



# ***Directives pour le rabattement de la nappe***

*Version Décembre 2009*

Les présentes "Directives pour le rabattement de la nappe" sont rédigées par le "Groupe de Travail Rabattement de nappe", composé de :

- EurGeol. Paul Van Calster, président du groupe de travail
- ir. Flor De Cock, Geo.be BVBA
- ir. Monika De Vos, Centre Scientifique et Technique de la Construction (CSTC)
- prof. ir. Jan Maertens, Jan Maertens & Partners BVBA et KULeuven
- ir. Gauthier Van Alboom, Vlaamse Overheid, MOW, Afdeling Geotechniek

Ce travail tente d'établir des directives directement applicables. Néanmoins, les membres du groupe de travail n'assument pas la responsabilité d'éventuelles imperfections dans ce document.

Photo de la page de garde (P. Van Calster) : station de pompage à vapeur Cruquius restaurée.

Cette vieille installation de rabattement se trouve à environ 7 km au sud d'Haarlem. Elle appartient au patrimoine mondial. La station de pompage a été construite pour assécher Haarlemmermeer, suite à d'importants orages en 1836, qui ont constitués une menace pour Amsterdam. Le nom Cruquius a été emprunté à l'Ingénieur hydrographe néerlandais. De 1852 à 1949, trois pareilles stations de pompage à vapeur asséchaient la région Haarlemmermeer, de sorte que 18000 hectares d'argile ont été libérés.

# Contenu

Contenu .....	3
Avant-propos .....	5
Responsabilités .....	6
1 Enquête préliminaire .....	8
2 Reconnaissance géotechnique .....	13
2.1 Directives pour l'exécution .....	13
2.1.1 Essais de pénétration statique .....	13
2.1.2 Forages .....	14
2.1.3 Mesures du niveau d'eau à l'aide de piézomètres.....	14
2.2 Essais de rabattement .....	16
2.3 Détermination du type et du nombre d'essais .....	16
2.3.1 Détermination de la catégorie d'un travail .....	17
2.3.2 Reconnaissance géotechnique minimale en fonction de la catégorie de travail à effectuer.....	19
3 Rapport d'évaluation de l'enquête préliminaire et de la reconnaissance géotechnique.....	21
4 Détermination du coefficient de perméabilité et des autres paramètres hydrauliques.....	22
5 Conception du rabattement.....	25
5.1 Intégration des mesures des niveaux d'eau .....	25
5.2 Choix de la méthode de rabattement .....	26
5.3 Mesures de protection.....	28
5.3.1 Ecrans verticaux et couches peu perméables horizontales .....	28
5.3.2 Réalimentation .....	29
5.3.3 Mesures pour limiter la durée du rabattement.....	31
5.4 Modélisation de l'eau dans le sol .....	31
5.4.1 Modèle de calcul hydrogéologique.....	31
5.4.2 Estimation des débits de rabattement, de la sphère d'influence et de l'amplitude du rabaissement à l'intérieur et à l'extérieur de la fouille ...	32
5.5 Contrôle de la stabilité au sein et aux alentours de la fouille.....	33
5.6 Influence du rabattement sur les environs.....	33
5.6.1 Généralités.....	34
5.6.2 Tassements suite à la compression du sol (augmentation des contraintes entre grains) .....	34
5.6.3 Appréciation du risque de dommage ou de nuisance .....	35

6	Surveillance.....	37
6.1	Mesures piézométriques .....	38
6.2	Mesures de débit.....	38
6.3	Contrôle de l'eau extraite .....	39
6.4	Etat des lieux.....	39
6.5	Points de mesure et repères .....	39
6.6	Surveillance.....	40
7	Analyse des risques .....	41
8	Rapport de l'étude de conception et du processus de décision .....	42
9	Aspects liés à l'exécution .....	43
9.1	Etablissement d'un plan de rabattement détaillé.....	43
9.2	Installation des équipements.....	44
9.3	Essai de fonctionnement du rabattement.....	44
9.4	Mise en service et maintien du rabattement.....	45
9.5	Fin du rabattement .....	46
10	Check list pour le cahier des charges .....	47

## *Références*

*Disponibilité des cartes pour l'enquête préliminaire*

## *Définitions*

*Annexe A : Directives pour l'exécution de la reconnaissance géotechnique*

*Annexe B : Détermination du coefficient de perméabilité à partir de la granulométrie du sol*

*Annexe C : Perméabilité des écrans peu perméables*

*Annexe D : Détermination de la constante de compressibilité*

*\* Les chapitres mentionnés en caractère italique, manquent encore*

## Avant-propos

L'eau est un élément essentiel du sol. Pour les géologues, elle est considérée au même titre que les pierres et les minéraux, alors que les géomécaniciens du sol la considèrent comme une partie de la pression totale du sol.

La présence d'eau dans le sol peut être perçue comme un bienfait et une bénédiction. Cependant, en trop grande quantité, elle peut être perçue comme une catastrophe dans certaines situations.

Pour la construction de bâtiments, qu'ils soient grands ou petits, c'est de pratique courante de pouvoir travailler "à sec". Des abaissments temporaires du niveau d'eau (rabattement de la nappe) constituent alors une part importante de la construction. Etant donné que l'espace disponible est de plus en plus limité, les constructions souterraines deviennent de plus en plus courantes.

La dernière décennie nous avons assisté à une augmentation importante de discussions dans ce domaine entre les maîtres d'ouvrage, les concepteurs et les exécutants. Ces discussions houleuses se ponctuent bien souvent en une longue lutte juridique. Cela se produit parfois parce que le sujet relève de la compétence de spécialistes en hydrogéologie, et que ni le concepteur, ni l'exécutant ne se sentent à l'aise dans ce domaine. Mais le plus souvent, ces discussions sont causées par des accords qui sont mauvais, soit pas clairement définis.

Dans l'espoir de pouvoir diminuer ces situations de conflit, une journée d'étude intitulée "Rabattement de nappe : un éternel point de discussion ?" a été organisée le 10 décembre 2003 par l'Association de Mécanique de Sol et Techniques de Fondation (Genootschap Grondmechanica en Funderingstechniek) du TI-KVIV [1]. Après cette journée d'étude, un groupe de travail s'est constitué. Ce groupe de travail s'est fixé comme objectif d'établir des guidances sur l'abaissement du niveau d'eau dans le sol.

Un projet de texte de ces directives a été proposé par les membres du groupe de travail durant le workshop du 13 juin 2006 [2]. Ce workshop a été clôturé par une vaste table ronde. Nous remercions particulièrement les membres du panel pour leur collaboration intensive et remarques. Le panel est constitué de représentants des firmes spécialisées en rabattement, des entrepreneurs généraux, des bureaux d'études, des maîtres d'ouvrage et des sociétés d'assurance.

Notre reconnaissance va également aux participants de ce workshop et surtout à ceux qui ont apporté une contribution importante par leurs remarques et critiques constructives. Toutes ces remarques ont été prises en compte par le groupe de travail lors de l'élaboration de ces Directives Rabattements.

Ces directives ont pour but d'accompagner le maître d'ouvrage et le concepteur depuis l'enquête préliminaire et la reconnaissance géotechnique jusqu'au cahier des charges technique. Une fois l'exécutant désigné, le maître d'ouvrage, le concepteur

et l'exécutant trouveront dans ces directives l'assistance nécessaire à l'exécution du rabattement de la nappe.

⚠ Des aspects technico-environnementaux comme la propagation possible de pollutions suite à des rabattements, la réglementation concernant la réalimentation, et les demandes d'autorisation et de permis ne sont pas comprises dans les directives. Pour ceci, on se réfère à la réglementation en vigueur en la matière [3].

## Responsabilités

Dans les présentes directives, les responsabilités et les charges liées aux travaux de rabattement sont stipulées pour les différents acteurs, à savoir le maître d'ouvrage, le concepteur et l'exécutant, respectivement.

Le concepteur s'occupe successivement de l'enquête préliminaire, de la reconnaissance géotechnique, de la détermination des paramètres hydrauliques, de la conception du rabattement, de la définition de la surveillance, de l'analyse du risque, de la rédaction du rapport émanant de l'étude de conception et de la rédaction du cahier des charges pour les travaux de rabattement. L'exécutant rédige un plan de rabattement détaillé et exécute le rabattement.

La règle de base est que le concepteur exécute les tâches mentionnées préalablement à l'adjudication. L'architecte ou le bureau d'étude de l'ensemble du projet de construction est donc également le concepteur du rabattement. Il peut naturellement se faire conseiller par un spécialiste en la matière.

Exception à ceci sont par exemple les contrats du type "Design & Build" où l'entrepreneur est aussi bien l'exécutant que le concepteur. Dans ce cas, l'enquête préliminaire, la reconnaissance géotechnique et la détermination des paramètres hydrauliques doivent de préférence être réalisées par l'architecte ou le bureau d'études du maître d'ouvrage, si ce n'est pas le cas, assez de temps doit être prévu pour que l'entrepreneur puisse analyser et exécuter la reconnaissance géotechnique.

