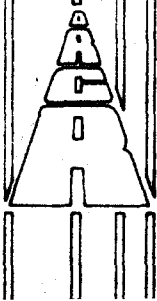


MINISTERE DES TRANSPORTS

PASSAGES

INFERIEURS

VOUTES



DIRECTION DES ROUTES

DOCUMENT PROVISOIRE

Rédigé par Messieurs MILLAN et JEAN

Département Ouvrages d'Art

Arrondissement G.2

S.E.T.R.A.

1 - PRÉSENTATION DE LA TECHNIQUE

1.1 - Introduction

Les passages inférieurs sous remblai existant jusqu'ici sont très déformables tels les buses métalliques ou très peu déformables tels les cadres fermés (PICF), les voûtes minces coulés en place ou les voûtes massifs (OHVM).

- Le premier type présente les avantages suivants:
- possibilité de supporter de fortes hauteurs de remblai (pour les ouvrages de petites dimensions),
- peu de sensibilité aux tassements différentiels grâce à une grande déformabilité,
- possibilité de construction sur des sols de fondation de qualité moyenne,
- rapidité d'exécution,
- économie lors de la construction.

et les inconvénients suivants:

- risque de corrosion à long terme, et même à moyen terme dans certains cas,
- risque d'instabilité au moment du remblayage de l'ouvrage, qui doit être exécuté avec précaution,
- interdiction de grandes ouvertures sous fortes hauteurs de remblai,
- défaut d'esthétique: la tranche est mince et de forme ondulée.

- Le deuxième type présente certains avantages:
- durabilité,
- plus esthétique

mais des inconvénients:

- nécessité de bons sols de fondation
- sensibilité aux tassements différentiels
- hauteur de remblai limitée
- prix plus élevé lors de la construction

Il convenait donc d'utiliser une structure combinant les avantages des deux procédés tout en évitant leurs inconvénients. Il fallait en outre que le coût d'investissement se rapproche de celui des buses métalliques.

Le choix s'est porté sur un ouvrage voûté mince en béton armé ainsi défini: une voûte circulaire articulée aux naissances reposant soit sur un U (piédroits + radier général) soit sur des murs indépendants fondés sur semelles. Cette voûte est préfabriquée par anneaux liés entre eux par une longrine longitudinale.

Les avantages de cette structure sont:

- peu de sensibilité à une quelconque déformation du sol de fondation,
- possibilité d'utilisation de sols de fondation de qualité moyenne (semelles) ou très moyenne (radier),
- rapidité d'exécution grâce à la préfabrication,
- remblayage de l'ouvrage sans précautions excessives,
- acceptation des fortes hauteurs de remblai même avec de grandes ouvertures,
- durabilité et esthétique.

Ce peu de sensibilité aux déformations du sol de fondation résulte des degrés de liberté qui sont ménagés pour la structure:

- les voûtes sont articulées, ce qui les rend insensibles aux tassements différentiels verticaux,
- les voûtes sont minces et en béton fortement armé, ce qui les rend peu sensibles aux déplacements différentiels horizontaux,
- les voûtes sont préfabriquées par éléments qui sont ensuite reliés en clef, ce qui leur permet de tourner les uns par rapport aux autres autour d'un axe longitudinal; il suffit que la longrine en béton armé qui relie les éléments en clef de voûte soit armée de façon telle qu'elle supporte le moment de torsion provoquée par la rotation donnée, sans chercher à lui résister,
- les voûtes reposent élastiquement sur des articulations situées en tête des piédroits qui peuvent être indépendants ou bien reliés par un radier dans le cas où la portance de la fondation est trop faible, il convient de dimensionner les piédroits en fonction du gabarit exigé, de la hauteur du remblai, de sa nature et de celle de la fondation.

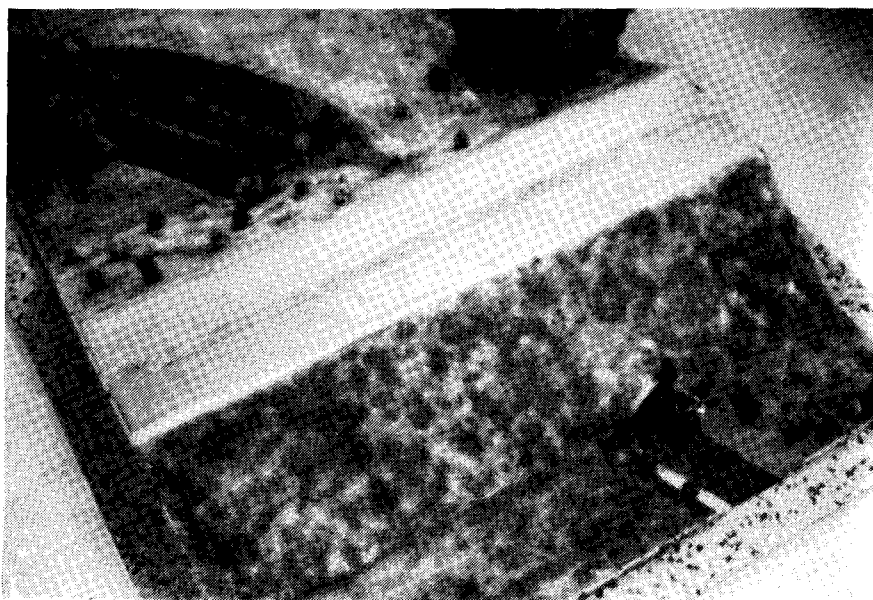
1.2 - Domaine d'emploi

Le passage inférieur voûté (PIV) permet le passage sous remblai d'une rivière, d'une route, d'un chemin pour piétons ou pour bétail ou pour gibier.

