

Rapport technique / Domaine des travaux spéciaux

Contenu : Les parois moulées

Rédaction : Jansen Alexandre / Conducteur de travaux / 1896 Vouvry
Périsset Loïc / Conducteur de travaux / 1727 Corpataux-Magnedens
Date : 9 janvier 2019

Introduction

Les parois moulées forment un mur en béton armé coulé dans le sol. Elles sont constituées de béton, béton armé ou liants.

Les fonctions principales sont statiques et étanche. Pendant la réalisation d'une paroi moulée, des tranchées individuelles sont creusées dans le sol. L'utilisation de la bentonite permet d'éviter l'effondrement des tranchées lors de l'excavation.

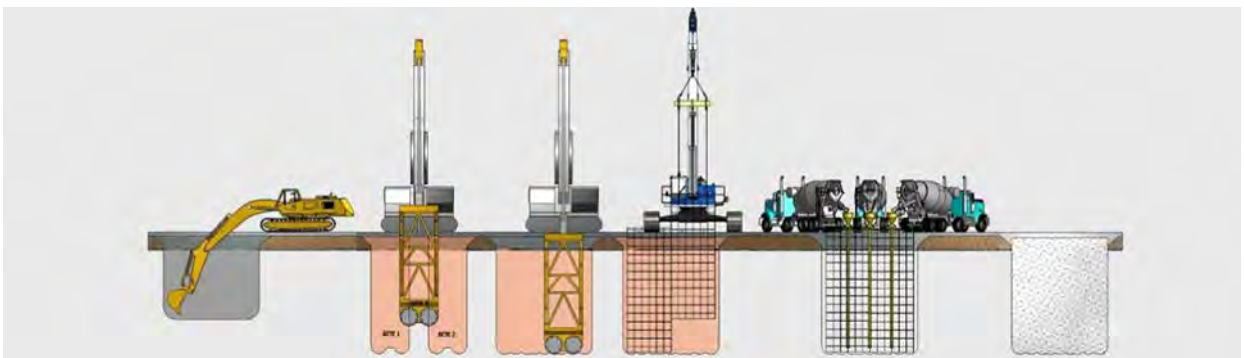


Les premiers travaux théoriques ont été exécutés en 1913 sur l'effet positif de la boue pour la stabilisation des forages et l'utilisation ponctuelle de boue dans des forages miniers dès 1920. La bentonite est utilisée dans des forages pour la première fois en 1927.

En 1938, l'ingénieur autrichien Christian Veder imagine le concept de mur coulé dans une tranchée remplie de boue, puis en 1948 a lieu la première exécution de celle-ci.



Dans ce rapport nous allons principalement traiter des parois en deux procédés avec la mise en place de la bentonite et de béton. Mais il existe aussi un procédé en une phase qui s'exécute avec une suspension auto-durcissant dans le sol.



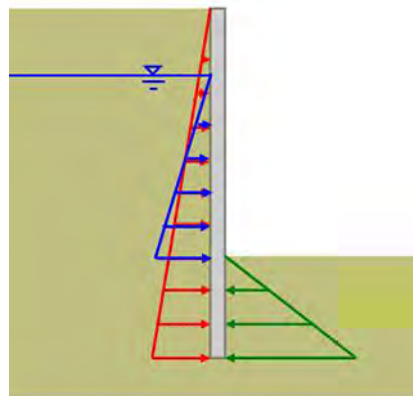
Domaine d'application

La paroi moulée est idéale lors de terrassement dans les sols avec une présence d'eau. Comme l'intégralité de l'écran est exécuté avant de terrasser, nous n'avons pas les problèmes liés à l'eau lors du terrassement, ce qui n'est justement pas le cas avec les procédés de paroi cloué ou berlinoise.

La paroi en béton armée peut avoir un usage provisoire ou définitif et être intégrée à l'ouvrage comme par exemple utilisé comme des murs de sous-sol.

Une paroi moulée est nettement moins déformable qu'un rideau de palplanche ou qu'une paroi berlinoise. C'est pour cette raison que les parois moulées sont très utilisées en milieu urbain car il est primordial de réduire au maximum les déformations qui aurait des impacts néfastes pour les ouvrages voisins.

