

# Chapitre 2 : Drainage et Assèchement

Enseignant : Dr. Noui Abdelkader

Institut des Séances de la terre et de L'univers, Université Batna 2  
Batna 05078, Algérie

## 1. Introduction

Lorsque les structures sont soutenues sur des sols cohérent à faible résistance et à très faible perméabilité, un problème de stabilité et/ou de tassement à long terme peut survenir.

Le sujet de la modification hydraulique comprend de différents sols et différentes méthodes d'amélioration qui peuvent être réalisées en modifiant l'écoulement, la présence et la pression de l'eau dans le sol. Il peut s'agir de tout changement ou 'amélioration' du sol qui a fait au drainage, à l'assèchement, infiltration ou écoulement d'eau souterraine. À plusieurs occasions, Dr. *Ralph Peck* a fait commenter que la présence d'eaux dans le sol a causé 'la plupart des problèmes géotechniques'. Par conséquent, il semble raisonnable que si la présence ou l'action de l'eau dans le sol peut être contrôlée, l'ingénieur puisse être capable d'influer sur le comportement du sol d'une manière positive.

Parmi les conséquences techniques les plus graves causées par la présence, l'introduction ou le changement de concentration d'eau dans le sol, comprenons la rupture des fondations, le glissement de terrain, le changement de volume excessif (retrait-gonflement ou soulèvement), la liquéfaction, la rupture de pipe et tassement total/différentiel.

L'assèchement est également une application courante où la nappe phréatique doit être tirée vers le bas pour permettre l'excavation avec une zone de travail sèche.

## 2. Méthodes d'assèchement

Le type de méthode d'assèchement utilisé pour tout projet ou pour résoudre un ou plusieurs objectifs d'amélioration hydraulique dépendra en grande partie de (1) la différence d'altitude entre la source et l'élimination, ainsi que de (2) la perméabilité (conductivité hydraulique) ou de la capacité d'écoulement à l'intérieur du sol.

Il existe diverses méthodes d'assèchement, comme les bassins et les fouilles, les puits profonds, les drains à mèche.

### 2.1 Pointes filtrantes (Well points)

Les systèmes de *pointes filtrantes* sont utiles pour l'assèchement d'un site composé de sables et sables interstratifié de matériaux limoneux, tourbeux ou argileux.

Un point filtrant est un tuyau perforé d'un diamètre d'environ 5 à 10 cm et d'une longueur de 0,6 à 1,5 m. Les points filtrants sont généralement conçus comme un système

de filtres relativement superficiels qui fonctionnent de concert entre eux, car plusieurs points filtrants partageront une pompe commune et un système de tuyauterie communs (Fig. 1).

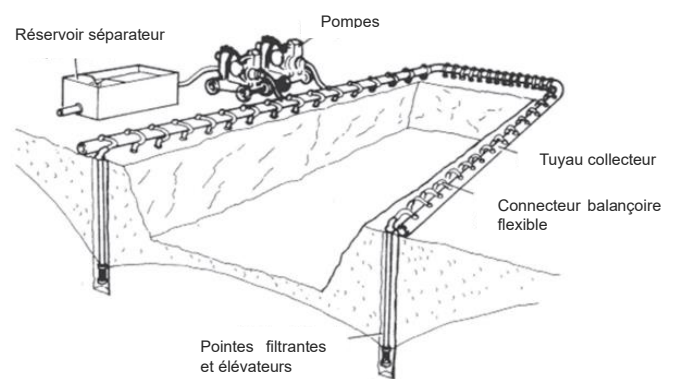


Fig. 1 Schéma d'un système de pointes filtrantes typiques

Les pointes filtrantes peuvent être installés en une ou plusieurs étapes selon la profondeur d'assèchement requise. Utilisation des points filtrants à une seule étape la nappe phréatique peut être abaissée d'environ 5 à 6 m. D'autre part, la nappe phréatique peut être abaissée à une profondeur d'environ 15 m en utilisant le système de puits filtrants à plusieurs étages.

