

Le béton dans les tranchées couvertes

La technique des tranchées couvertes consiste à réaliser une tranchée dans le sol, à exécuter l'ouvrage à ciel ouvert, puis à le recouvrir en général par un remblai. Elle s'applique pour tous types d'ouvrages routiers, autoroutiers et ferroviaires.



© Architecte : Philippe Fraileu

Tranchée couverte de la RN 12 à Pontchartrain (78).

Cette technique est employée chaque fois que le profil en long d'un passage souterrain ou d'un tunnel présente une faible couverture (20 à 30 mètres au maximum) à condition que la surface au sol soit libre de toute construction.

Les différentes techniques de réalisation sont fonction du mode de maintien en place des versants de la fouille et de la présence éventuelle de la nappe phréatique.

Plusieurs techniques de réalisation de soutènement permettent d'éviter la réalisation des terrassements dans l'eau. Certaines parois de soutènement peuvent constituer les piédroits de l'ouvrage définitif. La couverture de la tranchée permet de rétablir, si nécessaire, la circulation en surface ou d'aménager

des parkings ou des espaces verts ou éventuellement des constructions.

La plupart des techniques utilisées pour la réalisation des tranchées couvertes nécessitent l'utilisation de matériaux à base de ciment, en particulier sous forme de coulis ou de béton. Ces matériaux servent à la réalisation des soutènements des tranchées et constituent le revêtement définitif des tranchées couvertes.

Celles-ci sont essentiellement réalisées dans des zones fortement urbanisées ou en rase campagne, dans un environnement sensible ou d'intérêt touristique. Elles permettent de limiter les nuisances sonores induites par la circulation auprès des riverains.

■ Les différents types de structures

Les tranchées couvertes peuvent être réalisées selon différents types de structures dont le choix va dépendre de nombreux paramètres : caractéristiques géométriques, contraintes d'exécution et d'exploitation de l'ouvrage, contraintes environnementales, soucis d'intégration architecturale, caractéristiques hydrogéologiques et géotechniques du site...

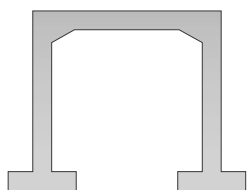
Les principaux profils réalisés sont :

- les portiques ouverts, simples ou doubles
- les cadres fermés
- les portiques et les cadres avec piédroits en parois moulées
- les ouvrages voûtes, simples ou doubles

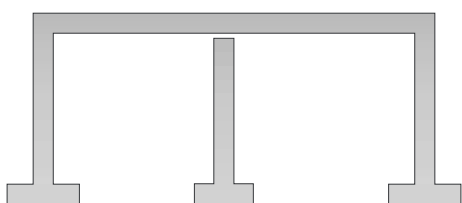
● Les portiques ouverts, simples ou doubles

Les portiques ouverts simples (PIPO) sont constitués d'une dalle supérieure en béton (épaisseur 50 à 80 cm) encastrée sur des piédroits verticaux fondés superficiellement. Les portiques ouverts double comportent un appui intermédiaire.

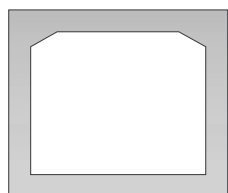
Ce type de structure est possible lorsque les sols présentent des caractéristiques géométriques permettant de fonder superficiellement l'ouvrage et, en général, s'il n'y a pas de nappe phréatique ou si le niveau de celle-ci ne dépasse pas le niveau de la chaussée. Il peut aussi être utilisé en présence d'une nappe phréatique, en réalisant préalablement une boîte étanche, constituée de parois étanches ancrées dans un substratum imperméable.