La paroi moulée est utilisée principalement pour construire des enceintes souterraines relativement étanches comme les parking, fosse, bassin de stockage situées sous le niveau de la nappe phréatique. Mais aussi pour la réalisation de structure de soutènement de haute importance, nécessitant une grande inertie. Dans cette seconde configuration, la paroi moulée reprend la poussée des terres et de l'eau, en limitant les venues d'eau par le fond de fouille. Elle s'emploie également dans les cas de fortes contraintes environnementales, afin de sécuriser des bâtiments mitoyens ou à proximité d'ouvrages sensibles, à l'instar de voies ferroviaires ou de collecteurs.



Méthode d'exécution

Installation avant travaux

L'installation de chantier pour les parois moulées est conséquente et nécessite du temps pour la mettre en place. Selon nos recherches, il faut compter environ 2 semaines d'installation et 1 semaine pour le repli de celle-ci.

Ceci est en grande partie dû au traitement des boues de forage qui demande une installation imposante. En effet la boue utilisée comme étayage de fouille avant le bétonnage des étapes de paroi est pompée et réutilisée, mais elle doit être lavée de tous les éléments fins restant en suspension dans la bentonite.



Liste d'inventaire principale nécessaire au bon déroulement :

- Une pelle à câble équipée d'un outil de creuse tel que:
 - o Une benne grapin
 - o Une fraise
- Une deuxième pelle à câble pour la mise en place des cages d'armature
- Plusieurs camions malaxeurs
- Installation de pompage pour la bentonite
- Installation de recyclage complète pour le traitement des boues de forage

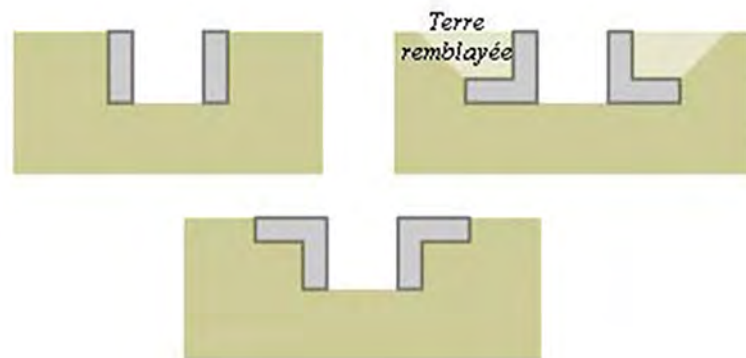


Murettes guides

Une fois l'installation de chantier pour les parois terminée. La première étape d'exécution consiste à préparer des murettes de guidage. Elles sont constituées de deux murets en béton armé d'environ 30cm de hauteur, l'espacement entre les deux murettes est l'épaisseur de paroi augmentée de 20 à 50mm.

Elles ont pour fonctions de :

- Matérialiser avec précision l'implantation de la paroi
- Guider la benne au démarrage du forage
- Former une réserve de boue et éviter les éboulements de terrain par l'effet de marnage
- Construire un appui stable pour les opérations délicates comme la mise en place des cages d'armatures, etc.



Bentonite

C'est en 1952 que la bentonite est utilisée pour la première fois en Suisse. La bentonite est une argile colloïdale tyxotropique qui comprend principalement de la montmorillonite ou des minéraux similaires.

La bentonite a plusieurs avantages :

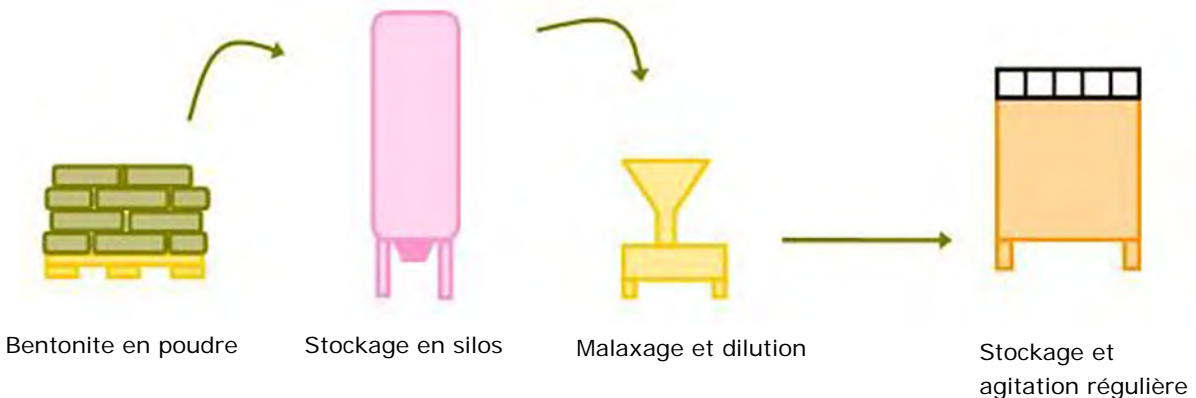
- Liquide quand elle est en mouvement
- Incompressible au repos