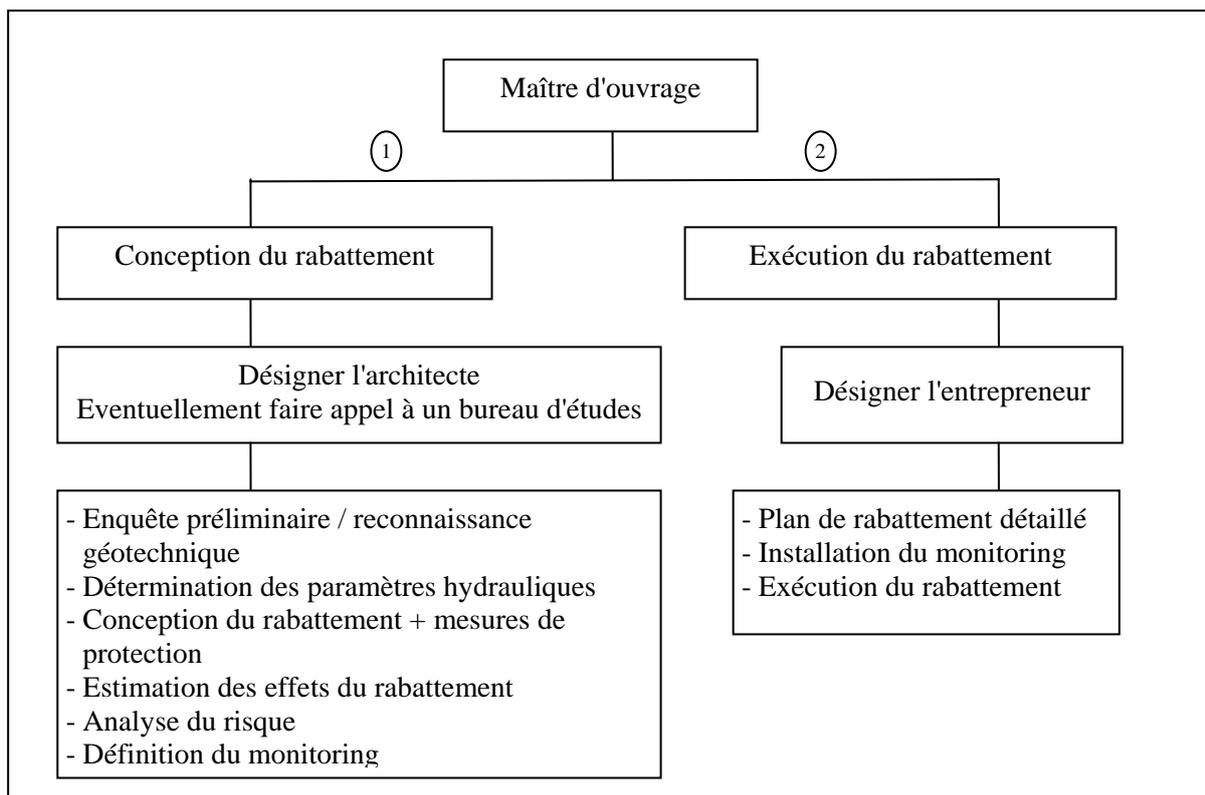


Figure 1 : *Projet traditionnel*

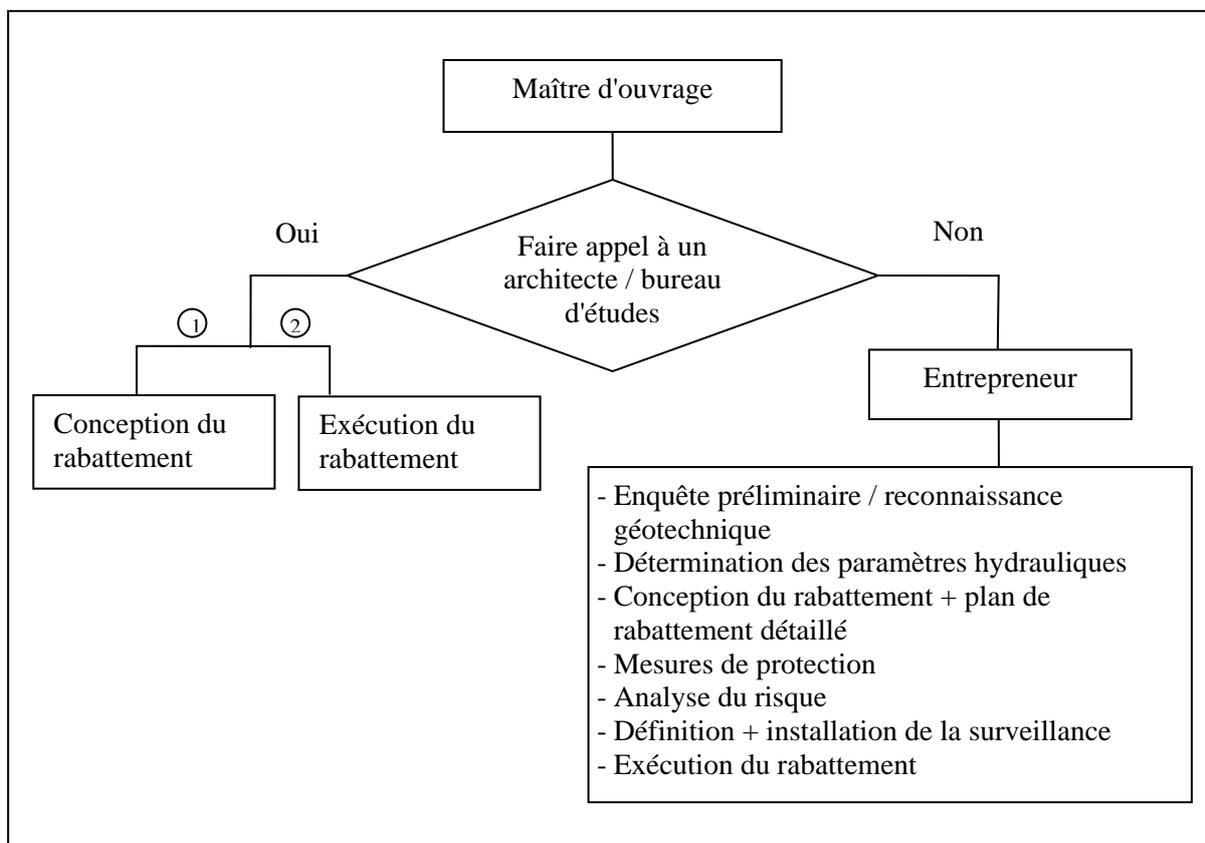


Figure 2 : *Projet "Design & Build"*

# 1 Enquête préliminaire

Le concepteur effectue une enquête préliminaire.

L'enquête préliminaire consiste à rassembler les données disponibles pertinentes.

Les sources suivantes peuvent être consultées (en fin de document, une liste est donnée reprenant les adresses où ces documents sont à consulter ou à obtenir) :

1. Databank Ondergrond Vlaanderen :  
La banque de données contient de l'information au niveau géologique, hydrogéologique et géotechnique. L'accès est gratuit (<http://dov.vlaanderen.be>).



Figure 3 : Databank Ondergrond Vlaanderen

2. Cartes géotechniques :  
Ces cartes contiennent de l'information géologique et hydrogéologique sur une échelle de 1:10 000 et 1:5 000. Elles sont uniquement disponibles pour les agglomérations de Bruxelles, Charleroi, Liège, Mons, Anvers et Gand.

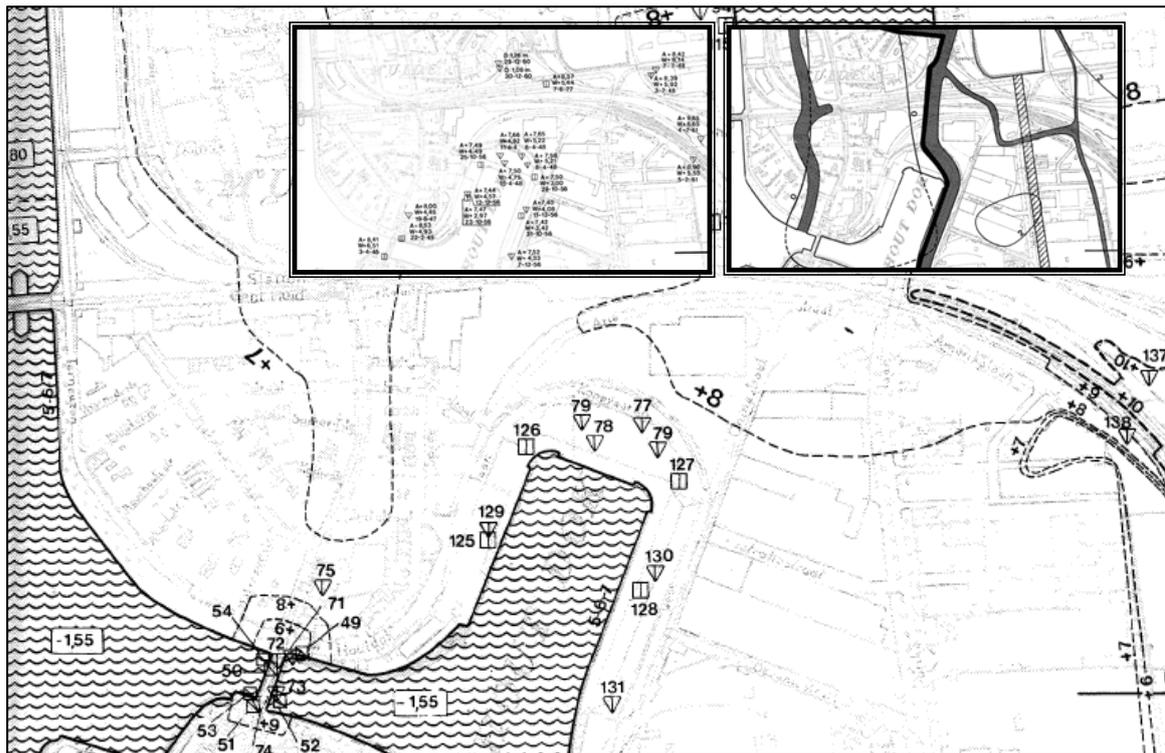


Figure 4 : Cartes géotechniques

3. Anciennes et nouvelles cartes géologiques et cartes du quaternaire :  
 Les anciennes cartes géologiques à l'échelle 1:40 000 sont des cartes chronostratigraphiques. Ce sont des cartes géologiques « couvertes » qui donnent le substrat, se trouvant sous les sédiments du quaternaire à l'exception des sédiments « modernes », comme les dépôts alluviaux et éoliens.  
 Les nouvelles cartes géologiques à l'échelle 1:50 000 (Flandre) ou 1:25 000 (Wallonie) sont des cartes lithostratigraphiques. Ce sont des cartes complètement « couvertes », où aucune couche quaternaire n'est donnée.  
 Les couches quaternaires en Flandre sont données sur des cartes avec des profilés type, également à l'échelle 1:50 000.  
 Les couches quaternaires en Belgique, avec entre autres l'indication des dépôts alluviaux, sont repris en 4 cartes à l'échelle 1:250 000, dans la "Géologie du quaternaire de Belgique" de R. Maréchal.