Portique simple



Portique double



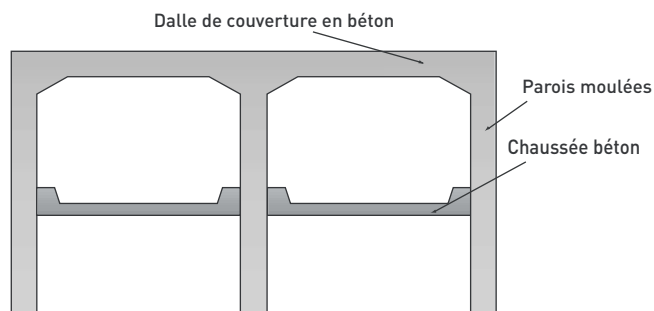
Cadre fermé

● Les cadres fermés

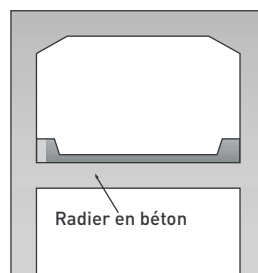
Les cadres fermés (PICF) sont constitués d'une dalle de couverture et d'un radier encastré sur deux piédroits. Ce type de structure est bien adapté en cas de présence de nappe phréatique.

● Les portiques et les cadres avec piédroits en parois moulées

Les piédroits de la structure peuvent être constitués de parois moulées ou de parois préfabriquées en béton, auxquelles sont associés soit uniquement une dalle de couverture pour constituer un portique, soit aussi un radier pour constituer un cadre fermé. Les parois assurent le soutènement de la tranchée en phase de travaux, puis sont intégrées à la structure définitive, en



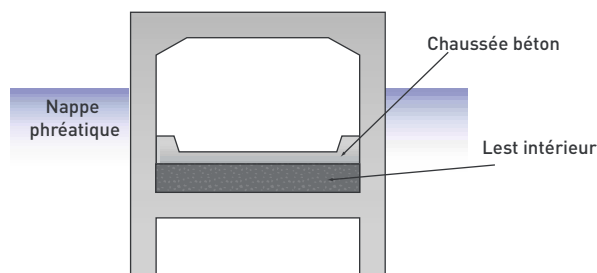
Portique double avec piédroits en parois moulées, dalle de couverture encastrée sur piédroits



Cadre avec piédroits en parois moulées, dalle de couverture et radier encastrés sur piédroits

général par encastrement avec la dalle de couverture.

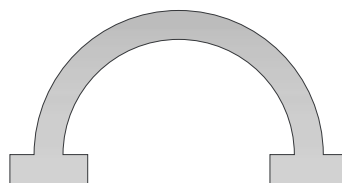
Dans le cas d'ouvrages construits dans la nappe phréatique, il est nécessaire de réaliser un radier qui sert de lest à l'ouvrage, résiste aux sous-pressions de la nappe et assure l'étanchéité. Le radier est, dans ce cas, encastré dans les piédroits. Selon l'importance des pressions d'eau, il peut être nécessaire de lester le radier par un lest intérieur ou de l'ancrer par des tirants dans le sol sous-jacent.



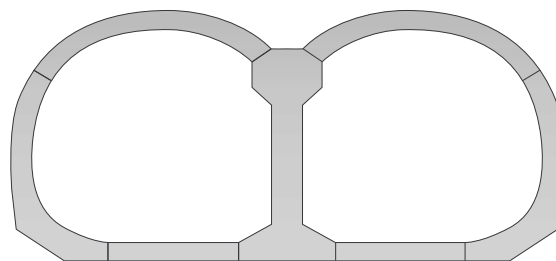
Cadre avec lest intérieur

● Les ouvrages voûtes, simples ou doubles

Les ouvrages voûtes sont constitués d'une couverture circulaire qui est encastrée ou articulée sur des piédroits. Ils sont réalisés soit en béton coulé en place, soit à partir de voussoirs préfabriqués en béton armé (les



Ouvrage voûte simple



Ouvrage voûte double en éléments préfabriqués en béton

divers éléments constituant la voûte sont, en général, autoportants et le montage ne nécessite aucun étaie- ment).

Ces ouvrages sont en général réalisés sur des fondations superficielles en béton coulé en place. Ils sont particulièrement adaptés pour supporter des hauteurs de remblais importantes. Ils peuvent être simples ou doubles.