Les pointes filtrantes sont généralement installées en rangées ou en anneaux entourant le site d'excavation proposé. L'espacement entre deux points de puits est maintenu à environ 1 à 3 m selon le type de sol et la profondeur d'eau. La Fig. 2 montre l'application de points filtrants à des niveaux d'eau souterraine inférieurs à ceux de la plate-forme pour une excavation de 4800 m<sup>2</sup> à l'Université *Colgate*, à Hamilton, New York.

Les pointes filtrantes sont reliées par des élévateurs de même diamètre qui sont à leur tour raccordés au tuyau collecteur ayant un diamètre d'environ 15 à 30 cm. Le collecteur est relié à une unité d'aspiratrice combinée à une pompe centrifuge pour produire un vide dans le système et pomper l'eau recueillie par les points filtrants. Le pompage de l'eau se continue une fois qu'il est commencé jusqu'à ce que l'excavation soit terminée. Si le pompage est arrêté, un effondrement du sol peut se produire.

### 2.2 Puits profonds (Deep wells)

Les systèmes de puits profonds peuvent être adoptés

lorsque la profondeur de l'excavation dépasse 16 m (plus de 60 m) sous la nappe phréatique et lorsqu'une excavation nécessite des débits de pompage élevés. Ce système est très utile pour l'assèchement de formations de sable ou de roches perméables ou pour soulager la pression artésienne sous une excavation. Ils sont particulièrement adaptés pour l'assèchement des barrages et des tunnels.



Fig. 2 Application de point filtrant et pompe pour une excavation du bâtiment, l'Université Colgate, New York

Un puits d'assèchement consiste en un tube perforé installé dans un puits de forage de diamètre variant de 15 à 70 cm. Le tube perforé est entouré d'un filtre gradué et une pompe submersible est fournie au fond du puits de forage, comme le montre la Fig. 3.

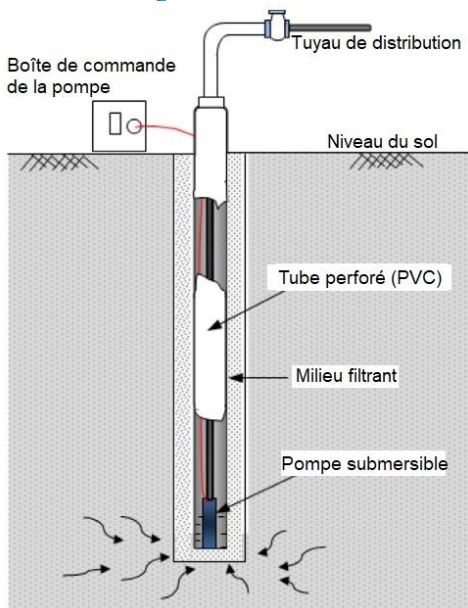


Fig. 3 Assèchement par puits profonds

L'espacement entre les deux puits peut être maintenu entre 10 et 30 cm selon les conditions du site et la profondeur de la nappe phréatique. De plus, une fois le pompage commencé, il doit être continu jusqu'à ce que l'excavation soit terminée afin d'éviter l'effondrement dû au développement rapide des pressions hydrostatiques et d'infiltration. Ces types de puits fonctionnent mieux pour les sols ayant une perméabilité comprise entre  $10^{-1}$  et  $10^{-3}$  cm/s.

Un exemple d'un grand cas d'assèchement par les puits profonds, la station de *Beacon Hill*, à Seattle, Washington (Fig. 4), où l'assèchement a été effectué à des profondeurs de plus de 62 m afin de drainer et de stabiliser les dépôts granulaires avant une opération de tunnelisation.



Fig. 4 Utilisation de puits profonds pour l'assèchement dans le cas de l'excavation d'un tunnel à *Beacon Hill*, Washington

### 3. Préconsolidation

Lorsqu'une charge est appliquée par une nouvelle structure, remblai à un site reposant sur des sols fins saturés et mous, la charge sera d'abord absorbée en partie par l'eau relativement incompressible dans les pores du sol, transférant cette charge à des surpressions d'eau interstitielles. Avec le temps, la surpression interstitielle se dissipe à mesure que la charge est transférée à la matrice du sol, le sol se consolide et le tassement se produit. Le tassement à long terme peut être le paramètre le plus critique pour de nombreux types de constructions sur des sols compressibles mous.