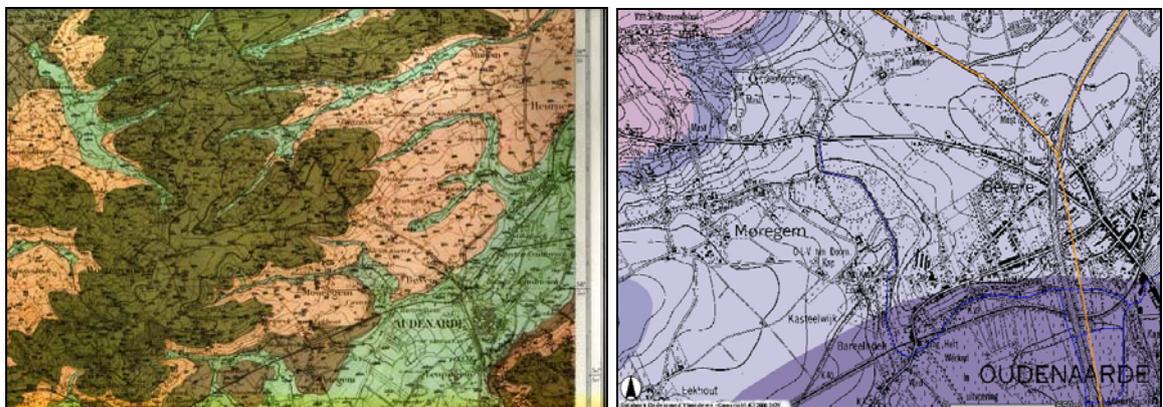


Figure 5 : Anciennes (à gauche) et nouvelles (à droite) cartes géologiques

4. Cartes du sous-sol :  
Information donnée sur le profil du sous-sol entre 0.80 m et 1.25 m de profondeur (échelle 1:20 000).

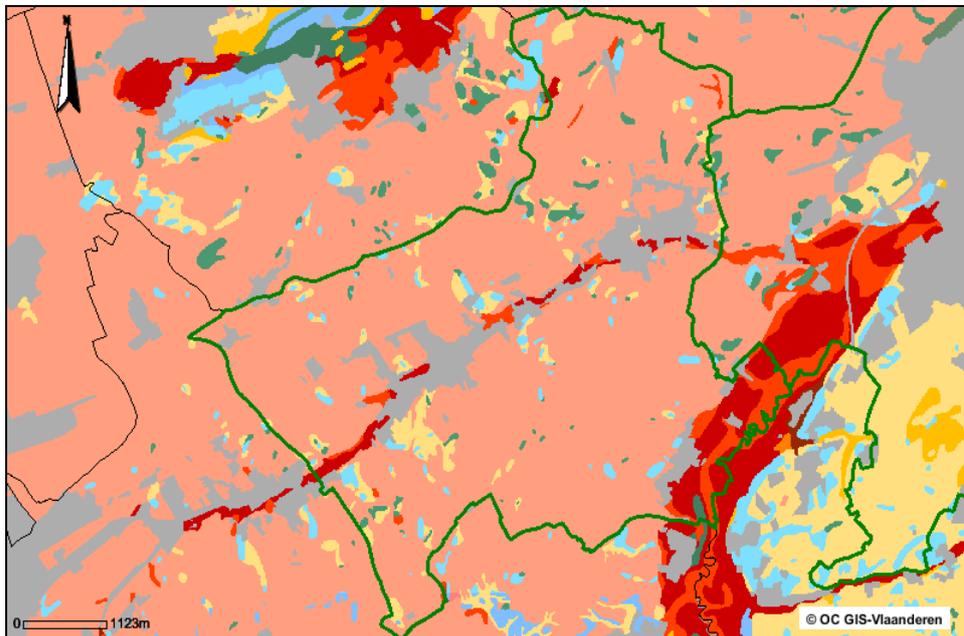


Figure 6 : Cartes du sous-sol

5. Cartes de vulnérabilité :  
Les cartes à l'échelle 1:100 000 donnent le degré de vulnérabilité pour la pollution de la nappe phréatique dans l'aquifère supérieure. Une couche est considérée comme un aquifère si son épaisseur et sa surface sont assez importantes pour pouvoir y capter de l'eau de manière rentable (débit min. 4 m<sup>3</sup>/h).

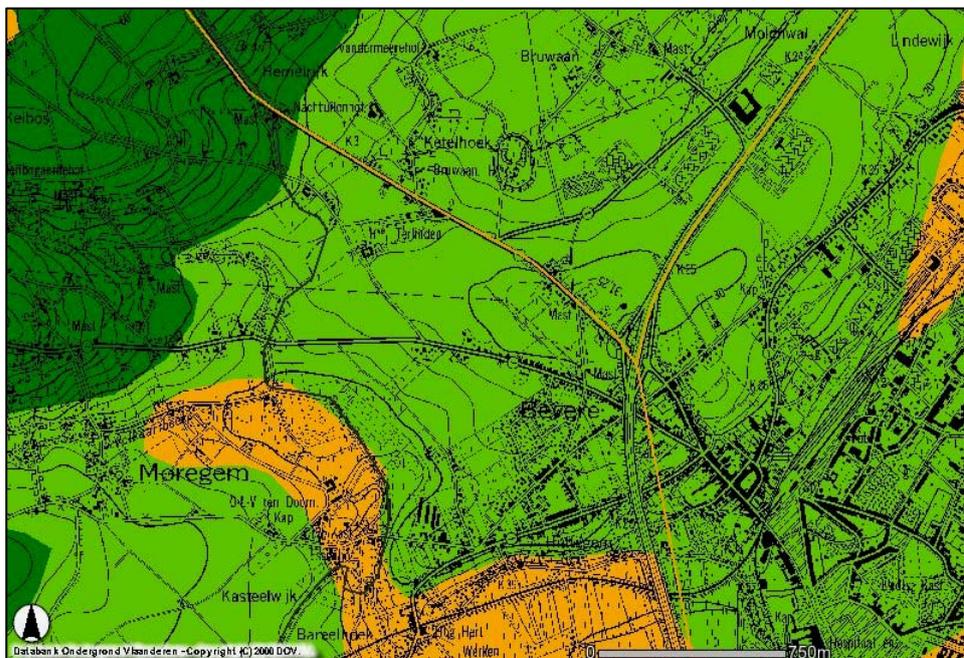


Figure 7 : Cartes de vulnérabilité des nappes phréatiques

6. Cartes historiques (cartes Ferraris), anciennes cartes de ville,...



Figure 8 : Cartes Ferraris

7. Cartes de salinité du sous-sol:  
Ces cartes (échelle 1:100 000) sont disponibles pour la région côtière et une partie de la Flandre. Elles donnent la profondeur de la frontière entre l'eau douce et l'eau saline.

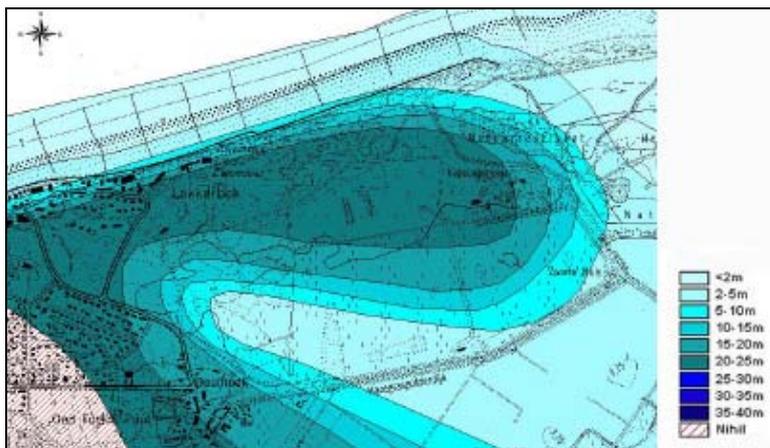


Figure 9 : Cartes de croissance de la salinité

8. Cartes hydrogéologiques :
- Pour la région wallonne, des cartes sont disponibles à l'échelle 1:25 000. Elles contiennent entre autres de l'information relative à la nature et l'importance des aquifères, aux niveaux d'eau et à l'écoulement de l'eau, au captage d'eau, mais aussi aux résultats des études hydrogéologiques locales. Un nombre de cartes sont gratuitement téléchargeables (<http://environnement.wallonie.be>), les autres sont à consulter auprès de la région wallonne.
9. Cartes avec des profilés type des dépôts côtiers de l'Holocène
- Ces cartes à l'échelle 1:25 000 comportent 2 feuilles :
- La carte générale où les dépôts côtiers de l'Holocène sont donnés sous la forme de profilés type. Des coupes transversales géologiques illustrent la composition variée du sous-sol,
  - Une carte isohypse de la base des dépôts côtiers de l'Holocène, dépôts qui sont fortement sensibles au tassement.

De plus, on peut prendre des informations sur les fondations des constructions qui se trouvent dans la zone d'influence du rabattement.