Ces propriétés lui permettent d'être pompable et de soutenir les terres quand les matériaux extraits devront être remplacé par un mélange de bentonite et d'eau qui joue le rôle d'étais avant de mettre en place le béton de la paroi moulée. De plus, elle forme un cake étanche au contact avec le sol, ce qui augmente aussi légèrement sa cohésion. La différence de densité avec le béton (1.05 à 1.2 pour la bentonite) empêche le mélange.

La stabilité de la tranchée est liée à :

- Le temps que la tranchée reste ouverte
- Profondeur de celle-ci
- Son niveau
- La qualité de la boue

Concernant la préparation de la bentonite, la centrale de boue est composée :



Forage

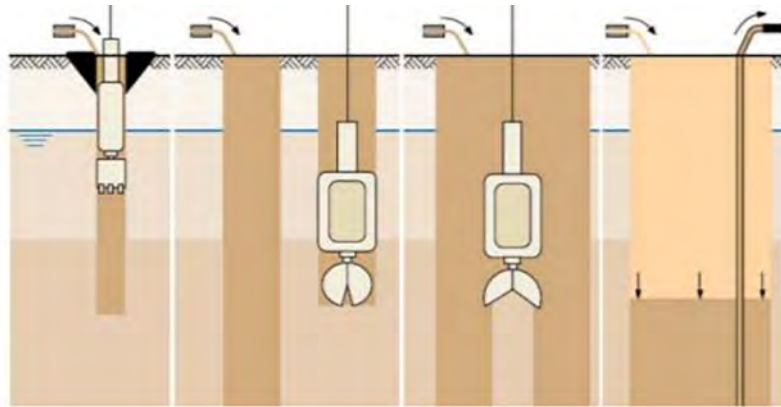
Lors du forage les matériaux extraits devront être remplacé par un mélange de bentonite et d'eau qui joue le rôle d'étais avant de mettre en place le béton. Le forage se fait par étape d'environ 7m afin d'éviter tout risque de déstabilisation des parois. Lors de l'évacuation des matériaux la creuse est effectuée en quinconce

Il existe deux manières de procéder à l'extraction des terres.

- La première est d'utiliser une benne. Le terrain est fracturé au moyen d'un trépan lourd suspendu. Les déblais sont ensuite versés dans des camions afin d'être transporté vers une fosse de décantation. L'outil de forage est alternativement descendu et remonté.

- La deuxième est d'utiliser un outil de forage de type fraise. Le terrain est découpé et broyé puis aspiré en continu. Les déblais sont mélangés à la boue de forage et ce mélange est refoulé vers une installation de recyclage et ceci en permanence lors de l'excavation. Cette méthode est plus onéreuse qu'avec une benne car les installations de recyclage sont beaucoup plus lourdes et complexes, l'ensemble des déblais sera également acheminé jusqu'à la centrale de recyclage. Le recours à cette solution est donc réservé dans le cas où le terrain est très dur et ne pouvant pas être foré à l'aide de bennes.

Pour les 2 méthodes il faudra de toute manière remplacer la boue salie comprenant des parties fines du terrain par une boue propre pour éviter tout risque de mélange de ces particules de terrain avec le béton.



Mise en place des guides et de l'armature

Une fois l'excavation d'un panneau terminée, nous venons y intégrer les cages d'armature assemblées au préalable. Dans un premier temps, nous devons placer des guides de coffrage aux extrémités des panneaux, ceux-ci servent à garantir une liaison correcte entre les panneaux (les guides sont placés uniquement dans les panneaux primaires). Par la suite on va venir descendre la cage d'armature à l'intérieur de la boue de forage, à l'aide d'une pelle à câble.