La notion fondamentale de préconsolidation est de charger le sol avant la construction de telle sorte que le sol peut être comprimé, renforcer ainsi le sol et réduire considérablement le tassement une fois le projet terminé.

Comme la consolidation est souvent difficile à prévoir

avec précision, il est essentiel de surveiller l'évolution réelle de la déformation et de la génération/dissipation de la surpression interstitielle, et ajuster les analyses de prédiction en conséquence.

Une approche très simple de la préconsolidation consiste à appliquer une surcharge à peu près égale à la charge finale de projet et à permettre au sol de se consolider naturellement au point où n'importe quel tassement restant prévu sur la durée de vie prévue de projet se trouve dans des limites admissibles. Un point important qui doit être traité est de s'assurer que la capacité portante du sol peut gérer en toute sécurité la charge appliquée. Dans certains cas, lorsque la capacité portante du sol de fondation est très faible, la surcharge doit être appliquée par étapes, permettre d'atteindre des niveaux intermittents de consolidation avant d'appliquer les étapes suivantes.

### 3.1 Drains verticaux préfabriqués

Le processus naturel de consolidation sous charge de construction peut prendre de plusieurs années, tout en causant des problèmes de tassement potentiel pour le projet construit. Les drains peuvent accélérer considérablement le temps nécessaire pour atteindre un niveau de consolidation souhaité afin d'augmenter la résistance et réduire le tassement.

Les drains verticaux préfabriqués (PVDs) sont constitués de noyaux de plastique encapsulés dans des gaines filtrantes géotextiles afin d'accélérer le processus de consolidation dans des sols cohérents. Les drains verticaux ont généralement une largeur de 10 cm et une épaisseur de 3 à 9 mm, mais des versions plus épaisses sont disponibles pour augmenter la capacité d'écoulement. Même avec des dimensions typiques, les drains sont capables de gérer un écoulement de décharge important (Fig. 5).

Les drains verticaux destinés à assister la préconsolidation sont largement utilisés depuis de nombreuses décennies. Initialement construits comme des drains de sable préforés, ils étaient relativement coûteux et présentaient certaines limites pratiques (par exemple, la profondeur). Pour la plupart des applications de préconsolidation, les drains à sable ont été remplacés par des drains verticaux préfabriqués (géosynthétiques composites) ou des drains filants (Fig. 6).



Fig. 5 Exemple de décharge d'un drain vertical préfabriqué (PVDs)



Fig. 6 Drain filant

L'utilisation de drains verticaux accélère grandement le processus de consolidation par raccourcissement la longueur de chemin de drainage, en plus de permettre le drainage horizontal, qui est la direction préférentielle d'écoulement avec la plus grande perméabilité dans les particules fines (Fig. 7).

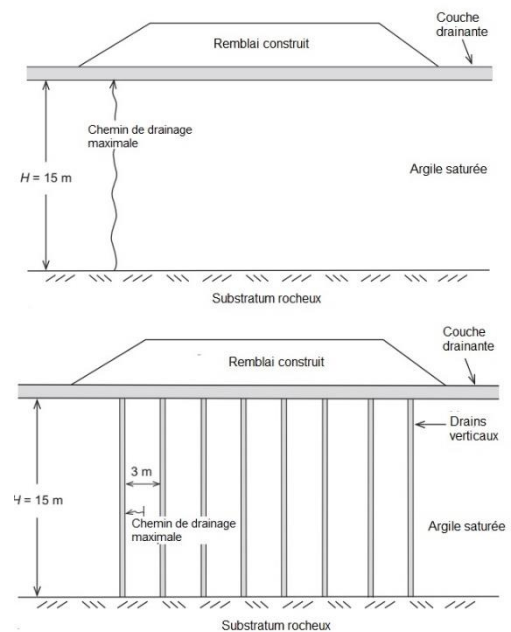


Fig. 7 Raccourcissement du chemin de drainage avec drains verticaux

L'utilisation de drains verticaux dans des applications de consolidation forcée peut accélérer le temps pour atteindre des niveaux acceptables de capacité portante (résistance au cisaillement) et réduire les tassements sous les charges de décennies à des mois ou moins, selon les caractéristiques du projet et du site (Fig. 8).