Ensuite, des informations doivent aussi être rassemblées sur l'éventuelle existence de pollution et sur la présence de zone de captage d'eau dans les alentours.

Le concepteur écrit un rapport de ces travaux de recherche. Dans ce rapport, la structure géologique et lithographique du site en question doit être reproduite. La séquence et les épaisseurs des différentes couches perméables et peu perméables doivent être mentionnées. Le concepteur doit donner des recommandations sur l'exécution de la reconnaissance géotechnique : une reconnaissance minimale (voir plus loin) est-elle suffisante ou bien une reconnaissance plus étendue est-elle nécessaire ? Naturellement, ces recommandations peuvent s'ajuster par la suite lorsqu'il s'avère que les résultats de la reconnaissance géotechnique divergent des conclusions de l'enquête préliminaire.

## 2 Reconnaissance géotechnique

Le concepteur doit procéder à une reconnaissance géotechnique, à percevoir comme un complément nécessaire aux données géologiques et hydrogéologiques collectées lors de l'enquête préliminaire.

La reconnaissance géotechnique peut comporter un ou plusieurs des tests suivants :

- essais de pénétration statique
- forages
- mesures des niveaux d'eau avec des piézomètres
- essais de pompage
- essais de perméabilité au départ d'un piézomètre ou d'un puits de pompage (essais ponctuels)
- essais de dissipation par sondage au piézocône
- essais de laboratoire sur échantillons remaniés et/ou non remaniés

### 2.1 Directives pour l'exécution

 Ci-dessous sont présentés quelques points prioritaires pour le placement des piézomètres et l'exécution des forages et des essais de pénétration statique. Des directives plus complètes à cet égard, ainsi que des directives sur l'exécution d'autres types de reconnaissance géotechnique sont données dans l'annexe A.

#### 2.1.1 Essais de pénétration statique

Les essais de pénétration sont effectués en accord avec les normes et les directives les plus récentes. Au moment de la parution de ces directives-ci, ce sont les circulaires du MET 514-A/50 (essai de pénétration statique au cône mécanique) [4] et 514-A/51 (essai de pénétration statique au cône électrique) [5] et la norme NBN EN ISO 22476-12 [8] (essai de pénétration statique au cône mécanique). La norme européenne concernant l'essai de pénétration statique au cône électrique NBN EN ISO 22476-1 [7] n'est pas encore disponible au moment de la parution de ces directives-ci.

De préférence, exécuter des essais de pénétration électriques.

En ce qui concerne la profondeur des CPT, il est proposé qu'elle soit au minimum égale à deux fois la profondeur d'excavation; si des écrans peu perméables ou

étanches sont prévus, un certain nombre de CPT doivent être effectués jusqu'à une profondeur suffisante dans la couche imperméable (min. 2 m).

⚠ Le niveau où l'eau s'est stabilisée dans le trou de sondage fournit uniquement une indication du niveau d'eau possible à ce moment. Ce niveau peut être erroné ou imprécis, en particulier dans le cas où l'essai de pénétration passe dans plusieurs aquifères.

### 2.1.2 Forages

Les forages sont exécutés conformément à la norme NBN EN ISO 22475-1 [9].

Des forages ont pour but de décrire plus précisément la nature du sol, et de prélever des échantillons de sol en vue d'une recherche ultérieure en laboratoire. Un échantillonnage soigné (des échantillons remaniés et non remaniés) est primordial.

⚠ Des forages à l'eau ne sont pas adaptés ici.

Des forages sont de préférence exécutés dans l'environnement immédiat d'un essai de pénétration (CPT) déjà exécuté.

On distingue :

- des forages avec échantillonnage discontinu
- des forages avec échantillonnage continu

En principe, un piézomètre est placé dans le trou de forage.

Des directives relatives au rapport de forage sont données à l'annexe A.

### 2.1.3 Mesures du niveau d'eau à l'aide de piézomètres

A l'aide de piézomètres, le niveau d'eau dans le sol peut être relevé et suivi sur une période pertinente.

Les piézomètres doivent être placés et les mesures doivent être effectuées selon la norme NBN EN ISO 22475-1 [9].

La localisation du piézomètre et la hauteur à laquelle le massif filtrant doit être réalisé sont de préférence déterminées après l'exécution des essais de pénétration in situ.

Au-dessus du filtre et au niveau des couches peu perméables un bouchon d'argile est toujours prévu. Un massif filtrant doit être prévu jusqu' à 1 m au-dessus du filtre.

Le niveau d'eau dans les piézomètres doit être relevé régulièrement et dès que possible : au moins après 1 et 2 mois après la mise en place des piézomètres et ensuite par exemple une fois tous les 2 mois.

Lorsque plusieurs nappes se superposent, un piézomètre doit être placé dans chacune des couches ; les piézomètres doivent être placés dans des trous de forage séparés, comme indiqué à la figure 10. S'il est tout de même décidé de placer plusieurs piézomètres dans un trou de forage, l'exécution doit être particulièrement soignée. Dans les deux cas, il faut à tout prix éviter qu'une jonction soit créée entre les aquifères.

⚠ Les piézomètres qui sont enfoncés avec un camion de sondage ou qui sont placés dans un trou d'un forage de reconnaissance, peuvent seulement être utilisés pour la détermination du niveau d'eau, et cela uniquement pour les nappes libres. Ils ne peuvent pas être utilisés pour la détermination de la perméabilité. Les piézomètres qui sont placés par le biais d'un forage à eau peuvent être utilisés pour la détermination de la perméabilité.

⚠ Les piézomètres peuvent seulement être utilisés dans des couches bien perméables; dans des couches peu perméables, la pression d'eau peut être mesurée au moyen d'un capteur de pression d'eau.

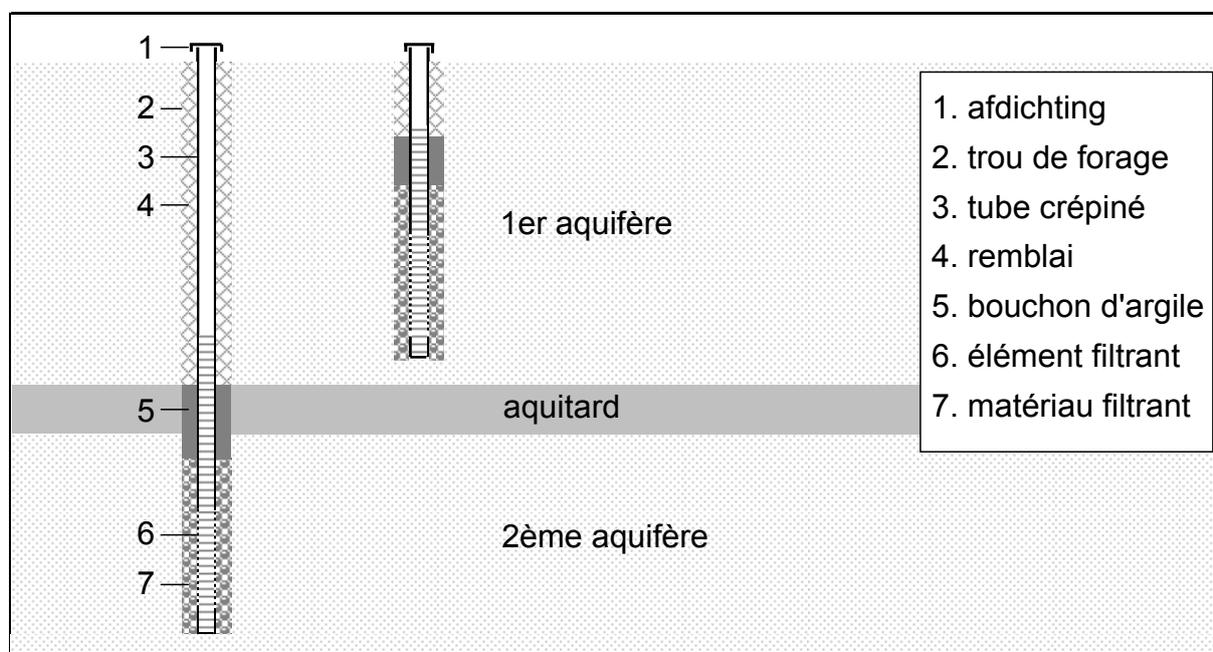


Figure 10 : Piézomètres

Les résultats des mesures doivent être communiqués sous forme de tableau et de diagrammes, avec indication de toutes les données nécessaires. Un exemple de tableau est fourni en annexe A.

## **2.2 Essais de rabattement**

Le débit de pompage futur ainsi que la capacité du filtre peuvent être déterminés à partir d'un essai de rabattement. Avec ces données, le rabattement peut être dimensionné. L'amplitude attendue du rabaissement de la nappe dans le voisinage, causé par le rabattement, peut également être évaluée.

Pour un essai de rabattement, un ou plusieurs points de pompage sont installés, dans la même couche et à la même profondeur que le futur rabattement. Au sein de ces points de pompage, l'eau est extraite pendant un temps déterminé et les débits sont mesurés. Si on désire également des informations en rapport avec le rabaissement attendu du niveau des eaux, des piézomètres doivent être installés à différentes distances du (des) point(s) de pompage, dans ces couches au sein desquelles on souhaite connaître l'effet du rabattement. Les piézomètres sont relevés.

NOTE : Un essai de rabattement dure en général environ une semaine. La fréquence de mesurage peut être la même que celle d'un essai de pompage (voir plus loin).

NOTE : L'installation mise en oeuvre peut également servir pour le rabattement même.

NOTE : Un essai de rabattement n'est pas un essai du fonctionnement de l'installation de rabattement ; un rabattement préliminaire a pour but de tester l'installation de rabattement en termes d'efficacité, avant de commencer avec le véritable rabattement et l'excavation.