Il n'y a pas de limitations particulières pour la hauteur de remblai au-dessus de la voûte ou pour l'ouverture de l'ouvrage.

Les seules limitations sont au nombre de deux:

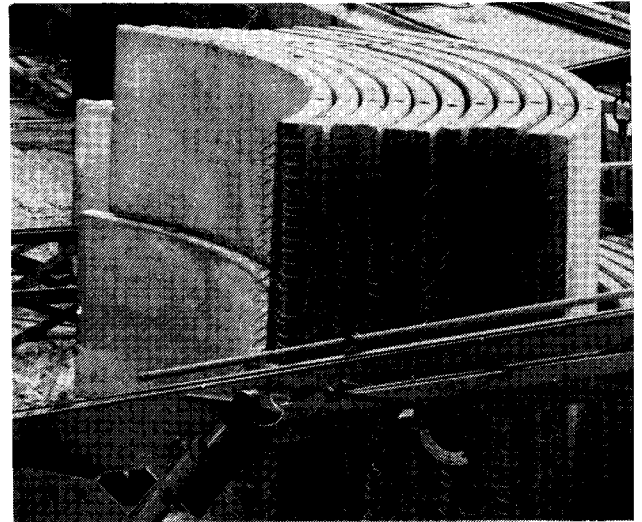
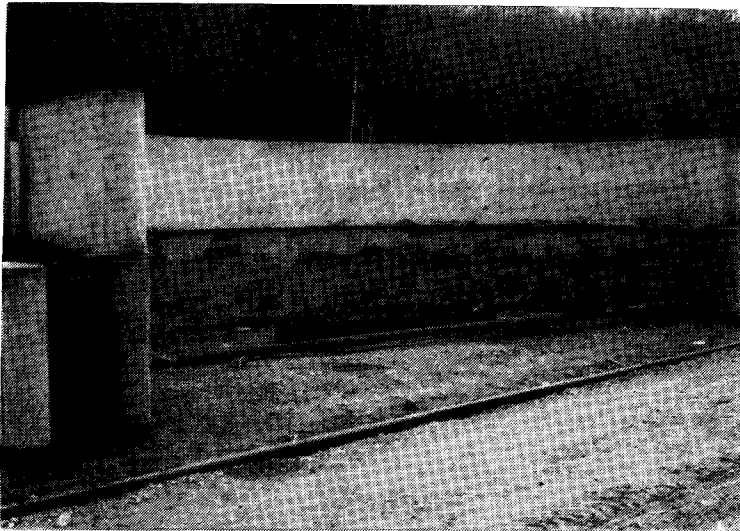
- pas de sol de fondation avec des caractéristiques mécaniques très mauvaises n'acceptant même pas l'ouvrage sur radier général,
- pas de biais de l'ouvrage trop important car du fait de la conception de celui-ci, l'ouvrage doit sortir de façon droite du remblai augmentant sensiblement sa longueur.



1.3 - Phases de construction

1.3.1 - Préfabrication de la voûte

La voûte est préfabriquée par anneaux entiers ou par demi-anneaux de longueur définie.



Pour les anneaux entiers, des aciers doux sont disposés à la clef dans la voûte; ils seront sortis et dépliés pour la construction de la longrine de liaison entre anneaux.

Pour les demi-anneaux une partie de la clef est laissée avec des fers en attente pour effectuer le clavaqe des anneaux. La longrine de liaison est alors incluse dans la voûte.

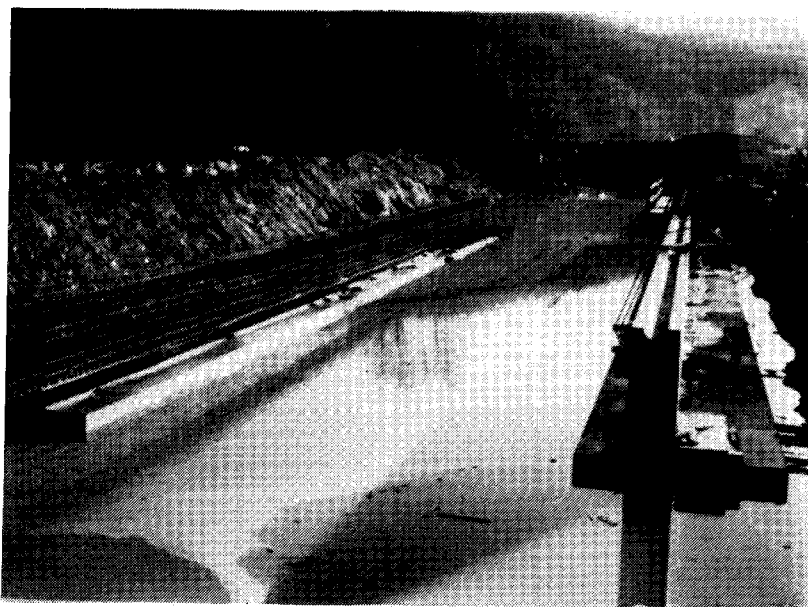
L'articulation sur les piédroits est obtenue en donnant à l'extrémité de chaque anneau une forme de demi-cercle qui s'enqage dans une rainure de forme correspondante ménagée en haut des piédroits.