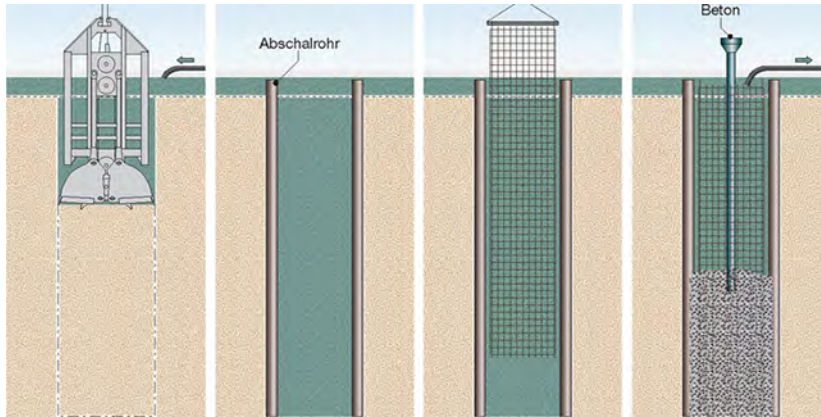
Si nous voulons que le joint entre les 2 panneaux soit étanche, on peut y glisser un joint de type waterstop auquel est intégré un joint en caoutchouc au guide de coffrage.



Bétonnage

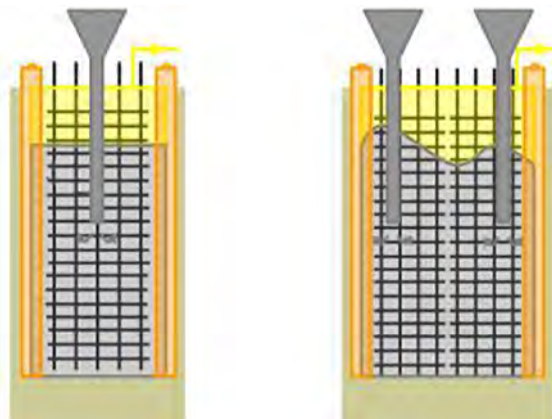
Le bétonnage de chaque panneau doit être réalisé à l'aide d'un tube plongeur, si la largeur du panneau est supérieure à 3m nous devons utiliser 2 tubes plongeur (\emptyset tube = min. 0,15m et 6 fois la dimension maximale des granulats) et par conséquent prévoir 2 camions malaxeurs pour pouvoir bétonner simultanément avec les 2 tubes.

Le bétonnage se fera depuis le fond en plaçant les tubes en fond d'excavation (au minimum de 3m/h), de ce



fait la bentonite se mettra en mouvement et passera à un état liquide et comme sa densité est plus faible que le béton, elle remontera à la surface. A l'avancement du bétonnage, la bentonite sera pompée et acheminée vers l'installation de recyclage.

Lors de la mise en place du béton, les tubes devront rester plongé dans le béton d'une hauteur de 3 à 5m. Si nous utilisons 2 tubes plongeurs, nous devons nous assurer que la différence de niveau du béton est inférieure à 0,50m.



Quelques informations des caractéristiques du béton utilisé :

- Dosage en ciment minimum :
 - o Granulats 0/16 = min 400kg/m³ de ciment
 - o Granulats 0/32 = min 350kg/m³ de ciment
- Granulats :
 - o Dimensions inférieures à ¼ de la maille de la cage d'armature
 - o Dimensions inférieures à ½ de l'enrobage
 - o Dimensions inférieures à ¼ du diamètre du tube plongeur utilisé pour le bétonnage
 - o Au maximum 32mm
- Eau : E/C ≤ 0,6

