucoup, puisque l'on n'aurait qu'à déterminer les projections des intersections des plans des coupes du berceau avec l'intrados et les coupes de la voûte sphérique, ce qu'on ferait, comme nous l'avons expliqué dans le premier exemple. Il faut bien retenir que les projections de l'intersection des deux intrados ne sont des lignes droites, que parce que 1°. *les naissances sont sur un même plan horizontal*; 2°. *l'axe du berceau passe par le centre de la voûte sphérique*; et 3°. *le ceintre principal du berceau est une demi-circonférence de cercle.*

DES PÉNÉTRATIONS DE PLUSIEURS BERCEAUX, AVEC UNE VOUTE SPHÉRIQUE.

418. Quel que soit le nombre de berceaux qui rencontrent une voûte sphérique, il est clair que le lecteur ne pourra rencontrer aucune difficulté, puisqu'il n'aura qu'à appliquer autant de fois qu'il y aura de berceaux, ce que nous avons dit depuis le n°. 415, jusqu'au n°. 417; aussi je n'ajouterai rien à ce qui précède, si ce n'est que les courbes d'intersection des intrados de la voûte sphérique et du berceau ou des berceaux, produisent un mauvais effet, quand les naissances de ces derniers s'élèvent plus haut que celles de la voûte sphérique, ou quand leurs ceintres principaux sont surhaussés. Pour que ces pénétrations produisent un bon effet, il faut que les naissances soient toutes sur un même plan horizontal; que les ceintres principaux des berceaux soient des demi-circonférences de cercle; que les diamètres de ces ceintres soient tous égaux entre eux, et qu'ils soient plus petits que la moitié de celui de l'intrados de la voûte sphérique; que le nombre de berceaux soit pair, et que leurs axes passent tous par le centre de la voûte sphérique.

DES PÉNÉTRATIONS D'UN OU DE PLUSIEURS BERCEAUX, AVEC UNE VOUTE SPHÉROÏDE.

419. D'après la nature des voûtes sphéroïdes, on sait que les intersections de tant de plans horizontaux qu'on voudra avec l'intrados de cette espèce de voûtes, seront des circonférences de cercle, d'où il suit que les épures des pénétrations des berceaux avec les voûtes sphéroïdes, se tracent absolument de la manière que nous avons expliquée au n°. 415: aussi n'ai-je rien à ajouter à ce qui précède, si ce n'est que, si les naissances sont sur un même plan horizontal, si les ceintres principaux des berceaux sont des courbes semblables à la génératrice d'intrados de la voûte sphéroïde, et si les axes des berceaux passent par le point où l'axe de rotation de l'intrados de la voûte sphéroïde rencontre le plan horizontal qui passe par les naissances, les projections horizontales des intersections des intrados de toutes ces voûtes seront des lignes droites, et les intersections elles-mêmes seront des courbes planes, dont les plans seront parallèles à l'axe de rotation dont nous venons de parler.

DES PÉNÉTRATIONS D'UN OU DE PLUSIEURS BERCEAUX, AVEC UNE VOUTE ANNULAIRE.

420. Les épures de ces sortes de pénétrations se font tout-à-fait comme si les berceaux rencontraient une voûte sphérique, et cela, parce que si l'on

coupe une voûte annulaire par des plans horizontaux, les intersections de ces plans horizontaux avec l'intrados de la voûte sont des circonférences de cercle, tout comme dans le cas d'une voûte sphérique, ou d'une voûte sphéroïde.

DES PÉNÉTRATIONS D'UN OU DE PLUSIEURS BERCEAUX, AVEC UNE VOUTE ANNULAIRÔÏDE.

Comme ces sortes de pénétrations ne se rencontrent presque jamais dans la pratique, nous nous dispenserons d'en traiter ici, pour nous occuper de choses plus utiles.

DES PÉNÉTRATIONS D'UN OU DE PLUSIEURS BERCEAUX, AVEC UNE VOUTE ELLIPSOÏDE.

421. Les épures de cette espèce de pénétrations ne diffèrent de celle d'une voûte sphérique, qu'en ce que les intersections des plans horizontaux menés par les arrêtes des douëlles des berceaux, avec l'intrados des voûtes ellipsoïdes, sont des ellipses au lieu d'être des circonférences de cercle. Mais comme nous avons expliqué au n°. 388, avec tout le détail désirable, la manière d'obtenir les projections des intersections d'une suite quelconque de plans horizontaux avec l'intrados d'une voûte ellipsoïde, il s'ensuit qu'à cela près, l'explication que nous avons donnée au n°. 415 pour tracer l'épure des pénétrations des berceaux avec les voûtes sphériques, est applicable au cas où les berceaux pénètrent une voûte ellipsoïde.