La longueur de chaque élément préfabriqué est conditionnée à la fois par les possibilités de préfabrication et par les performances des engins de levage utilisés.

On pourrait être tenté de préfabriquer des éléments très courts pour utiliser des engins de levage peu puissants et par conséquent de coût modeste. Il existe une limite qui est celle de la stabilité statique lors de la pose: on ne descendra pas en-dessous de 1,2 m ou $R/5$ si R est le rayon de la voûte circulaire. Il faut penser aussi à la somme des vides des joints pour terminer correctement la pose.

1.3.2 - Exécution du radier ou des semelles

Sur un béton de propreté sont coulés les semelles ou le radier avec les fers en attente pour l'exécution des piédroits. Rien ne distingue cette partie du travail de celle d'un ouvrage classique.



1.3.3 - Exécution des piédroits

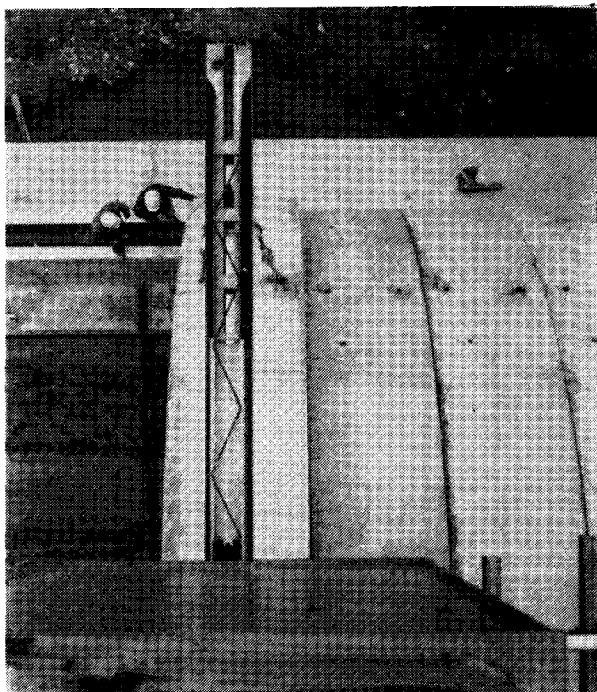
Les piédroits sont coulés avec dans leur partie supérieure une gorge circulaire destinée à recevoir les éléments de voûte.

La seule particularité de cette opération, par rapport aux constructions habituelles, réside dans la nécessité d'obtenir deux gorges d'articulation bien parallèles et bien calibrées pour faciliter la pose des éléments de voûte.

1.3.4 - Remblayage des piédroits

Afin de mettre en place aisément les éléments préfabriqués, on remblaie généralement les piédroits jusqu'au niveau des gorges d'articulation, mais cela n'est pas indispensable.

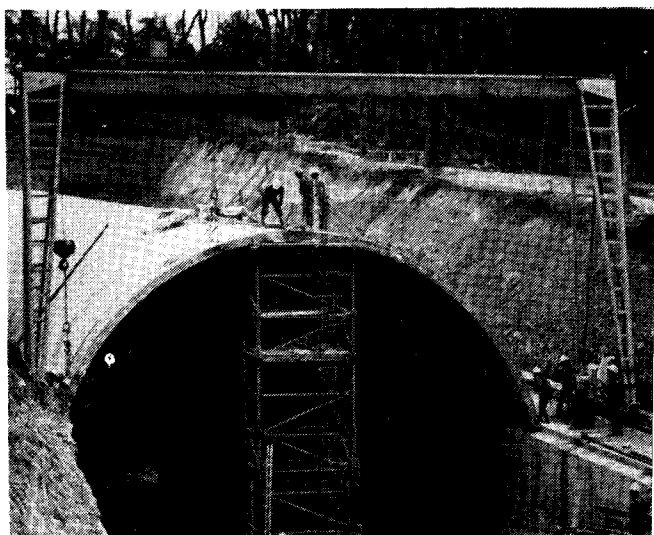
1.3.5 - Mise en place des éléments de voûte



La pose sur les piédroits d'effectue directement sur une feuille de néoprène destinée à répartir les efforts transmis par la voûte aux gorges des piédroits. La pose sur mortier est possible mais l'articulation est moins souple et moins étanche.

- Pose par anneaux entiers

Elle se fait à l'aide d'une grue ou d'un portique. La longrine de liaison est ensuite réalisée sur la clef de voûte.