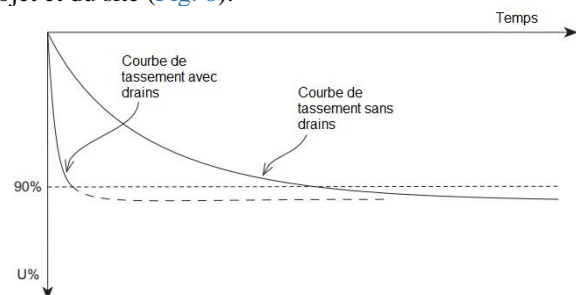


Fig. 8 Exemple d'accélération de tassement avec et sans drains



Les drains préfabriqués sont installés par un équipement spécialisé appelé 'stitchers', montés sur des grues ou des excavateurs, muni d'un mandrin à conduire le drain depuis surface à la profondeur désirée, habituellement le fond des couches compressibles molles (Fig. 9).

L'installation est parfois réalisée à l'aide de marteaux vibrants, mais généralement est simplement poussée dans le sol hydrauliquement. Les drains sont habituellement disposés en maillage triangulaire ou carrée espacé d'environ 1 à 2 m.



Fig. 9 Photo de l'installation des drains verticaux

Une fois les drains verticaux installés sur un site, une couche de drainage horizontale doit être fournie pour évacuer l'eau drainée. Cela est souvent fait avec un matériau granulaire bien drainé, combiné avec des drains horizontaux filants placés pour intercepter l'écoulement des drains verticaux (Fig. 10).



Fig. 10 Système d'évacuation de drain horizontal filant connecter aux drains verticaux

### 3.2 Consolidation atmosphérique (sous vide)

Dans le cas de sols limoneux et de sables à forte teneur en matériaux fins, en général la méthode d'assèchement de pointes filtrantes n'est pas efficace. Dans ce cas, consolidation assistée par le vide (généralement appelé 'consolidation sous vide') peut être utilisée pour de meilleurs résultats.

La consolidation atmosphérique est une méthode de préchargement de sols à grains fins compressibles par application de pompes à vide au système de drainage vertical et horizontal installé, comme le montrent la Fig. 11 et Fig. 12, des drains verticaux sont installés, au-dessus desquels la

surface du sol est recouverte d'une couche de drainage ou d'un matelas de sable.

Une tranchée est creusée le long du périmètre de la zone de précharge jusqu'à une profondeur d'environ 50 cm sous la nappe phréatique et est remplie par bentonite et pate pour sceller ultérieurement la membrane imperméable le long du périmètre.

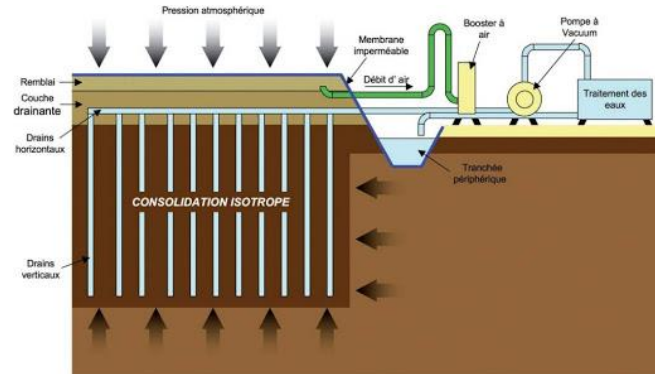


Fig. 11 Consolidation atmosphérique (sous vide)

Les pompes à vide sont raccordées au drain horizontal qui, à son tour, recueille l'eau des tuyaux verticaux. Le système de pompage est installé de manière à créer une dépression sous la membrane étanche, ce qui permet d'appliquer sur le sol une contrainte due à la pression atmosphérique (la contrainte appliquée atteint généralement 60 à 80 kPa suivant le rendement global du système - équivalant à la mise en place d'environ 3 à 4 m de sable).



Fig. 12 Application sur site de consolidation atmosphérique

Le préchargement par la pression atmosphérique crée une consolidation isotrope accélérée du sol compressible, qui élimine ou réduit la nécessité de mise en place de remblais de préchargement temporaires pendant des durées importantes.