■ Les principales techniques de réalisation

Le choix de la technique de réalisation de la structure dépend de nombreux paramètres dont, en particulier, l'emprise disponible pour réaliser l'ouvrage et les caractéristiques hydrogéologiques du site (présence éventuelle de la nappe phréatique) et du mode de maintien en place des terrassements.

● Tranchée en fouille talutée

Dans le cas d'un sol présentant de bonnes caractéristiques géologiques, en l'absence de nappe phréatique et sous réserve d'avoir l'emprise disponible nécessaire, la tranchée sera réalisée simplement par talutage et l'ouvrage sera réalisé à sec. La tranchée sera ensuite remblayée.

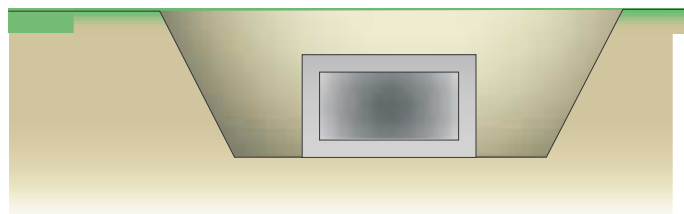
Cette technique est réservée aux ouvrages situés à faible profondeur, compte tenu de la large emprise des talus et des importants volumes de terrassements nécessaires.

Il est possible de travailler aussi à l'abri de la nappe en procédant, pendant toute la phase de travaux, à un rabattement de la nappe phréatique.

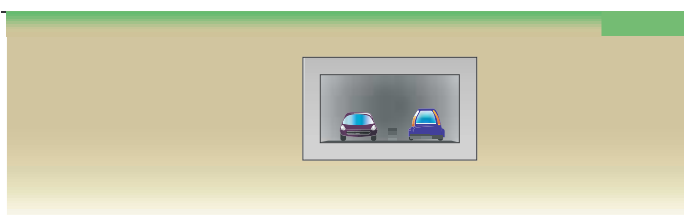
Les remblais contigus à l'ouvrage sont réalisés avec des techniques classiques de terrassement par couches élémentaires



Terrassement de la tranchée en fouille talutée



Réalisation de l'ouvrage dans la fouille



Tranchée couverte terminée



Coffrage et ferrailage de la tranchée dans une fouille talutée.

de l'ordre de 25 cm d'épaisseur. Le compactage est assuré par des compacteurs classiques jusqu'à environ un mètre des parements, puis à l'aide de compacteurs légers le long de l'ouvrage.

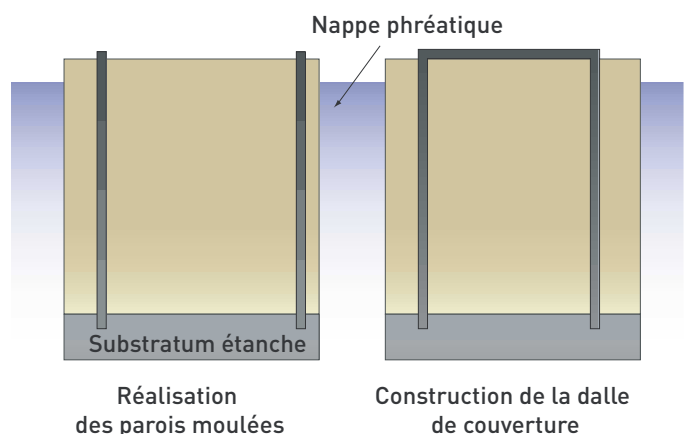
● Tranchée avec soutènement

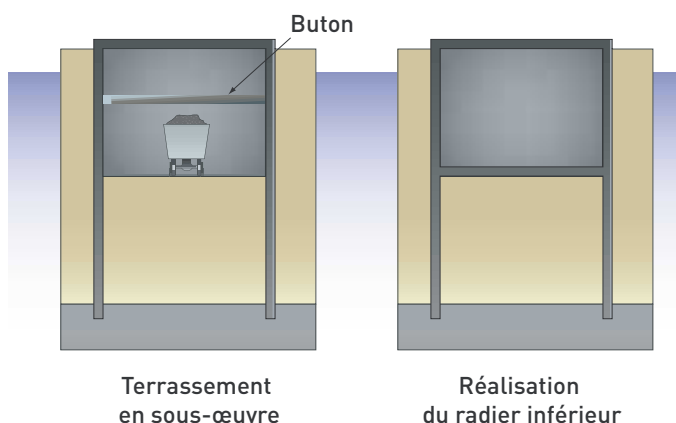
En cas de présence de la nappe, l'enceinte peut être protégée des venues d'eau soit à titre provisoire pendant les travaux, soit à titre définitif par diverses techniques de soutènement.