## **2.3 Détermination du type et du nombre d'essais**

Pour chaque projet de rabattement, une reconnaissance géotechnique doit être effectuée. Le nombre et la nature des essais sont déterminés par le concepteur en fonction de la catégorie du travail à effectuer ; cette catégorie tient compte de l'impact et du risque du rabattement.

En tous cas, une reconnaissance géotechnique minimale doit être prévue avec deux essais de pénétration statique ainsi que le placement et la mesure d'un piézomètre par couche perméable (ceci est en accord avec la reconnaissance géotechnique exigée pour la catégorie 0). Les piézomètres peuvent être mis en place par un camion CPT.

### 2.3.1 Détermination de la catégorie d'un travail

Il y a lieu d'attribuer différents points en fonction de la stratigraphie, de la facilité de réaliser un rabattement, de la hauteur sur laquelle l'eau est rabattue, de la présence de constructions dans le voisinage et de la durée du rabattement. La somme de ces points détermine la catégorie à laquelle appartient le rabattement. A chaque catégorie est associé le type et le nombre minimal d'essais qui doivent être effectués.

- Stratigraphie (sensibilité aux tassements) : échelle de 0 (risque le plus faible) à 4 (risque le plus élevé). Le risque est déterminé par la présence éventuelle (ou le soupçon de la présence) de tourbe, d'argile molle, de remblai, de nappe captive ou semi-captive.

0 = aucun de ces facteurs n'est présent

1 = présence ou soupçon de présence d'argile molle OU de remblai

2 = présence ou soupçon de présence d'argile molle ET de remblai

3 = présence ou soupçon de présence de nappe captive ou semi-captive, avec ou sans d'autres facteurs

4 = présence ou soupçon de présence de tourbe

- La facilité à réaliser un rabattement : échelle de 1 (risque le plus faible) à 3 (risque le plus élevé).

1 = aquifère très perméable

2 = aquifère peu perméable

3 = alternance d'aquifères très perméables et peu perméables

NOTE : En réalité, c'est la transmissivité qui détermine la quantité d'eau qui peut être transmise. La transmissivité ( $l/s \cdot m$ ) est le produit de la perméabilité par l'épaisseur de la couche. Par exemple : une couche fine possédant un coefficient de perméabilité élevé et une couche épaisse possédant un coefficient de perméabilité faible peuvent avoir la même transmissivité.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

- Hauteur à rabattre (définition : voir fin du document) : échelle de 1 (risque le plus faible) à 3 (risque le plus élevé).

1 = hauteur à rabattre < 3 m

2 = hauteur à rabattre 3 à 6 m

3 = hauteur à rabattre > 6 m

- Risque de dégâts aux constructions voisines : échelle de 1 (risque le plus faible) à 3 (risque le plus élevé).

Pour des constructions classiques, on applique :

- 0 = aucune construction dans un rayon inférieur à 1 km
- 1 = des constructions dans un rayon compris de 50 m à 1 km
- 2 = des constructions dans un rayon compris de 20 m à 50 m
- 3 = des constructions dans un rayon inférieur à 20 m

En fonction du type de constructions (immeuble à appartement, vieux bâtiments,...) une cotation plus élevée peut être utilisée. De même, pour de petites constructions à faible risque ou bien des constructions sur fondations profondes on peut éventuellement appliquer une cotation plus faible voire même une cotation zéro.

NOTE : Pour la cotation, on peut s'inspirer par exemple du SBR Meet- en beoordelingsrichtlijn 1 « Trillingen – Schade aan gebouwen » [10] qui répartit les constructions en différentes classes.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

- Durée du rabattement : échelle de 1 (risque le plus faible) à 3 (risque le plus élevé).
- 1 = durée du rabattement inférieur à 2 mois
  - 2 = durée du rabattement de 2 à 6 mois
  - 3 = durée du rabattement supérieur à 6 mois

Remarques générales :

La valeur des facteurs peut aussi bien être augmentée que diminuée, si celle-ci peut être justifiée, par exemple :

- si on est certain au préalable qu'un écran peu perméable sera prévu ou qu'une réalimentation sera d'application, les valeurs des facteurs peuvent être ajustés en tenant compte de l'efficacité de ces dispositions,
- pour des sols fortement hétérogènes, il est conseillé d'accorder des valeurs augmentées.

En présence (supposée) de pollution, une reconnaissance géotechnique plus détaillée peut être utile ou même indispensable.

La catégorie du rabattement est alors déterminée par la somme de ces 5 valeurs :

- catégorie 0 :  $\leq 5$  points
- catégorie 1 : 6 à 9 points
- catégorie 2 : 10 à 12 points
- catégorie 3 : 13 à 16 points

### 2.3.2 Reconnaissance géotechnique minimale en fonction de la catégorie de travail à effectuer

En fonction de la catégorie de travail à effectuer, la reconnaissance géotechnique à effectuer est la suivante :

NOTA : A cet effet, les essais de pénétration statique effectués dans le cadre de l'étude générale du projet peuvent être utilisés.

#### ▪ Catégorie 0 :

Pour un travail de catégorie 0, la reconnaissance géotechnique minimum minimum doit être au moins effectuée, c.-à-d. 2 CPT et 1 piézomètre par aquifère.

#### ▪ Catégorie 1 :

Pour un travail de catégorie 1, des CPT et des mesures piézométriques devront être prévues.

Le nombre de CPT est fonction de l'étendue de la surface à rabattre : pour des rabattements linéaires, il faut prévoir au minimum 1 CPT par 50 m ; pour des rabattements 2D, il faut prévoir 1 CPT par 500m<sup>2</sup>. Cependant, le nombre ne peut jamais être inférieur au nombre correspondant au minimum minimum (c.-à-d. 2).

Le nombre de piézomètres est fonction de l'étendue de la surface à rabattre : pour des rabattements 1D (linéaires), il faut prévoir au minimum 1 piézomètre par aquifère par 200 m ; pour des rabattements 2D il faut prévoir 1 piézomètre par aquifère par 2000m<sup>2</sup>. Cependant, le nombre ne peut jamais être inférieur au nombre correspondant au minimum minimum (c.-à-d. 1 par aquifère).

#### ▪ Catégorie 2 :

Pour un travail de catégorie 2, des CPT, des mesures piézométriques et des forages devront être prévus.

Le nombre de CPT et de piézomètres sera déterminé par le concepteur sur base des résultats de l'enquête préliminaire ; il ne peut en aucun cas être inférieur au nombre en vigueur à la catégorie 1.

Le concepteur doit prévoir au minimum un forage.

NOTE : Les forages exécutés dans le cadre de l'étude générale du projet peuvent être utilisés.

- Catégorie 3 :

Pour un travail de catégorie 3, des CPT, des mesures piézométriques et des forages devront être prévus. Le concepteur décide si oui ou non des essais de pompage sont nécessaires. Il doit appuyer sa décision.

Le nombre de CPT, de piézomètres et de forages doivent être déterminés sur base des résultats de l'enquête préliminaire, mais ne peut en aucun cas être inférieur au nombre en vigueur pour la catégorie 2.

### **3 Rapport d'évaluation de l'enquête préliminaire et de la reconnaissance géotechnique**

Les résultats de la reconnaissance géotechnique doivent être analysés par le concepteur, et mis en parallèle avec ceux de l'enquête préliminaire. A nouveau, un rapport doit être rédigé.

Le concepteur peut décider (par ex. dans le cas de grandes différences entre les résultats de l'enquête préliminaire et la reconnaissance géotechnique) de faire des essais supplémentaires (CPT, piézomètres, forages et/ou essais de pompage) ou complémentaires (essai de rabattement, essais en laboratoire, essais de perméabilité,...).

Exceptionnellement, des essais de reconnaissance géotechnique supplémentaires peuvent être prévus dans le cahier des charges. Cela concerne alors des essais supplémentaires qui n'ont pas pu être réalisés (par ex. pour des raisons d'inaccessibilité) lors de la campagne de reconnaissance de sol et qui ont pour but de confirmer ou contrôler les hypothèses de base de la conception du rabattement. Dans ce cas-là, la nature, le nombre, la localisation et la profondeur de ces essais sont donnés dans le cahier des charges. Le concepteur évaluera de nouveau la conception du rabattement après la réalisation de cette reconnaissance géotechnique supplémentaire. Si nécessaire, il adaptera la conception.

## 4 Détermination du coefficient de perméabilité et des autres paramètres hydrauliques

Le concepteur doit déterminer le coefficient de perméabilité et si nécessaire les autres paramètres hydrauliques.

Le coefficient de perméabilité peut être déterminé à partir :

1. des données existantes
2. de la courbe granulométrique
3. des essais ponctuels
4. des essais de pompage
5. des essais de perméabilité en laboratoire
6. des essais avec un piézocône (essais de dissipation)
7. des essais de compression oedométrique
8. d'une analyse inverse

Dans le tableau 1, les essais ont été classés selon leur fiabilité dans la détermination du coefficient de perméabilité. L'indice 1 signifie que l'essai est le plus fiable tandis que la fiabilité diminue à mesure que l'indice augmente.

Des coefficients de perméabilité déduits d'essais qui ont un score de 1 ou 2, peuvent être utilisés tels quels dans les calculs. Des coefficients de perméabilité déduits d'essais qui ont un score  $\geq 3$ , doivent être comparés à d'autres données disponibles (locales et/ou régionales) ; la valeur la plus adaptée sera choisie sur base du jugement de l'ingénieur (et d'une analyse de la sensibilité). Si les résultats de l'analyse de sensibilité montrent que l'impact du choix des paramètres hydrauliques est très important, le concepteur décidera de faire réaliser des essais correspondant à un score de 1 ou 2.