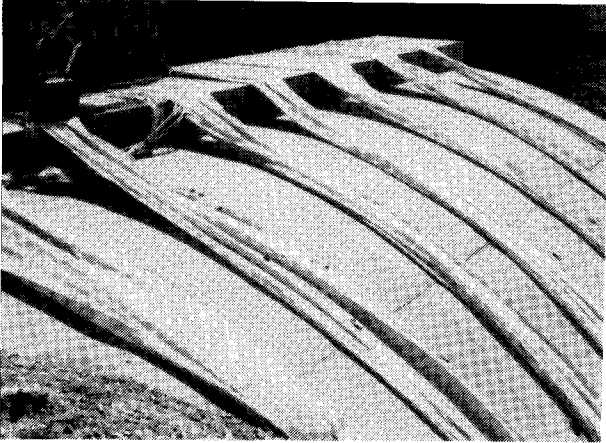


- Pose par demi-anneaux

Un échafaudage central est nécessaire, destiné à recevoir simultanément plusieurs demi-anneaux. Le clavage s'effectue ensuite sur toute la longueur de l'échafaudage assurant la liaison longitudinale entre anneaux (figure: on posait par longueurs de 15 mètres)

Cette longrine de liaison entre anneaux sert de poutre de torsion vis-à-vis des tassements différentiels transversaux, comme il a été dit avant.

1.3.6 - Étanchéité - drainage



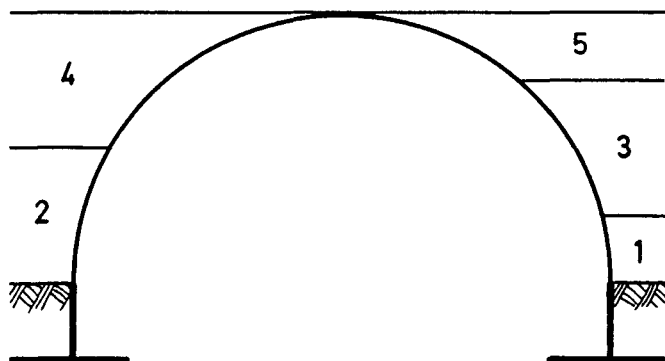
Pour un ouvrage rustique (hydraulique, pour gibier ou pour bétail) il faut poser un filtre destiné à empêcher le remblai de passer au travers des joints entre anneaux (par exemple à l'aide de bandes de géotextiles non tissés, spités ou collés. Il est en effet difficile d'éviter une ouverture des joints d'environ un centimètre au moment de la pose des anneaux.

Si l'on veut éviter des infiltrations d'eau au travers des joints, il sera alors nécessaire de faire une étanchéité, par exemple un pontage souple collé de part et d'autre du joint sur environ 20 cm et descendant plus bas que l'articulation sur les piédroits. Si, pour un ouvrage à construire en milieu urbain et par raison d'esthétique, on désire perfectionner le système, on disposera une étanchéité générale collée ou non (suivant le système adopté) par dessus le pontage. Dans ce dernier cas il faut poursuivre l'étanchéité sur une partie du piédroit en passant sur l'articulation et mettre en place, au-dessus des naissances, une mousse compressible destinée à empêcher l'eau de remonter par pression et de passer au travers des joints. Dans les cas extrêmes où l'on utilisera des remblais agressifs pour le béton, il faudra mettre en place une étanchéité protectrice sur la voûte, comparable à celle des ponts cadres sous remblais (cf STER, pièce de).

Pour le drainage derrière les piédroits on pourra se reporter au dossier MUR 73 (pièce de).

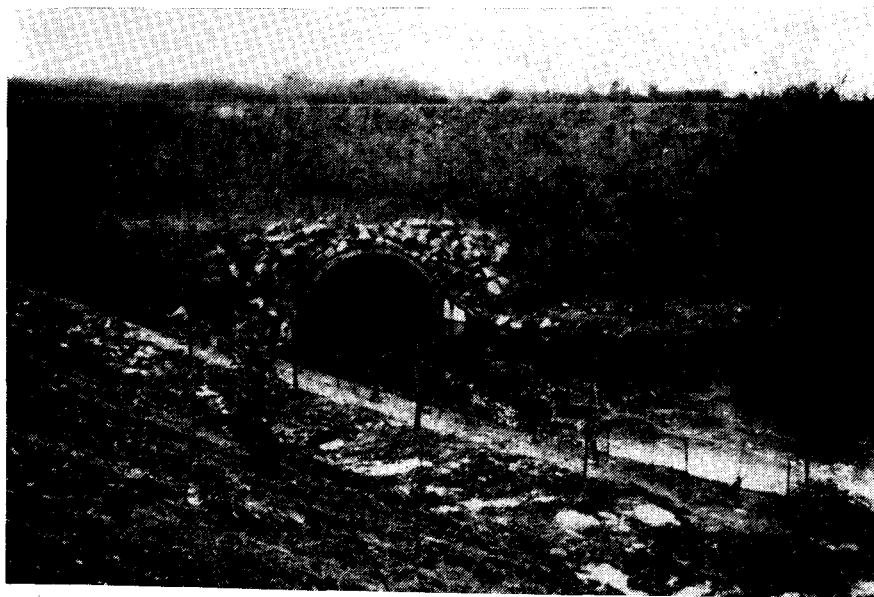
1.3.7 - Remblayage

La voûte est dimensionnée pour accepter un remblai de qualité normale pour un terrassement routier. Le remblayage se fait, jusqu'au niveau de la clef de voûte, par couches de moyenne épaisseur, étant donnée



la solidité de la structure. On pourra adopter entre les deux côtés de la voûte une différence de niveau de 1 mètre ou du quart du rayon de la voûte circulaire, si ce rayon est supérieur à 4 mètres. Le remblayage de la voûte peut donc être fait en cinq phases maximum.