Très souvent, l'emprise restreinte disponible pour l'ouvrage impose la réalisation de soutènements verticaux dans des terrains de faibles caractéristiques géologiques.

Deux méthodes peuvent être utilisées pour réaliser le terrassement de la tranchée :

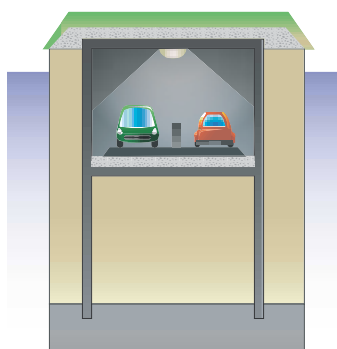
- soit à ciel ouvert, en déblayant l'emprise nécessaire entre les soutènements préalablement réalisés.
- soit en sous-œuvre (terrassement sous dalle ou en "taupe") après avoir réalisé les pénétrations et la dalle de couverture, et en excavant ensuite les sols situés à l'intérieur des parois, à l'abri de cette dalle. Cette technique est, en particulier, employée lorsque les pénétrations sont réalisées à l'aide de parois moulées. Elle permet de limiter l'impact du chantier en surface (mis à part la fenêtre d'accès, par laquelle sont évacués les déblais). Le radier en béton est coulé en fond de fouille, une fois le terrassement terminé. Cette technique est particulièrement intéressante en site





Terrassement en sous-œuvre

Réalisation du radier inférieur



Aménagement intérieur et extérieur

Réalisation d'une tranchée couverte en sous-œuvre avec pérois moulés.



Ouvrage cadre mis en œuvre par "autoripage".



Ouvrage cadre mis en œuvre par "autoripage".

urbain. Elle permet de rétablir rapidement les aménagements de surface et de réduire l'impact environnemental du chantier.

● Ouvrages mis en œuvre par "autoripage" ou par "autofonçage"

Ces dernières années a été développée une technique particulière de réalisation de tranchées couvertes (méthodes brevetées). Elle consiste à construire préalablement un ouvrage cadre, à proximité de son emplacement définitif et à le mettre en place par "autoripage" ou par "autofonçage".

L'ouvrage destiné à permettre le franchissement d'une voie routière ou ferroviaire est réalisé sur une aire de travaux adjacente. Une fois la brèche excavée, il est déplacé par une technique de poussage hydraulique (le glissement de l'ouvrage est facilité par injection d'un coulis lubrifiant sous le radier du cadre. Le poussage, ou le tirage, est assuré par des systèmes de câbles et de vérins. Le positionnement de l'ouvrage est contrôlé par un guidage laser).

Cette technique de déplacement nécessite seulement quelques jours (parfois 24 heures), ce qui minimise les perturbations des trafics.

Dès que l'ouvrage est en position définitive, la brèche est remblayée et la continuité routière ou ferroviaire rétablie.

■ Les techniques de soutènement de la tranchée

Dans la grande majorité des cas, il est nécessaire de réaliser des ouvrages de soutènements verticaux de la tranchée. Il existe plusieurs techniques de soutènement dont les principales font appel aux solutions à base de béton :

- parois moulées
- écrans étanches
- parois berlinoises

- parois clouées
- parois en panneaux préfabriqués

Ces techniques permettent de réaliser soit des soutènements provisoires des fouilles, soit des soutènements permanents. Le choix de la technique d'exécution, de l'épaisseur de la paroi et des caractéristiques du matériau constituant la paroi, est fonction :

- de la nature du sol
- de la profondeur à atteindre
- de la présence de matériaux agressifs dans le sol
- du degré d'étanchéité à obtenir
- des délais d'exécution
- de la capacité de la paroi à maîtriser les déformations du terrain.