 Au cas où on n'a pas de données locales concernant la perméabilité, il est conseillé de réaliser un forage avec échantillonnage continu et de déterminer la granulométrie des couches qui contiennent à première vue les grains les plus grossiers et/ou qui ont la teneur la plus faible en fines.

 Il est conseillé de limiter les essais de perméabilité en laboratoire aux sols cohésifs, puisqu'ils ont tendance à fortement sous-estimer la perméabilité des couches de sol sableux. Pour les couches cohésives, les résultats de perméabilité doivent également être interprétés dans un cadre plus large de la reconnaissance complète, en portant attention à l'anisotropie et la représentativité du volume limité de l'échantillon. Quand de tels résultats d'essai de laboratoire sont disponibles, il est conseillé d'indiquer qu'ils ne peuvent pas être utilisés comme unique source d'information concernant la perméabilité, et qu'on doit manier les résultats avec la prudence requise.

Type d'essai	Pour les sols pulvérulents	Pour les sols cohésifs
Détermination directe		
Essai de pompage	1	(2)*
Essai de perméabilité dans un trou de forage**	2	-
Essai de perméabilité en laboratoire : perméamètre à charge variable	-	3
Essai de perméabilité en laboratoire : perméamètre à charge constante	5	-
Essai de perméabilité en laboratoire : flexible wall permeameter	-	2
Détermination indirecte		
A partir de la granulométrie (d <sub>10</sub> )	3	-
A partir d'essais de compression oedométriques	-	4
A partir d'essais de dissipation (sondage au piézocône)	-	3
A partir d'une analyse inverse (modélisation de l'écoulement)	3	3
A partir de données disponibles	3 à 4	3 à 4

Tableau 1 : Fiabilité des essais de détermination de la perméabilité

\*la perméabilité verticale d'une couche peu perméable comprise entre 2 aquifères peut aussi être déduite d'un essai de pompage

\*\* lorsqu'un forage est tubé, le sol est « lissé » le long de la paroi du forage. En conséquence, la perméabilité mesurée peut être plus faible que la perméabilité réelle.

Sur base de la courbe de granulométrie, plusieurs formules d'estimation sont disponibles pour la détermination du coefficient de perméabilité, dont quelques-unes sont données en annexe B. Elles se basent sur des valeurs caractéristiques comme les diamètres de grains  $d_{10}$ ,  $d_{60}$ ,  $d_{50}$  (définitions en fin du document) et sur le coefficient d'uniformité  $U = d_{60} / d_{10}$ . Les diverses méthodes doivent être utilisées en portant attention à leur limite d'application.

La formule de Hazen [10, 11] est la plus connue :

$$k = 0.116 d_{10}^2$$

avec :

$k$  = coefficient de perméabilité (m/s)

$d_{10}$  = diamètre de grain actif (mm)

Cette formule est valable pour la perméabilité vis-à-vis de l'eau dans un sable moyennement compact avec  $d_{10} = 0.1$  à  $0.6$  mm et  $U = 3$  à  $5$ .

Ensuite, on peut déterminer :

- \* gradient hydraulique
- \* transmissivité
- coefficients d'emmagasinement

## 5 Conception du rabattement

Le concepteur :

- intègre les mesures des niveaux d'eau
- détermine le choix de la méthode de rabattement
- détermine dans quelle(s) couche(s) il faut pomper et jusqu'à quel niveau
- détermine si des écrans doivent être prévus et le cas échéant, la profondeur de celui-ci
- détermine si une réalimentation est nécessaire

### 5.1 Intégration des mesures des niveaux d'eau

Le concepteur définit les niveaux d'eau au repos :

- la valeur caractéristique du (des) niveau(x) d'eau au repos qui fut utilisée pour le dimensionnement du rabattement ; sous réserve de variations saisonnières importantes, en général, les valeurs caractéristiques des niveaux d'eau peuvent être prises égales aux valeurs mesurées moyennes
- le niveau d'eau historique minimal (connu ou supposé) dont on tient compte dans la détermination de l'influence du rabattement sur les environs (tassements)
- les valeurs caractéristiques des niveaux d'eau qui sont retenus pour les divers contrôles de stabilité (voir plus loin) dans les différentes phases de construction et pour la construction définitive (long terme) ; en général, comme valeurs caractéristiques, une estimation sécuritaire du niveau d'eau le plus élevé et du plus grand gradient hydraulique (voir définition) possible entre les différentes couches de sol doit être faite

 Les niveaux d'eau utilisés pour la conception du rabattement sont en général différents des niveaux d'eau qui sont émis pour le contrôle du soulèvement lié aux surpressions d'eau.

Si nécessaire, le gradient hydraulique naturel de la nappe phréatique sera déduit en même temps des mesures de niveaux d'eau.

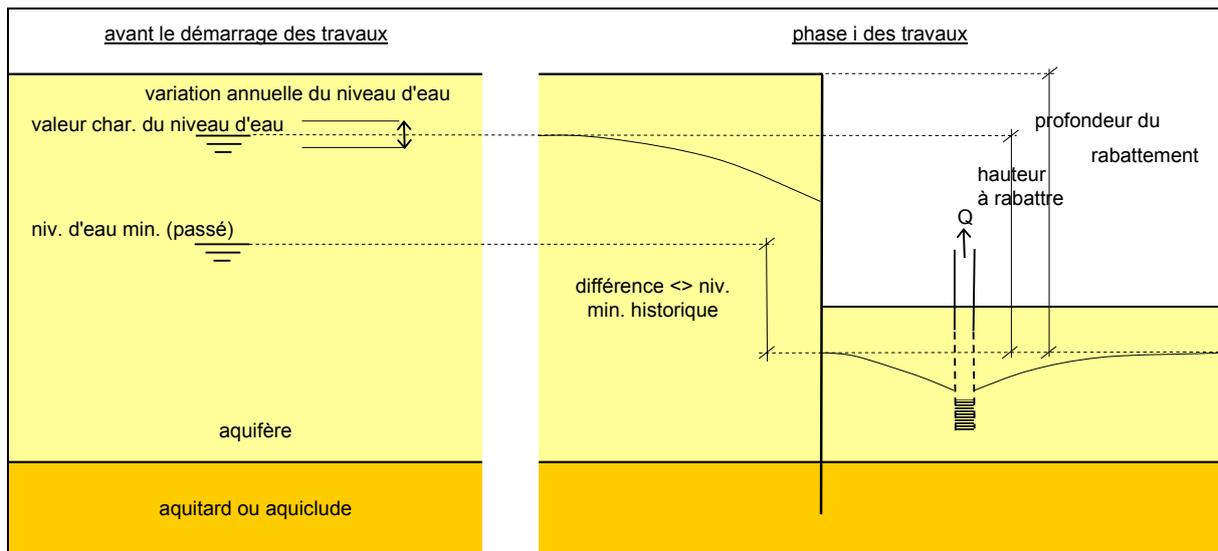


Figure 11 : Niveaux d'eau caractéristiques

Le concepteur décide si, en complément des niveaux d'eau dans le sol, des niveaux d'eau caractéristiques doivent également être mentionnés pour les bassins, les rivières, les fleuves,... qui influencent le dimensionnement du rabattement, et ce sur base des mesures, ou bien sur base des informations disponibles. En général, on peut appliquer à cet effet le niveau d'eau moyen et la hauteur des marées moyenne.

## 5.2 Choix de la méthode de rabattement

Sur base des informations collectées et reçues, le concepteur détermine la méthode de rabattement, les couches desquelles l'eau sera extraite et la hauteur d'eau à rabattre. Ce choix dépend :

- des conditions du sol et de l'eau dans le sol
- des caractéristiques du projet, c.-à-d. la profondeur d'excavation et l'ampleur du rabaissement du niveau d'eau à effectuer
- de l'éventuelle nécessité de limiter l'influence du rabattement sur les environs
- des exigences en terme environnemental (pollution)
- de la méthode d'exécution de la construction

On fait la distinction entre :

- un rabattement à ciel ouvert : l'eau qui sort des talus et du fond de fouille est récoltée dans une rigole et pompée
- un rabattement avec des éléments filtrants verticaux :
  - rabattement avec puits filtrants ; ceux-ci sont connectés à une conduite générale à laquelle est connectée une pompe
    - avec puits filtrants ouverts
    - avec puits filtrants fermés (sous-pression réalisée avec une pompe à vide)
  - rabattement avec pompes immergées : en bas de chaque puits, une pompe est installée
- un rabattement avec drains horizontaux : les tubes de drainage sont placés dans des tranchées et l'eau est évacuée éventuellement via un puits de pompage
- un rabattement dans une nappe captive, qui a pour but de diminuer la hauteur piézométrique dans la couche, afin d'éviter le soufflage (voir plus loin)

Pour une description détaillée des procédures d'exécution, le domaine d'application et les limites des différentes méthodes, se référer à la littérature [12, 13].