On observera que les courbes d'intersection des intrados des berceaux, avec celui de la voûte ellipsoïde, produisent un mauvais effet, quand la génératrice qui passe par le milieu de la clef des berceaux s'élève, au-dessus du plan horizontal de naissance de la voûte ellipsoïde, à une hauteur plus grande que la moitié du demi axe vertical de l'ellipse génératrice de l'intrados de cette dernière voûte. Il importe aussi, pour que cette courbe d'intersection ne soit pas désagréable à la vue, que le ceintre principal du berceau soit, ou une demi-circonférence de cercle, ou une demi-ellipse. Enfin, il faut tâcher que les naissances soient sur un même plan horizontal et que les projections horizontales des axes des berceaux soient normales à l'ellipse de naissance de la voûte ellipsoïde.

DES PÉNÉTRATIONS DES BERCEAUX AVEC LES VOUTES DONT L'INTRADOS EST UNE SURFACE DE RÉVOLUTION, DONT L'AXE DE ROTATION EST SITUÉ HORIZONTALEMENT.

422. Pour tracer les épures de ces sortes de pénétrations, il faudra,

comme au n°. 415, supposer des plans horizontaux menés par les génératrices des berceaux, et se rappeler ce qui a été dit au n°. 391, relativement à la manière d'obtenir les projections horizontales des intersections de cette suite de plans horizontaux, avec l'intrados de la voûte dont il s'agira.

Le lecteur fera bien de s'exercer à faire les épures des pénétrations de berceaux avec les voûtes sphéroïdes, les voûtes annulaires, les voûtes ellipsoïdes, etc.

MANIÈRE DE RENDRE PLANES LES COURBES D'INTERSECTION DES INTRADOS DES BERCEAUX ET DES VOUTES A SURFACE DE RÉVOLUTION QUE LES BERCEAUX RENCONTRENT, SOIT QUE L'AXE DE ROTATION DES SURFACES DE RÉVOLUTION SOIT HORIZONTAL, SOIT QU'IL SOIT VERTICAL.

423. Comme il importe beaucoup que les courbes d'intersection des intrados des berceaux et des voûtes à surface de révolution qu'ils rencontrent soient de forme agréable; comme d'ailleurs les courbes planes sont toujours celles qui produisent le meilleur effet dans l'espace; si rien ne fixe la forme des ceintres principaux des berceaux, il sera toujours possible de déterminer ces ceintres de manière que les courbes d'intersection dont il s'agit soient des courbes planes.

En effet, il suffira, pour cela, de prendre pour directrice de l'intrados de chaque berceau, l'intersection, avec celui de la voûte à surface de révolution, d'un plan vertical élevé sur la droite BD (fig. 354) menée par les points B et D , où les traces horizontales AB , CD des faces des tableaux des jambages de chaque berceau, rencontrent la trace horizontale BED de la face intérieure du mur cylindrique sur lequel est établie la voûte à surface de révolution.

La détermination de l'intersection du plan vertical élevé sur la droite BD sera toujours facile, quel que soit l'intrados de la voûte à surface de révolution. En effet, supposons 1°. que cet intrados soit sphérique: dans ce cas, la courbe dont il s'agit ne sera autre chose qu'une demi-circonférence de cercle dont le diamètre sera la droite BD ; 2°. que l'intrados de la voûte soit sphéroïde; dans ce cas, l'intersection demandée sera une courbe semblable à la courbe génératrice de cet intrados; ainsi, par exemple, si cette génératrice est une ellipse, l'intersection dont il s'agit sera une demi-ellipse; si cette génératrice est une parabole, l'intersection demandée sera une parabole, etc. Dans le cas de la demi-ellipse, la droite BD sera un de ses axes: pour avoir l'autre axe, on prolongera la droite BD jusqu'à ce qu'elle rencontre en b^3 la projection verticale Fb^3G de la génératrice de la voûte,

en supposant la ligne de terre FH perpendiculaire à la droite BD : l'ordonnée $D'b^3$ sera la moitié de l'axe demandé. Dans le cas où il s'agirait d'une parabole, sur le milieu de la droite BD, on élèverait une perpendiculaire, que l'on ferait égale à $D'b^3$, et on décrirait la parabole par le moyen du n°. 71; 3°. si la voûte à surface de révolution était une ellipsoïde, il pourrait arriver trois cas : ou la droite BD serait perpendiculaire à l'axe de révolution, ou elle serait perpendiculaire à l'autre axe de l'ellipse génératrice, ou elle ne serait perpendiculaire à aucun de ces deux axes. Dans le premier cas, l'intersection demandée serait une demi-circonférence de cercle dont le diamètre serait la droite BD; dans le second cas, cette intersection serait une demi-ellipse semblable à l'ellipse génératrice, et les axes de cette demi-ellipse seraient, l'un la droite BD, elle-même, et l'autre, le double de $D'b^3$; dans le troisième cas, l'intersection demandée serait une ellipse quelconque, dont l'un des axes serait encore la droite BD. Quant au second axe, voici comment on l'obtiendrait :