● Les parois moulées

Les parois moulées sont des ouvrages de fondations en béton armé, utilisées à titre de structure définitive. Ancrées dans une couche étanche, elles permettent d'excaver en toute sécurité sous la nappe phréatique.

Elles sont adaptées pour la réalisation des tranchées couvertes dans le cas d'emprise réduite, en particulier en milieu urbain, et elles assurent simultanément les fonctions de soutènement, portance et étanchéité. Selon les caractéristiques mécaniques du terrain en place et les caractéristiques géométriques de l'ouvrage, les parois moulées peuvent être, si nécessaire, butonnées ou ancrées.

La technique de réalisation de la paroi moulée comprend plusieurs phases :

- réalisation d'une pré-tranchée qui garantit le nivellement de la paroi, assure la stabilité des terres en surface et sert de guide à l'outil de perforation.
- perforation du sol sous boue bentonitique à l'aide de bennes suspendues à un câble ou à un Kelly, ou bien à l'aide de fraises hydrauliques. Les dimensions des panneaux vont de 0,5 m à 1,50 m d'épaisseur, quelques mètres de largeur (3 à 7 m) et de 10 à 100 m de profondeur. La boue ou fluide de forage (suspension à base de bentonite

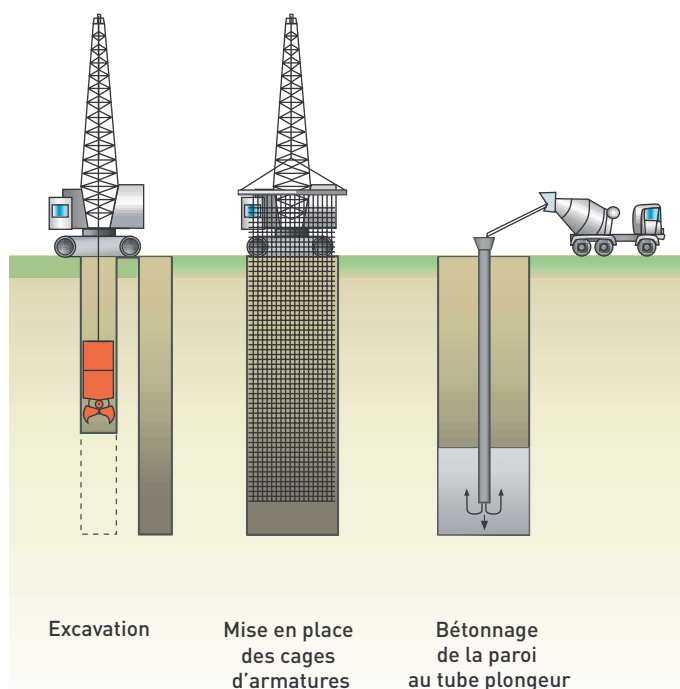


Schéma de réalisation d'une paroi moulée.

et d'eau) est produite par une centrale de fabrication installée sur le chantier. Elle est déversée en permanence dans l'excavation pour en assurer la stabilité.

On opère généralement par panneaux juxtaposés, en alternant panneau primaire et secondaire (panneau primaire perforé en terrain vierge, panneau secondaire perforé entre deux panneaux primaires déjà bétonnés) :

- curage du panneau par dessablage de la boue en circulation.
- mise en place des cages d'armatures et des dispositifs de joint (joint "waterstop").
- bétonnage au tube plongeur : le béton est mis en place en



Réalisation d'une paroi moulée.



Butons pour assurer la stabilité des parois moulées.



Matériel d'excavation.



Réalisation d'un écran étanche.

continu à l'aide d'un tube plongeur à partir du fond de la tranchée. Le tube plongeur est remonté au fur et à mesure du remplissage. La boue est simultanément extraite par pompage et recyclée.