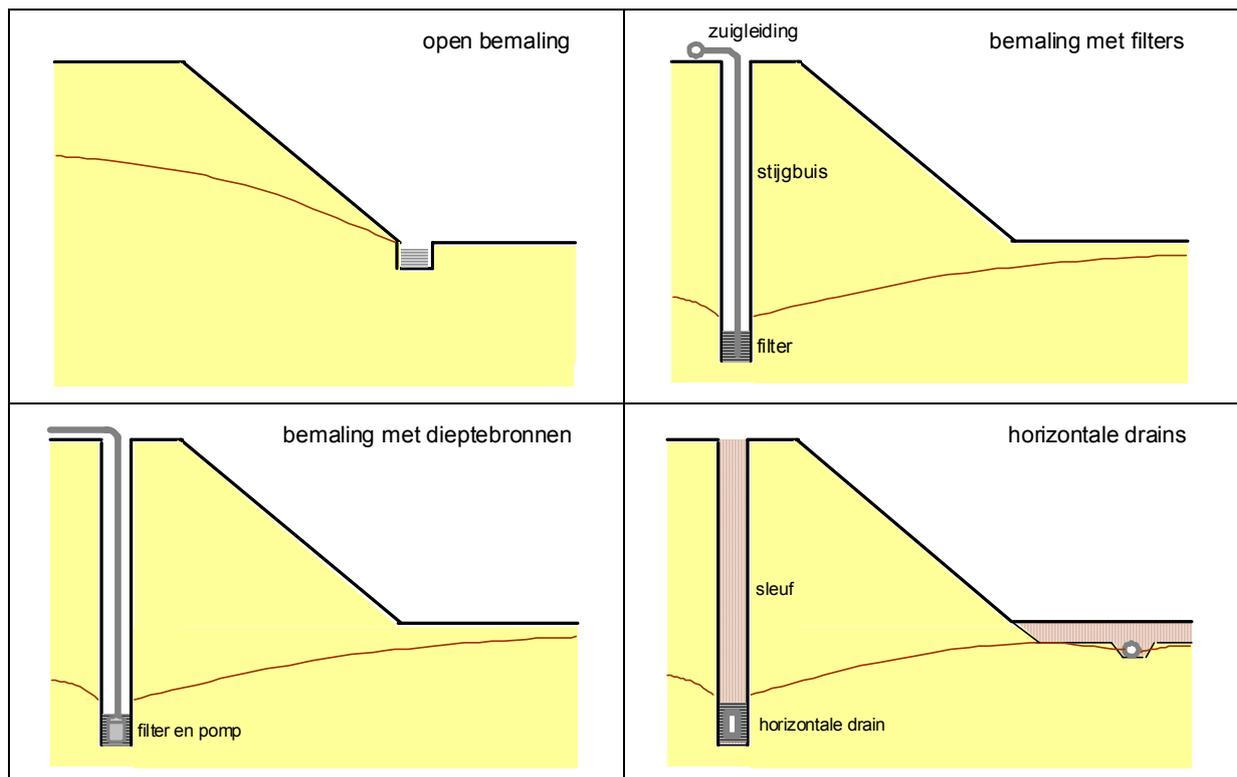


Figure 12 : Méthodes de rabattement

## 5.3 Mesures de protection

Le concepteur décide sur base des informations collectées et reçues si des mesures de protection sont nécessaires.

Les mesures de protection utilisées pour limiter l'influence du rabattement sur les environs peuvent être subdivisées en 4 groupes :

- la réalisation d'un écran vertical peu perméable
- une couche peu perméable horizontale naturelle ou artificielle
- la réalimentation en eau des sols dans les alentours au moyen de réinjection ou d'infiltration en surface
- mesures pour limiter le temps de rabattement

### 5.3.1 Ecrans verticaux et couches peu perméables horizontales

Différents types d'écrans peu perméables ainsi que des valeurs indicatives pour leur résistance hydraulique (en cas d'exécution soignée !) sont fournies dans l'annexe informative C.

Un écran peu perméable doit être réalisé sur l'ensemble du pourtour de l'excavation et ne peut pas être interrompu par exemple à l'endroit d'une conduite. Autrement, la circulation d'eau à travers l'ouverture dans l'écran doit être considérée dans les calculs.

Pour être efficace, les écrans peu perméables doivent être exécutés jusqu'à une profondeur suffisante dans la couche peu perméable. Le concepteur détermine le niveau de la base de l'écran. Une profondeur minimale de 1.50 m dans l'aquitard ou l'aquiclude est recommandée. Cette valeur est éventuellement à majorer en fonction de la perméabilité de la couche, le gradient hydraulique et/ou la variation du niveau supérieur de la couche. Cela permet alors (moyennant contrôle du risque de soufflage : voir plus loin) de réaliser des rabaissements de nappe par extraction d'eau à l'intérieur d'une fouille semi-fermée, avec de cette manière un débit d'extraction limité et une influence minime sur les environs.

En cas d'absence d'une telle couche peu perméable ou bien si une telle couche se trouve à trop grande profondeur, il est possible de mettre en place une couche peu perméable artificielle par le biais par exemple d'injections sous faible pression (permeation-grouting) ou bien par des colonnes sécantes de Jetgrouting.

NOTE : Une solution alternative consiste à exécuter sous eau l'excavation à l'intérieur d'écrans peu perméables et couler sous eau une dalle de béton. Une telle solution nécessite une étude spéciale.
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

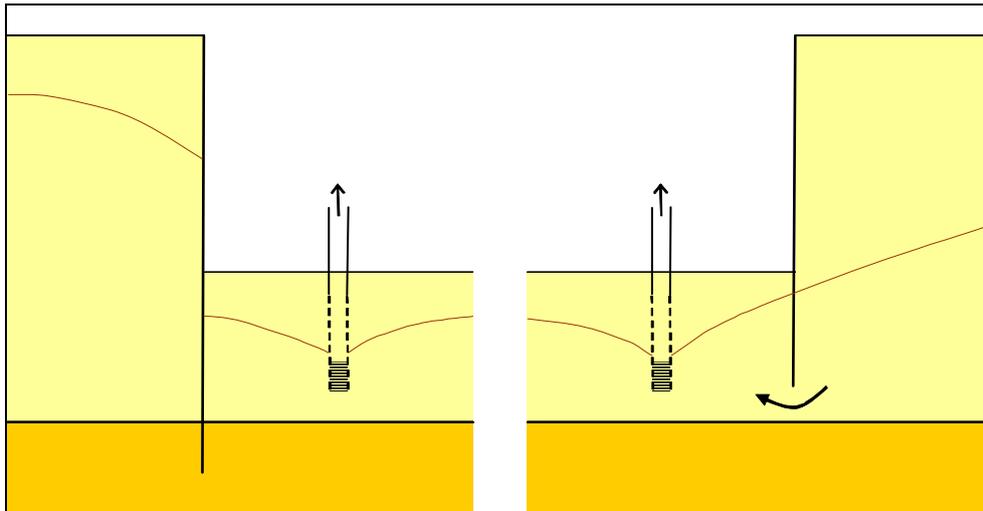


Figure 13 : Ecran réalisé jusque dans une couche peu perméable (gauche) ou non (droite)

L'usage des barrières verticales ou horizontales mentionnées ci-dessus ne limite pas uniquement le rabattement (tant en profondeur qu'en distance) du niveau de la nappe dans les alentours. Les barrières ont en même temps toute une série d'effets favorables supplémentaires :

- \* une diminution du volume de sol asséché (drainé), et par conséquent un temps de rabattement exigé plus court avec un débit plus faible pour atteindre le rabattement de la nappe exigé
- \* une diminution du débit de pompage en régime, et par conséquent des coûts de matériel et d'énergie plus faibles et une quantité d'eau à évacuer plus faible
- dans le cas de sol ou de nappe pollué : d'une part, un faible déplacement de pollution dans les alentours, et d'autre part, moins d'eau pollué à évacuer après épuration

### 5.3.2 Réalimentation

Comme alternative, ou parfois en combinaison avec les écrans de protection mentionnés ci-dessus, un rabattement avec réalimentation peut être opéré. La faisabilité d'une telle réalimentation doit être examinée par le concepteur, en tenant compte des résultats de l'analyse de risque, du coût, des espaces disponibles, de l'applicabilité technique,...

L'application d'une réalimentation engendre une augmentation du gradient hydraulique en direction de l'excavation, et par conséquent une augmentation du débit d'extraction exigé, surtout en cas d'absence d'un écran peu perméable entre la zone d'extraction et la zone réalimentée. Afin d'éviter un pompage excessif, en cas d'absence d'écran peu perméable, une entre-distance minimale entre les puits d'extraction et d'injection doit être respectée. Quand un écran peu perméable est présent, on peut réalimenter juste derrière l'écran.

⚠ La conception doit tenir compte d'une augmentation éventuelle de la capacité de l'installation de rabattement à cause de la réalimentation.

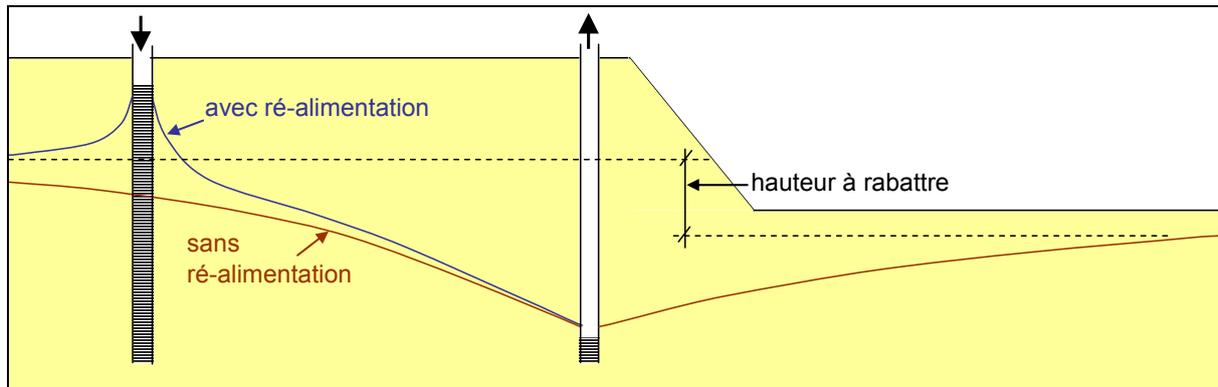


Figure 14 : Réalimentation en absence d'un écran peu perméable

Le choix des couches dans lesquelles se fait la réalimentation est basé sur un effet maximal de réduction des tassements et/ou du déplacement des pollutions suite au rabattement.