Par le milieu de la droite BD, on menerait une perpendiculaire à la projection horizontale de l'axe de rotation de l'ellipsoïde; sur cette perpendiculaire (terminée de part et d'autre à l'ellipse de naissance), comme diamètre, on décrirait une demi-circonférence de cercle; par le milieu de la droite BD, on menerait une perpendiculaire au diamètre de cette demi-circonférence de cercle, et la longueur de cette perpendiculaire, comprise entre la circonférence et le diamètre de ce demi-cercle, serait la moitié de l'axe demandé.

DES PÉNÉTRATIONS D'UN BERCEAU ORDINAIRE, AVEC UN BERCEAU EN DESCENTE.

424. PREMIER EXEMPLE. Supposons 1°. que les droites AB, CD (fig. 355) soient les traces horizontales des faces du mur au travers duquel on veut pratiquer le berceau ordinaire; 2°. que ce même mur soit l'un de ceux sur lesquels le berceau en descente est établi, la trace AB étant la projection horizontale de la génératrice de naissance du côté de ce mur; 3°. que la droite IK soit la projection verticale de la même génératrice, dans un plan perpendiculaire à la projection horizontale N^4N^5 de l'axe du berceau ordinaire; 4°. que la courbe quelconque LNM soit le ceintre principal de ce dernier berceau; et 5°. que la courbe quelconque ART soit la demi-intersection, avec l'intrados du berceau en descente, d'un plan vertical élevé sur une droite AO perpendiculaire à la projection horizontale OO' de l'axe de ce dernier berceau. Supposons, de plus, que les projections horizontales N^3

N^4 , OO' des axes des deux berceaux soient perpendiculaires entre elles : la droite OA sera perpendiculaire à la ligne de terre L^2K^3 , et la projection verticale de l'intersection du plan vertical élevé sur la droite AO , avec l'intrados du berceau en descente, sera la droite OA elle-même, prolongée vers le point V' . Enfin, supposons qu'on ait mené la droite II' perpendiculaire à la droite OV' , par le point I où cette dernière rencontre la projection verticale IK de la génératrice de naissance du berceau en descente. Cela posé, on opérera de la manière qui suit :

On commencera par déterminer les projections verticales P^1P^2 , Q^1Q^2 , R^1R^2 , et Z^1Z^2 , Y^1Y^2 , V^1V^2 , des arrêtes des douëlles et des extrémités des coupes du berceau en descente, ainsi que les projections horizontales m^1P^3 , q^1Q^3 , x^1R^3 , et AB , r^1Y^3 , z^1V^3 , des mêmes arrêtes. Puis, on divisera le ceintre principal LN^1M , en autant de parties égales qu'on le jugera nécessaire ; par les points de division a , b , c , d , on menera les coupes af , bu , cc' , dd^2 , comme à l'ordinaire, et on déterminera les projections verticales kfd^1K^6 , g^1g^2 , des assises correspondantes du mur, de sorte que, sur la face de ce mur, dont la droite CD est la trace horizontale, les têtes des voussoirs du berceau ordinaire auront les formes L^4Lafk , $gfabg^4g'$, bg^4g^3c , $cg^3g^2d^3d^1d$ et $dd^1K^6K^5M$. Quant aux têtes, des mêmes voussoirs, qui se présentent sur l'intrados du berceau en descente, elles auront des formes plus ou moins compliquées, plus ou moins irrégulières, suivant les circonstances. Dans l'exemple actuel, le voussoir dont la largeur de la douëlle est l'arc La , ne portera qu'une petite partie $eafg$ de la première douëlle du berceau en descente, de sorte que le lit de dessus de ce voussoir rencontrera cette douëlle horizontalement, suivant une courbe dont la projection verticale est la droite gf : tout le reste $ehikL^4L$, de la tête de ce même voussoir, sera plan. On remarquera que je fais monter cette tête suivant la droite gh , et que je la fais redescendre suivant la droite hi perpendiculaire à la projection verticale IK de la génératrice de naissance du berceau en descente. Le voussoir qui répond à l'arc ab , se raccorde avec deux assises de la descente, de sorte que sa tête a la forme $afglmnqyb$ sur l'intrados de cette voûte, et le panneau de tête de ce voussoir sera la figure $afgloprub$, afin que ce voussoir porte les coupes des deux premières assises du berceau en descente. La clef du berceau ordinaire, se raccorde avec la troisième assise du berceau en descente, de manière que cette clef s'appuie à gauche sur la coupe supérieure de la seconde assise, et la coupe à droite est pliée au point c' , de sorte que la partie cc' de cette coupe est normale au ceintre LN^1M , et l'autre partie c^3 est perpendiculaire à la direction des projections