Le remblayage se poursuit ensuite comme un terrassement routier jusqu'à la cote définitive.



Ainsi le remblayage ne constitue pas une gêne sensible pour les terrassements généraux et l'ouvrage n'apparaît pas comme un point singulier dans l'organisation générale du chantier routier.

2 - CONCEPTION - ESTHÉTIQUE

2.1 - Introduction

Les deux notions de conception et d'esthétique sont liées étroitement. En effet, étant donnée la géométrie de l'ouvrage, pour une ouverture donnée et un gabarit à respecter, il existe plusieurs solutions fonction de la hauteur des piédroits, du rayon et de l'angle au centre de la voûte. Les critères de choix seront d'ordre économique ou esthétique.

2.2 - Conception

L'ouvrage voûté peut servir de passage inférieur à une rivière, à un chemin pour bétail ou pour gibier, ou à une route ou un chemin pour piétons.

Dans les deux premiers cas, l'ouvrage pourra être conçu sans s'opposer au passage de l'eau dans les joints. Dans le dernier cas, le point de vue de l'usager de la route devra être pris en compte. Ce pourra être celui de l'automobiliste qui parcourt le souterrain sans attacher une attention particulière aux parements ou celui du piéton plus sensible à l'aspect d'une coulure d'eau, notamment dans la zone où le remblai est peu épais.

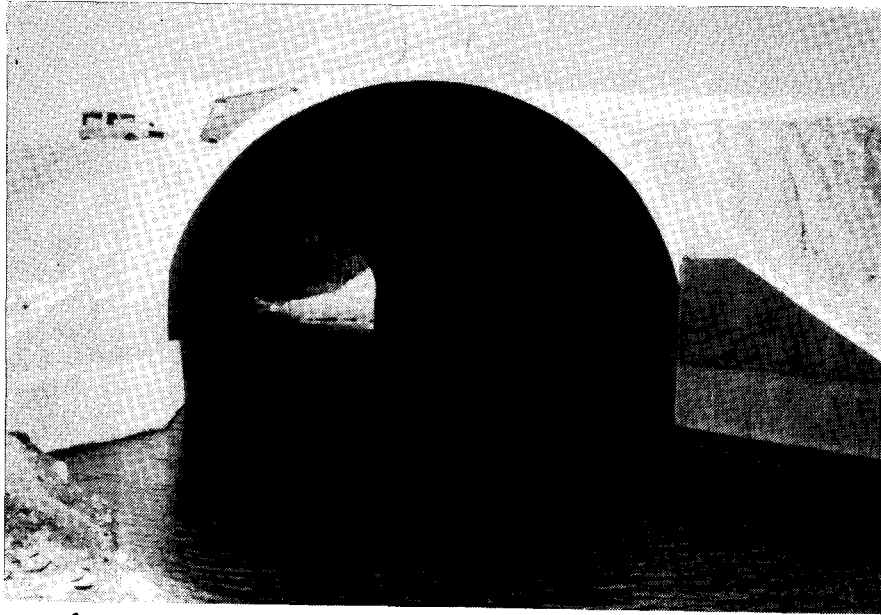
Il existe une hauteur optimale du piédroit en fonction de la hauteur du remblai. Ce piédroit permet de bénéficier de l'action du remblai sur les reins de la voûte par suite de son déplacement vers l'extérieur quand on remblaie au-dessus de la clef de la voûte.

On se rapprochera dans la mesure du possible, et notamment si le gabarit de passage le permet, d'une voûte plein ceintre articulée sur de petits piédroits.

Quand le sol de fondation est de mauvaise qualité ou quand l'ouverture est petite, il pourra y avoir intérêt à fonder l'ouvrage sur un radier général.

Du fait de la préfabrication par éléments droits, l'ouvrage ne peut par principe accepter une forme biaise aux extrémités. Quand le franchissement est biais, l'ouvrage sortira donc du remblai.

Longitudinalement l'ouvrage est terminé ou non par des murs en aile ou des murs en retour et le remblai est modelé en conséquence. Considéré sous cet aspect le procédé ne se différencie pas des voûtes classiques.