Cette méthode est relativement coûteuse. Il peut prendre plusieurs semaines pour raidir le sol pour les travaux d'excavation.

En réalité, l'utilisation de systèmes de vide a été prouvé pour accélérer les améliorations, permettant, dans certains cas, charges supplémentaires à appliquer dans les 2 semaines

suivant le début de l'application. La durée des applications réalisées est souvent de 4 à 6 mois, que sont plus rapides que les méthodes traditionnelles utilisant des drains seuls par exemple.

#### 4. Electro-osmose

En appliquant un courant électrique (potentiel électrique) à un sol saturé, l'eau (et certaines molécules adsorbées chargées positivement) s'écoulera vers la cathode, ou terminal négatif. Si l'eau recueillie à la cathode est retirée (habituellement par pompage mécanique), alors le résultat est la réduction de la teneur en eau, qui à son tour entraîne la consolidation de la masse du sol, par conséquent, une augmentation de la résistance et une réduction de la compressibilité du sol. Cette procédure est appelée *électro-osmose*.

Le phénomène d'électro-osmose dans les sols a été signalé pour la première fois par *F.F. Reuss* en 1809 et il est considéré comme une méthode appropriée d'assèchement dans les argiles saturées. Elle implique l'insertion d'anodes et de tubes cathodiques dans le sol suivi du passage d'un courant continu.

Les anodes sont généralement sous forme de tiges d'acier situées près du pied des pentes d'excavation. Les cathodes sont sous forme de tubes perforés, installés dans la masse de sol à environ 4 à 5 m loin de la pente de coupe. Les électrodes sont disposées de telle sorte que la direction naturelle de l'écoulement de l'eau est éloignée du site d'excavation.

Quand les minéraux d'argile dissoute entrent dans la solution, une double couche électrique se forme à l'interface particules-eau du sol et les cations sont libérés dans l'eau interstitielle. En raison du champ électrique appliqué (courant continu), les ions de la couche de diffusion migrent vers la cathode. Puisque les molécules d'eau agissent comme des dipôles, les cations attirent également l'extrémité négative des dipôles et font bouger les molécules d'eau ensemble vers la cathode (Fig. 13).

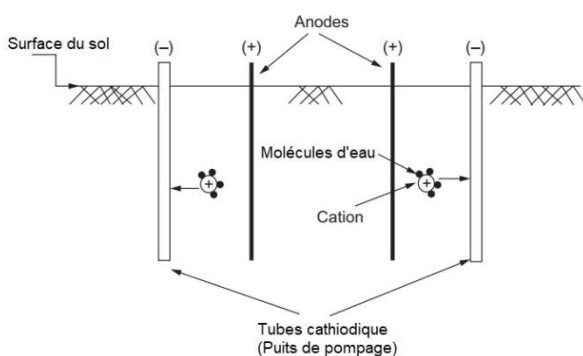


Fig. 13 Assèchement par électro-osmose

La cathode agit comme un point de pointes filtrantes qui recueille l'eau drainée du sol. L'eau recueillie est ensuite évacuée hors du site comme un système conventionnel de pointes filtrantes.

Avec l'élimination de l'eau du sol, la méthode de l'électro-osmose améliore les propriétés de résistance au

cisaillement des sols argileux de faible perméabilité. Malheureusement, la méthode d'électro-osmose est très chère en raison de la consommation élevée d'électricité et elle nécessite également une main-d'œuvre spécialisée et des équipements sophistiqués.

Le traitement par électro-osmose peut causer des changements non uniformes des propriétés du sol car la consolidation induite dépend du voltage, et le voltage varie entre l'anode et la cathode. Par conséquent, un renversement de la polarité des électrodes peut être souhaitable pour obtenir une condition de contrainte plus uniforme. En plus, la production d'ions hydroxydes pendant le processus d'hydrolyse peut augmenter le *pH* de l'eau. L'augmentation du *pH* peut influencer sur la floculation des particules d'argile et donc ses propriétés. Une augmentation du *pH* provoque une diminution des ions échangeables, qui résulte la dispersion de l'argile.

L'électro-osmose peut également être utilisée en conjonction avec le préchargement pour accélérer le processus de consolidation. Toutefois, cette méthode pourrait être relativement coûteuse.