verticales des arrêtes des douëlles de la descente; d'où il résulte que la forme de la tête de cette clef est la figure $bvxc'c$, sur l'intrados de la descente, et son panneau de tête est la figure $bvszc^3c'c$. Le voussoir qui répond à l'arc cd , se raccorde aussi avec la troisième assise de la descente, en s'appuyant sur la coupe supérieure de la seconde assise, et la forme de la tête de ce voussoir, sur l'intrados du berceau en descente, est la figure $cc'R^2d^4u^2d$, et son panneau de tête la figure $cc'c^3V^2d^4u^4d'd$. Le voussoir qui répond à l'arc Md , se raccorde avec la seconde assise de la descente, et sa tête a la forme $du^2Q^2n'M^2M$, sur l'intrados de cette voûte, et son panneau de tête est la figure $dd^2Y^2n'M^2M$. Enfin, on voit que le piédroit, sur lequel pose le voussoir précédent, fait partie de la première assise du berceau en descente, et que son panneau de tête a la forme $MK^4K^3K^2KK'M'$. Cherchons, maintenant, les projections horizontales de tous ces raccordemens, et commençons par celles de l'intersection des deux intrados.

D'abord on abaissera les projections horizontales a^5a^4 , b^5b^4 , $c^{12}c^7$, $d^{16}d^8$, des arrêtes des douëlles du berceau ordinaire, et ensuite, par les points a , b , N , c , d et M , on menera, à la projection verticale IK de la génératrice de naissance du berceau en descente, les parallèles aa' , bb' , NN' , cc^4 , dd^5 , MM^3 , qui rencontreront la droite IV' aux points a' , b' , N' , c^4 , d^5 , M^3 ; par le point I , comme centre, et avec les rayons Ia' , Ib' , IN' , Ic^4 , Id^5 , IM^3 on décrira les arcs de cercle $a'a^2$, $b'b^2$, NN^2 , c^4c^5 , d^5d^6 , M^3M^4 , qui se termineront à la droite II' ; par les points a^2 , b^2 , N^2 , c^5 , d^6 , M^4 , on menera, à la ligne de terre IA , les parallèles a^2a^3 , b^2b^3 , N^2N^3 , c^5c^6 , d^6d^7 , M^4M^5 , qui rencontreront la courbe ART , aux points a^3 , b^3 , N^3 , c^6 , d^7 , M^5 , par lesquels on abaissera, à la ligne de terre AO , les perpendiculaires a^3a^4 , b^3b^4 , N^3N^4 , c^6c^7 , d^7d^8 , M^5M^6 , qui rencontreront respectivement les projections horizontales a^5a^4 , b^5b^4 , N^5N^4 , $c^{12}c^7$, $d^{16}d^8$, HM^6 , des arrêtes des douëlles du berceau ordinaire, aux points a^4 , b^4 , N^4 , c^7 , d^8 , M^6 , par lesquels on fera passer la courbe $a^4b^4N^4c^7d^8M^6$, qui sera la plus grande partie de la projection horizontale de l'intersection des deux intrados. Pour terminer cette projection, par le point e où la projection verticale IK de la génératrice de naissance du berceau en descente rencontre le ceintre principal LNM , de l'autre berceau, il faudra abaisser, à la ligne de terre L^2K^3 , la perpendiculaire ee' , qui rencontrera la projection horizontale AB de la même génératrice de naissance, au point e' , par lequel et le point a^4 , on fera passer la courbe a^4e' , qui terminera la projection demandée.