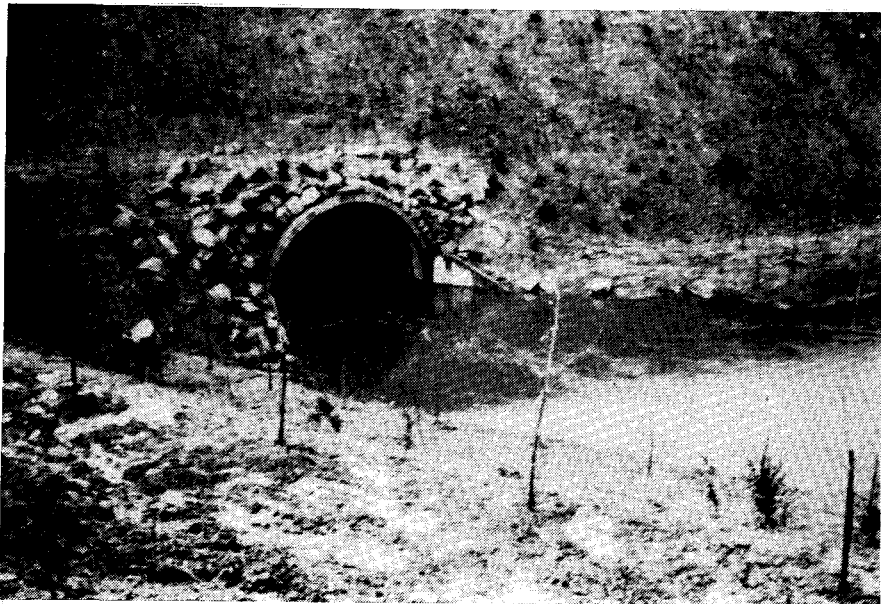


2.3 - Esthétique

Les notions d'esthétique et de conception se confondent:

- allure de la coupe transversale de l'ouvrage (voir le document buses métalliques,)
- extrémités de l'ouvrage: murs en aile, en retour (voir le document GUEST).

Dans le cas où l'ouvrage sort du remblai, les extrémités pourront être animées par un modelage de terres, pierres ou blocs de rocher et par du gazon ou des arbustes ou autres fleurs sauvages.



3 - EXÉCUTION DES TRAVAUX

3.1 - Préfabrication des anneaux

Pour la préfabrication on peut envisager tous les types de coffrages:

- coffrages en bois
- coffrages souples à rayon de courbure réglable
- coffrages métalliques de rayons standardisés pouvant servir pour plusieurs ouvrages.

Dans tous les cas les éléments sont coffrés en position verticale. La hauteur de coffrage (qui correspond à la longueur de l'élément) doit être limitée à environ 2,5 mètres pour que le bétonnage puisse être exécuté dans des conditions satisfaisantes. Cependant cette dimension devra être le plus souvent réduite pour tenir compte des possibilités de l'enquin de levage utilisé.

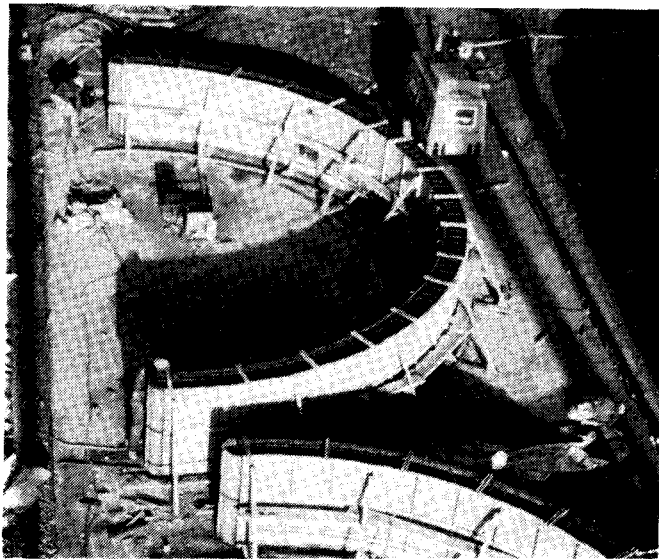
Exemple de poids d'éléments de voûte plein cintre pour une hauteur de remblai à la clef de 10 m.

$$1) R = 3 \text{ m} \quad e = 0.20 \text{ m}$$

par demi-élément	$h = 2.5 \text{ m}$	$P = 5 \text{ t}$
par élément entier	$h = 1.7 \text{ m}$	$P = 8 \text{ t}$

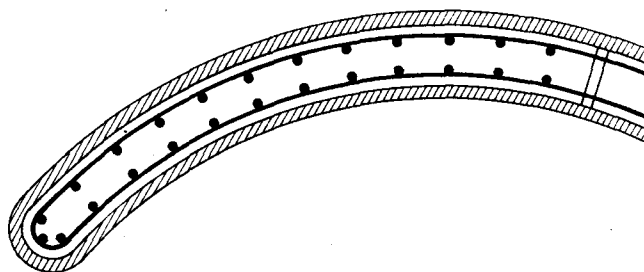
$$2) R = 6 \text{ m} \quad e = 0.35 \text{ m}$$

par demi-élément	$h = 2.4 \text{ m}$	$P = 18 \text{ t}$
par élément entier	$h = 1.2 \text{ m}$	$P = 20 \text{ t}$



Ce coffrage devra être suffisamment renforcé pour que la poussée du béton et la vibration n'aient pour résultat la déformation de l'élément, soit entre les raidisseurs, soit même dans son ensemble à la partie supérieure qui ne serait plus alors superposable à la base de l'élément suivant. Il convient donc de s'opposer à tout déplacement de la partie supérieure du coffrage, par des butons par exemple.

Lorsque la préfabrication se fait par demi-coquilles, des réservations doivent être prévues pour les fers en attente destinés à la réalisation de la longrine de liaison des anneaux incluse dans la voûte. Dans ce cas il est possible à partir d'un même coffrage de modifier l'angle au centre en déplaçant l'élément de coffrage portant ces réservations, et obtenir ainsi des ouvertures variables avec un même rayon.