Avantages et inconvénients

Avantages

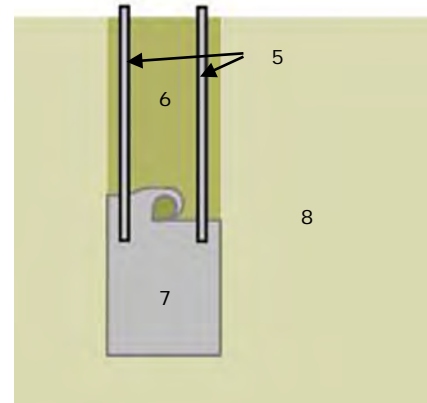
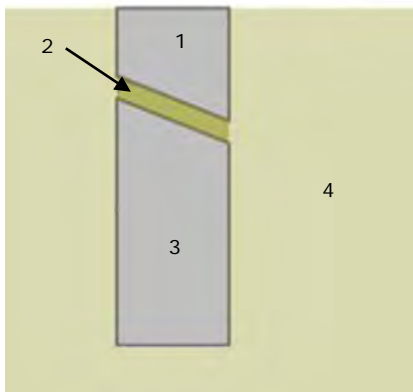
La paroi moulée permet de réaliser des bâtiments profonds avec plusieurs niveaux de sous-sol, permet aussi de créer une enceinte relativement étanche. Il est possible de réaliser une partie du bâtiment sous le niveau de la nappe phréatique. La paroi est très rigide, ce qui limite grandement les déplacements en tête. Ce qui est très important lorsque qu'il y a des bâtiments à proximité. Aucune vibration n'est engendrée contrairement à la technique des palplanches battues ou vibrofoncées, aussi important en milieu urbain. Contrairement aux fouilles talutées, l'emprise au sol est réduite car l'ouvrage est réalisé verticalement. Il est possible de traverser n'importe quelle couche de sol avec les outils adapter.

Inconvénients

Cette technique est relativement très couteuse. Une grande quantité de matériaux est employée. L'entreprise doit avoir une technicité très pointue. Les caractéristique mécanique et la durabilité du béton sont moindre car le béton est coulé au contact du sol. De plus elle nécessite généralement un étayage provisoire ou définitif, comme les murettes.

Problèmes connus

- Il est très important de connaître la nature du sol avant le début des travaux. En présence d'un sol mous, lors du forage, des problèmes de stabilité du sol peuvent survenir. Dans ce cas il faut limiter la durée de l'ouverture de la tranchée. Augmenter la densité de la boue de forage.
- Si la cage d'armature remonte, cela signifie que le béton utilisé est trop ferme. Il est hors de question d'ajouter de l'eau ! En effet, cet ajout aurait de fâcheuses conséquences sur les résistances mécaniques du béton. Cependant, il est possible d'ajouter un fluidifiant
- Dans le cas d'une discontinuité horizontale d'un panneau, il est fort probable que la partie supérieure se détache lors de l'excavation, provoquant un effondrement de terrain. Il est donc impératif d'assurer une garde suffisante lors du bétonnage ! C'est pour cela qu'il faut régulièrement vérifier la hauteur de béton dans le forage.
 - o 1. Partie supérieure de la paroi moulée
 - o 2. Bentonite
 - o 3. Partie inférieure du panneau
 - o 4. Sol en place
- La qualité, voire la stabilité peut être mise en cause. Ce phénomène se produit généralement lorsque, lors du bétonnage, les deux tubes plongeurs ne sont pas alimentés simultanément (ou que la hauteur de béton dans la colonne est dissymétrique), créant ainsi une vague de béton emprisonnant de la bentonite.
 - o 5. Tube plongeur pour bétonnage
 - o 6. Bentonite
 - o 7. Partie bétonnée
 - o 8. Sol en place



Conclusion

La paroi moulée est un ouvrage onéreux et qui demande un besoin en inventaire conséquent ainsi qu'une grande installation de chantier.

Cependant elle a de gros avantages pour tous les travaux en milieu urbain où il n'est pas tolérable d'avoir d'importante déformations en tête de paroi et également lors de l'exécution de celle-ci comparé à l'exécution de palplanche qui entraîne de grosse vibration aux alentours.

Elle peut également être utilisé en mur définitif comme des murs de sous-sol par exemple.

Lors de l'exécution de la paroi, nous n'avons pas besoin d'effectuer d'étape au niveau de la hauteur contrairement aux parois clouées et berlinoises. De ce fait, il est possible de faire une paroi moulée dans un sol gorgé d'eau, de plus la paroi moulée peut être rendu presque complètement étanche.

L'entreprise exécutant les travaux de paroi moulée doit être compétente et expérimenté dans le domaine.

Sources

Sites internet : <http://www.sif-groutbor.ch/> / <http://www.soletanche-bachy.com/> /
<https://www.liebherr.com/> / <http://public.iutenligne.net/> / <https://fr.wikipedia.org/>
<https://www.cahiers-techniques-batiment.fr/> / <http://centrebuslagny.canalblog.com/>