Si la hauteur de la tranchée est faible, la stabilité de la paroi est assurée par son encastrement dans le sol. Sinon, après exécution des parois moulées, au fur et à mesure de l'excavation du terrain, sont mis en place des butons ou des tirants d'ancrage. En général, les parois moulées constituent les piédroits de l'ouvrage. Le radier et la couverture se substituant, après l'excavation, au butonnage pour la reprise des poussées.

● Les écrans étanches

Les écrans étanches sont des structures enterrées destinées à réduire, empêcher ou détourner, à titre provisoire ou définitif, des écoulements souterrains ou à établir une coupure imperméable pour isoler un site. Ancrés dans un substratum imperméable, ils permettent d'assurer l'étanchéité complète du site.

L'écran peut-être situé au niveau des talus : l'ouvrage sera alors réalisé à sec dans une fouille talutée.

Si l'emprise disponible est réduite, l'écran peut être réalisé au droit des futurs piédroits de l'ouvrage. L'écran est, dans ce cas, renforcé par des profilés métalliques butonnés au fur et à mesure des terrassements de la tranchée, sur un ou plusieurs niveaux, en fonction des caractéristiques géotechniques du sol et de la profondeur de la fouille. L'écran sert ensuite de coffrage côté extérieur aux piédroits en béton armé de la structure.

Les écrans étanches sont réalisés à l'aide de coulis autodurcissables à base de bentonite et de ciment, dans des terrains généralement alluvionnaires (sols meubles de faible compacité, hétérogènes, perméables) en présence d'une nappe aquifère. Ils doivent être étanches, résistants tout en étant déformables (afin de suivre les mouvements de terrain sans se fissurer) et pérennes sous l'action de l'eau de la nappe phréatique.

La technique consiste à réaliser une tranchée en continu, en utilisant comme fluide de perforation le coulis bentonite-ciment qui, en se substituant au sol, formera après durcissement l'écran définitif.

Les coulis autodurcissables destinés à la réalisation d'écrans étanches sont constitués d'un mélange de ciment, de bentonite spécialement adaptée pour la stabilisation de suspension comportant du ciment et d'eau, avec ajouts éventuels d'adjuvants (afin d'adapter le coulis aux conditions particulières de chantiers, fluidification, retard de prise, réduction de l'essorage...).

Le coulis autodurcissable joue un double rôle :

- boue stabilisatrice à l'état frais assurant la stabilité de la tranchée pendant son creusement.
- matériau rigide et peu perméable constituant la paroi après le durcissement du coulis.

Les coulis sont fabriqués dans des centrales spécifiques de chantier.

La tranchée est creusée à l'aide de matériels utilisés en travaux de fondations spéciales (benne à câble ou fraises hydrauliques). L'excavation peut être réalisée soit par tron-



Centrale de fabrication du coulis bentonite-ciment.

çons alternés (écrans constitués de panneaux creusés alternativement), soit en continu (panneaux creusés les uns à la suite des autres). Elle descend, en général, jusqu'à un substratum imperméable (par exemple une couche argileuse). Le coulis est introduit par déversement gravitaire dans la tranchée simultanément à l'excavation (en se substituant au sol prélevé). Cette technique permet d'obtenir une continuité parfaite de l'écran et donc de l'étanchéité.

● Les parois berlinoises

Cette technique de soutènement provisoire (en l'absence de la nappe phréatique) consiste, avant excavation de la tranchée, à sceller dans le terrain des profilés métalliques (espacement de 2 à 4 mètres) le long du périmètre ceinturant la future fouille, puis à terrasser en blindant le parement de la fouille, au fur et à mesure, au moyen de plaques s'appuyant sur les profilés. Ceux-ci sont mis en place dans des forages de gros diamètres creusés à la tarière et scellés avec du béton ou avec un coulis de ciment jusqu'à un niveau situé sous le fond de fouille future.

Le blindage est constitué de dalles en béton ou de béton projeté mis en place progressivement entre les poteaux.

Dès que la hauteur du soutènement dépasse quelques mètres, la stabilité de la paroi est assurée en ancrant les profilés métalliques par un ou plusieurs lits de tirants ou par butonnage.

Les parois berlinoises sont des ouvrages provisoires.