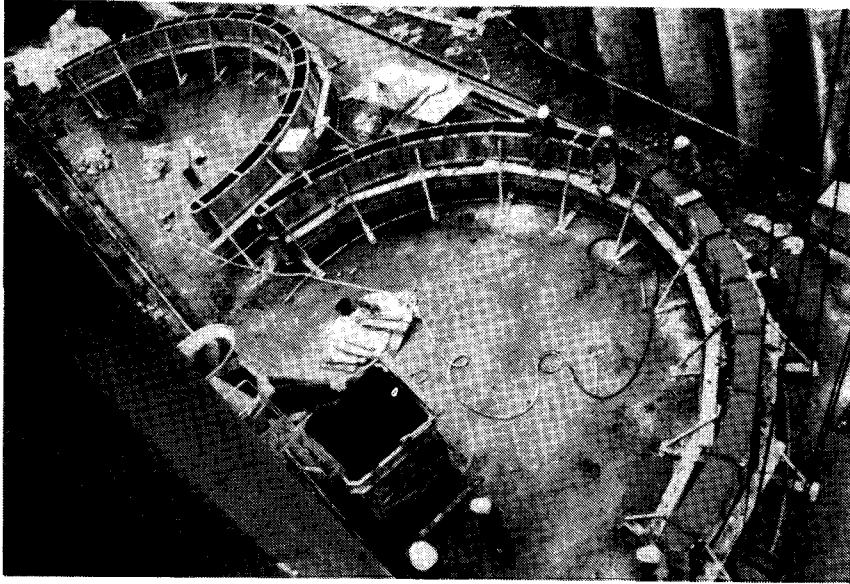


Pour une préfabrication des anneaux rapide et efficace il faut disposer :

- d'une aire de préfabrication du ferrailage.



- d'une aire de coffrage et bétonnage,



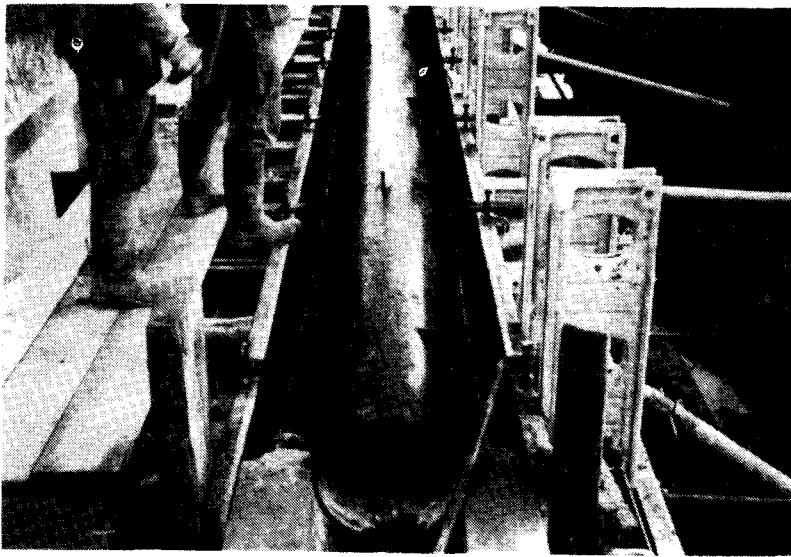
- d'une possibilité d'étuvage pour pouvoir réaliser et manipuler un élément de voûte par jour,
- d'une aire de stockage dont l'importance dépend du nombre d'éléments préfabriqués avant la pose,
- enfin d'un engin de manutention bien adapté aux besoins du chantier.



3.2 - Exécution des semelles (ou radier) et des piédroits

Les semelles sont coulées sur un béton de propreté d'une dizaine de centimètres d'épaisseur.

Les piédroits sont coulés par plots sur toute leur hauteur après avoir mis en place un élément spécial pour la réalisation de la gorge destinée à recevoir les éléments de voûte. Le réglage de cet élément spécial devra être particulièrement soigné car il conditionne la mise en place des anneaux. La figure montre le système de réglage mise au point par l'entreprise DODIN.



3.3 - Pose des anneaux

Le premier anneau est posé à l'extrémité la plus basse de l'ouvrage, afin que les suivants puissent être posés les uns contre les autres sans avoir besoin d'être ripés.

Il est bloqué et élingué avec les suivants le temps que l'on réalise la longrine de liaison.

Avant la pose de l'anneau une feuille de néoprène de quelques millimètres d'épaisseur et de largeur supérieure au périmètre de contact est placée dans les gorges des piédroits pour assurer un bon contact anneau-piédroit.