Supposons, maintenant, qu'on veuille avoir la projection horizontale a^4

L^5 de l'intersection du plan de la coupe af , avec l'intrados de la descente ; pour cela, par le point f , on mènera, à la projection verticale IK de la génératrice de naissance de cet intrados, la parallèle ff' , qui rencontrera la droite IV' au point f' ; par le centre I , et avec le rayon II' , on décrira l'arc de cercle ff^2 , qui rencontrera la droite II' au point f^2 , par lequel on mènera, à la droite IO , la parallèle f^2f^3 , qui rencontrera la courbe AQT au point f^3 ; par ce point f^3 , on abaissera, à la droite AO , la perpendiculaire f^3L^5 , qui rencontrera la perpendiculaire fL^5 , abaissée par le point f , à la ligne de terre L^2K^3 , au point L^5 , qui sera un point de la projection demandée ; mais le point a^4 est un autre point de la même projection, ainsi la courbe qui passera par ces deux points a^4 , L^5 , sera cette projection elle-même. Si l'on voulait avoir un point intermédiaire de cette projection, on prendrait un point sur la coupe af entre les points a , f , sur lequel on opérerait comme nous venons de l'expliquer sur le point f .

Pour avoir l'intersection du plan horizontal mené par la droite fg , avec l'intrados de la descente, par le point g , on abaissera, à la ligne de terre L^2K^3 , la perpendiculaire gg^5 qui rencontrera la droite AB au point g^5 , par lequel et le point L^5 , on mènera une courbe L^5g^5 , qui sera la projection demandée. Pour avoir des points intermédiaires de cette courbe, on prendra des points sur la droite fg , sur lesquels on opérera comme nous l'avons expliqué pour le point f .

On opérera de la même manière pour avoir les projections horizontales b^4v' , c^7c^{10} , d^8u^3 , des intersections des plans des coupes bv , cc' , du^2 , avec le même intrados.

Les lignes de construction indiquent assez la manière d'opérer pour avoir les projections horizontales $l'm'o'$, $p^3n^3q'r'$, $t's'x'z'y'$, $c^{10}c^8c^9$, $d^{14}d^{15}R^3V^3X^3$, $p^2n^2Q^3Y^3$ et K^7P^3B , des joints lo , nr , sz , c^6c^3 , d^4V^2 , n^1Y^2 , et KZ^2 , ainsi que celle $M^6M^7Z^4$, de l'intersection du plan horizontal mené par la droite MK^4 avec la douëlle et la coupe de la première assise de la descente.

Pour tracer et tailler les pierres, on commencera par les équarrir chacune à son panneau de tête, lequel panneau de tête aura la forme que nous avons indiquée ci-dessus, pour chaque voussoir; ensuite, sur la tête qui doit faire partie de la face du mur dont la trace horizontale est la droite CD , on appliquera, pour chaque voussoir en particulier, le panneau de tête qui lui appartient, pris sur l'appareil qu'a le berceau ordinaire sur la face du mur dont nous venons de parler, et on fera toutes les faces de la pierre que ce nouveau panneau de tête indiquera, en ayant soin de ne les prolonger, dans l'épaisseur du mur, pour les voussoirs qui se rac-

cordent avec la première assise de la descente, que jusqu'à la profondeur indiquée par la droite $C'D'$; pour ceux qui se raccordent avec la seconde assise, que jusqu'à la profondeur indiquée par la droite C^2D^2 ; et pour ceux qui se raccordent avec la troisième assise, que jusqu'à la profondeur indiquée par la droite AB .

Cela fait, on décrira la section droite du berceau en descente, comme il a été expliqué dans les différens cas du chapitre VIII, et au moyen de panneaux de tête levés dans cette section droite, on tracera sur les joints fo , pr , sz , etc. des pierres, la douëlle et les coupes de chacune de ces pierres, qui font partie du berceau en descente, et on tracera le reste des douëlles par tête de ces voussoirs, au moyen des panneaux des douëlles et des coupes du berceau ordinaire, panneaux qu'on trouvera, comme nous l'avons expliqué plusieurs fois, dans d'autres circonstances.

Observation. Nous avons supposé le berceau en descente dans le cas le plus simple, mais on pourrait, sans rien changer à ce que nous venons de dire, supposer un quelconque des berceaux en descente que nous avons donnés dans le chapitre VIII, seulement on obtiendrait la projection verticale de ce berceau en descente, sur le plan dont la ligne de terre est la droite L^2K^3 , en se conduisant comme nous l'avons expliqué dans le chapitre cité, suivant l'espèce de descente dont il s'agirait.

425. **SECOND EXEMPLE.** S'il était possible (fig. 355) de faire rampant le ceintre principal LNM du berceau ordinaire, de manière que la droite LM , qui passe par les naissances, coïncidât avec la projection verticale IK de la génératrice de naissance du berceau en descente, l'appareil sur l'intrados de ce dernier berceau serait plus régulier et plus simple, et l'épure offrirait moins de difficulté que celle de l'exemple précédent. Je laisse au lecteur le plaisir de faire, de lui-même, l'épure de ce second exemple.