Lorsque la fouille a atteint la profondeur voulue, on réalise le radier en béton, les piliers et la voûte de l'ouvrage à l'abri de la paroi qui assure sa fonction de soutien du terrain pendant l'exécution de l'ouvrage et est ensuite abandonnée dans le terrain.

NOTA : Il existe diverses variantes de cette technique, notamment la paroi "parisienne", dans laquelle le profilé est un poteau préfabriqué en béton avec des armatures en

attente, qui peuvent être ultérieurement déployées et liaisonnées au soutènement. On peut ainsi réaliser une paroi à caractère définitif.

● Les parois clouées

Des barres d'acier (clous) sont scellées dans des forages quasi horizontaux, préalablement creusés dans le terrain au moyen d'un coulis ou d'un mortier de ciment.

Des treillis soudés sont fixés au parement de la fouille et renforcés au droit des clous. Un voile de béton, d'une épaisseur courante de 15 à 20 cm, est ensuite réalisé en béton projeté. L'excavation de la fouille se fait de haut en bas, par phases successives correspondant à quelques mètres de hauteur. Cette technique, souple d'emploi et économique, permet d'assurer un soutènement provisoire des fouilles dans tous les types de terrains en l'absence d'eau.

● Les parois en panneaux préfabriqués en béton

La technique consiste à mettre en place des éléments résistants (panneaux préfabriqués en béton) dans une saignée remplie d'un coulis liquide à base de bentonite ou autodurcissable à base de bentonite-ciment.

Cette saignée est réalisée avec des matériels identiques à ceux utilisés pour les parois moulées. La continuité de la paroi est assurée par des joints de type "waterstop" interposés entre chaque panneau. Les parois en panneaux préfabriqués constituent des soutènements définitifs (d'épaisseur réduite compte tenu des performances mécaniques du béton des éléments préfabriqués) présentant, côté intérieur à la tranchée, un aspect de parement homogène et régulier.

■ Les couvertures des tranchées

Le choix de la dalle de couverture de la tranchée est fonction du type, de la hauteur et de la charge de remblais qu'elle devra supporter, et de la nature de l'aménagement qui sera réalisé en surface.



Couverture d'une tranchée couverte en poutres précontraintes.

La dalle peut être en béton armé ou précontraint coulé en place ou constituée de poutres préfabriquées par pré-tension (de type PRAD ou en forme de T inversé mise en place de manière jointive). Pour les ouvrages simples supportant de

faibles charges, la dalle est simplement appuyée sur les piédroits. Dans la majorité des cas, elle est encastrée et constitue avec les piédroits un portique ou un cadre.

Les piédroits de la tranchée sont souvent équipés dans les zones d'entrées et de sorties par des panneaux acoustiques permettant de limiter l'impact du bruit des trafics routiers ou ferroviaires. ●

■ LA CHAUSSEE BÉTON : LA SOLUTION ADAPTÉE AUX TRANCHÉES COUVERTES

Claire, sûre, durable, écologique et compétitive, la chaussée béton renforce la sécurité en phase de construction et d'exploitation, et respecte l'environnement.

Plusieurs techniques sont disponibles :

- dalle épaisse
- dalle goujonnée
- béton armé continu (BAC)



© Architecte : Philippe Fraieu

Tranchée couverte de la RN 12 à Pontchartrain (78).



Tranchée couverte équipée de panneaux acoustiques.

Documents de référence - Sources d'information

- Guide pour la conception générale du génie civil des tranchées couvertes (SETRA 2003)
- Dossier-pilote génie civil, tranchées couvertes (CETU 1998)
- Tunnels routiers et tranchées couvertes : les solutions chaussées béton (CIMBÉTON T96)
- Les coulis et les bétons pour les fondations spéciales (CIMBÉTON T97)

CIMbéton

CENTRE D'INFORMATION SUR
LE CIMENT ET SES APPLICATIONS



7, Place de la Défense 92974 Paris-la-Défense cedex - Tél. : 01 55 23 01 00 - Fax : 01 55 23 01 10
Email : centrinfo@cimbeton.net - Site Internet : www.infociments.fr