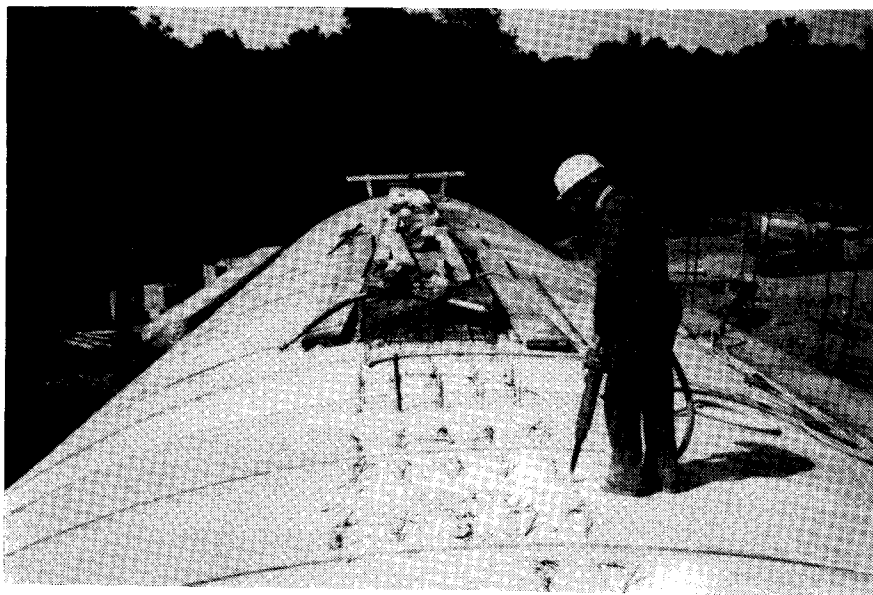
On peut aussi utiliser un mortier de calage mais le contact est moins bon. On cherchera à poser les anneaux les plus jointifs possible pour éviter que le dernier anneau posé ne déborde pas des piédroits. Il sera utile de prévoir ce problème et faire des anneaux plus courts d'un centimètre environ pour les joints.

Pour une pose par demi-anneau il sera nécessaire d'avoir un appui central permettant le réglage en plan et en altitude des demi-anneaux.

3.4 - Exécution de la longrine longitudinale

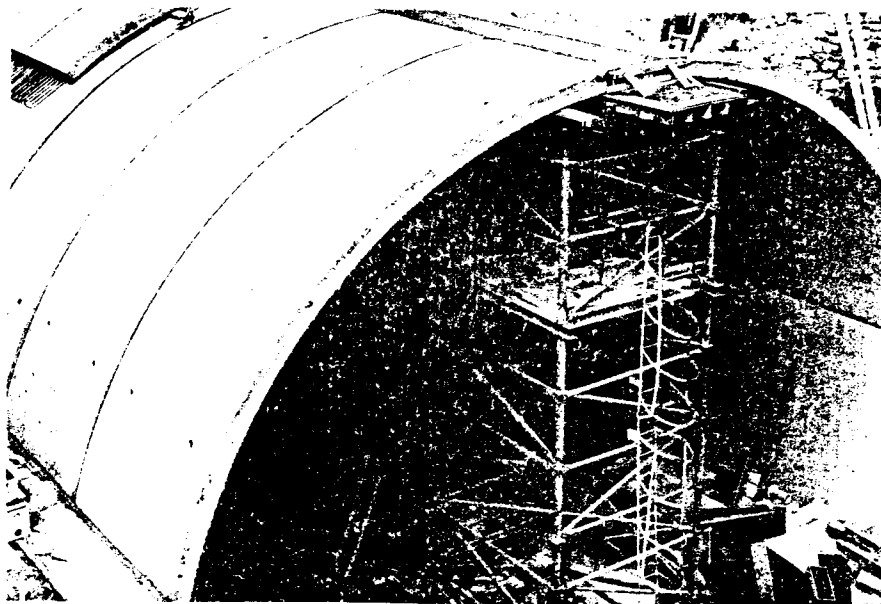
3.4.1 - Pose par anneaux entiers

L'anneau sert de coffrage inférieur, les fers situés en peau de voûte sont dégagés et redressés, les fers de liaison nécessaires et les coffrages latéraux sont mis en place et la longrine peut être coulée d'un seul coup.



3.4.2 - Pose par demi-anneaux

Après réglage, l'appui central porte le coffrage intérieur et les côtés des demi-anneaux servent de coffrages latéraux. Le bétonnage de la longrine s'effectue sur toute la longueur de l'appui central avant la pose des éléments suivants.



3.5 - Exécution de l'étanchéité

La mise en oeuvre de l'étanchéité éventuelle ne présente pas de particularités par rapport à celle des autres voûtes sauf pour les pontages sur les joints (cf paragraphe 1.3.6).

3.6 - Remblayage de l'ouvrage

Avant la pose des anneaux le remblai est monté d'un côté ou des deux côtés jusqu'en haut des piédroits. Les anneaux posés et l'étanchéité éventuelle exécutée, le remblai est monté à sa cote définitive en respectant les règles habituelles pour les terrassements routiers, notamment celle indiquée au paragraphe 1.3.7 concernant les différences de niveau de remblai.

3.7 - Aménagement des extrémités de l'ouvrage

Les murs d'extrémités sont exécutés ou terminés après la pose des anneaux et avant le remblayage de l'ouvrage.



La saillie de la voûte hors du remblai (cas d'ouvrage biais) est aménagée de façon à lui donner un aspect qui lui permette de ne pas apparaître comme une anomalie dans le paysage mais au contraire de s'y intégrer en constituant un élément harmonieux de l'ensemble.