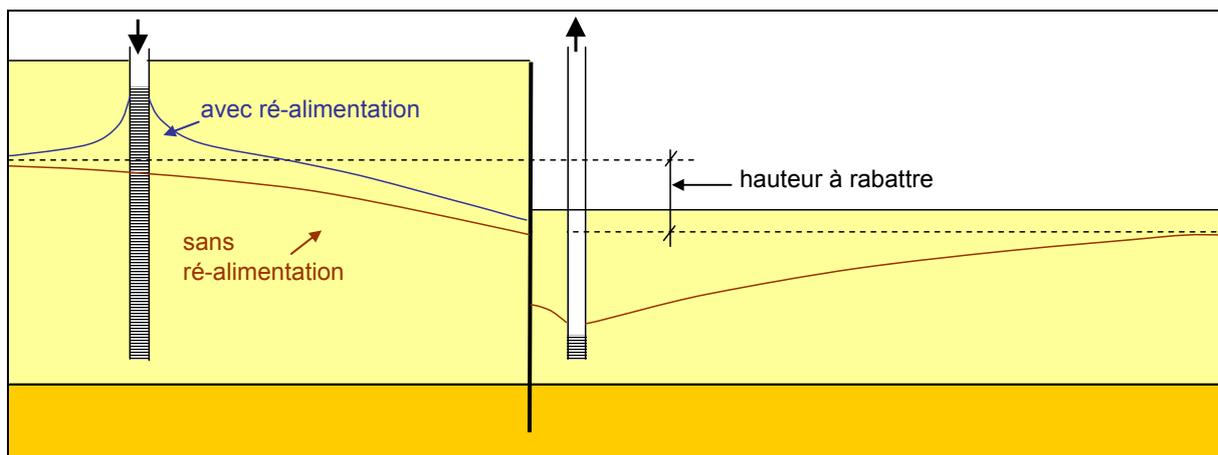


Figure 15 : Réalimentation en présence d'un écran peu perméable

Pour un rabattement avec réalimentation, il est important que l'eau pompée ne contienne pas trop de particules de sol. C'est pourquoi, l'indice de filtre-membrane doit être déterminé.

**NOTE :**

Pour la détermination de l'indice de filtre-membrane, une partie de l'eau extraite passe par un filtre-membrane de  $0,45 \mu\text{m}$  sous une pression de 2 bars. L'indice de filtre-membrane correspond au temps de filtration divisé par la quantité de l'eau filtrée au carré ( $\text{s/l}^2$ ). Si nécessaire, le concepteur détermine la valeur limite. En général, quand la valeur de l'indice de filtre-membrane ne dépasse pas 5 à 10, l'eau est apte pour la réalimentation et il n'y aura pas de colmatage exceptionnel.

Si l'indice de filtre-membrane est trop élevé, des mesures doivent être prises. On peut décider de ne pas réalimenter ou, si le problème se situe à l'endroit d'un puits bien spécifique, de régénérer un puits ou de forer un nouveau puits.

Parallèlement, l'eau pompée ne peut pas contenir trop de gaz. Ceci peut être contrôlé au moyen d'un essai de dégazage.

NOTE : Pour un essai de dégazage, l'eau du sol est pompée sous pression à l'aide d'une pompe sous eau et est acheminée dans un récipient en verre, où la formation de poches de gaz à différents niveaux de pression est examinée.

Tous les conduits et les connections doivent être exécutés tels que l'aération de l'eau soit évitée le plus possible.

Comme alternative aux éléments verticaux de réalimentation, une réalimentation gravitaire en surface peut parfois être appliquée au moyen de drains horizontaux ou verticaux superficiels, ou bien de fossés ou de bassins d'infiltration temporaires. A cet effet, il faut tenir compte du fait que la vitesse d'infiltration, et par conséquent l'efficacité de la réalimentation de ces systèmes, diminue en règle générale avec le temps à cause de (1) l'obturation ou la pollution des drains ou (2) la formation d'une couche de boue imperméable sur le fond du fossé ou du bassin.

### **5.3.3 Mesures pour limiter la durée du rabattement**

Limiter la durée du rabattement, permet de limiter l'influence du rabattement sur les environs.

Une mesure possible consiste à mettre en place avant l'excavation de la fouille, des éléments de traction verticaux et à y attacher le radier. Les éléments de traction et le radier sont dimensionnés tel que le rabattement puisse être arrêté aussi tôt que les murs de cave sont élevés. En opérant de cette manière, on peut éviter de pomper encore pendant une très longue période jusqu'à ce que le poids de la construction soit suffisamment élevé pour empêcher le soulèvement de la structure.

## **5.4 Modélisation de l'eau dans le sol**

### **5.4.1 Modèle de calcul hydrogéologique**

Le concepteur établit un modèle de calcul hydrogéologique. Les complexité des modèles peut s'étaler de modèles très simples (calculs manuels) à des modèles très compliqués utilisant des programmes de calcul performants. On différencie :

- les calculs analytiques simples, réalisés quasi manuellement, avec l'application de formules analytiques pour le calcul des débits et des rabaissements des niveaux d'eau

Les programmes de calcul analytiques spécifiques, utilisés pour le calcul du rabaissement du niveau de la nappe avec l'application d'un ou de plusieurs éléments d'extraction verticaux ou horizontaux dans un système à une ou plusieurs couches ;



## 5.5 Contrôle de la stabilité au sein et aux alentours de la fouille

Parallèlement à l'analyse des tassements dans les environs engendrés par le rabattement (voir §5.6.2), le concepteur doit également considérer d'autres aspects de stabilité liés au rabattement de la nappe, à savoir :

- la sécurité contre le soufflage (figure 17)
- la stabilité des bords de l'excavation, que ce soit une paroi de soutènement ou bien un talus
- bouillonnement par le fond de fouille, les ouvertures éventuelles dans la paroi ou le long du fût des pieux
- effet Renard
- les pressions d'eau ascendantes qui s'appliquent sur les fondations des constructions lorsque le rabattement de la nappe est diminué ou interrompu pendant les phases ultérieures ou finale
- l'éventuelle instabilité engendrée par la présence de pression d'eau lors de la réalisation d'une paroi de soutènement (par ex. stabilité d'un mur emboué rempli de bentonite, les éboulements pendant le coffrage d'une paroi Berlinoise, une instabilité pendant la réalisation d'une reprise en sous-oeuvre,...)

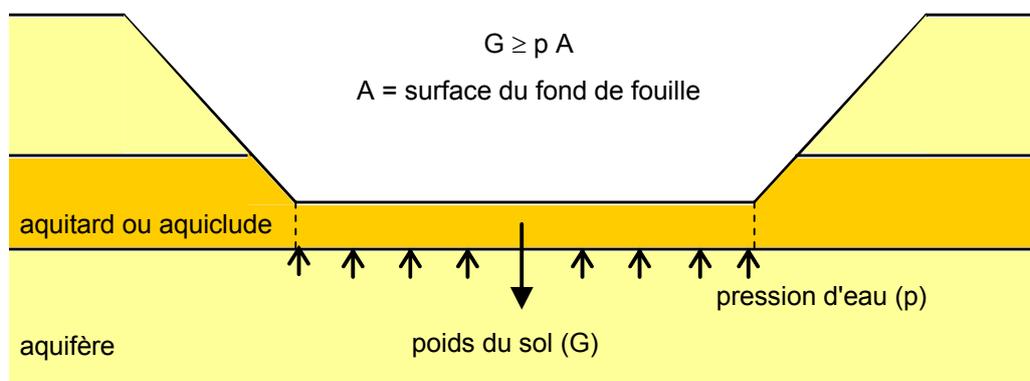


Figure 17 : Contrôle de la sécurité vis-à-vis du soufflage

## 5.6 Influence du rabattement sur les environs

Les influences sur les environs doivent être prises en considération par le concepteur, si d'application :

- l'apparition de tassements dans les environs et le risque de dégâts liés à ceux-ci
- le transport de pollutions
- l'influence sur la faune : arbres, végétation, agriculture (pour des rabattements de longue durée)
- l'influence sur le captage d'eau, puits d'eau, étangs (danger d'assèchement)
- l'influence sur les limites de l'eau douce et saline

Ci-après sont traités uniquement les tassements. Pour les autres aspects d'influence, il est fait référence à la littérature spécialisée.

### **5.6.1 Généralités**

Le rabattement de la nappe peut mener pour diverses raisons à des tassements. On distingue :

- compression suite à une diminution des contraintes interstitielles dans le sol qui engendrent une augmentation des contraintes entre grains
- retrait suite à une diminution de la teneur en eau (argile)
- dégradation (altération) des sols organiques en contact avec l'atmosphère ; suite au travail des bactéries aérobiques, une oxydation accélérée, et de ce fait une altération et un affaissement se produisent ; ce phénomène peut devenir très important pour des rabattements de longue durée
- érosion interne dans les alentours des éléments de rabattement
- altération des fondations en bois (par ex. pieux en bois)

### **5.6.2 Tassements suite à la compression du sol (augmentation des contraintes entre grains)**

Suite à une diminution des contraintes interstitielles dans le sol, les contraintes entre grains augmentent et le sol est comprimé. Ceci mène à :

- des tassements des constructions possédant des fondations non profondes (fondations superficielles, radier général, courts puits)
- du frottement négatif sur les fondations profondes (puits et pieux), et par conséquent à un tassement additionnel et à une réduction de la sécurité sur la capacité portante
- des tassements des routes, des empierrements et des conduites

Les tassements à attendre peuvent être estimés par le concepteur via un calcul de tassement basé sur une méthode appropriée (par ex. en appliquant la loi de Terzaghi). Afin d'obtenir une valeur relativement réaliste du tassement à attendre, on doit tenir compte des facteurs suivants :

- les caractéristiques de compressibilité sont estimées du mieux possible sur base des données émanant de la reconnaissance géotechnique et des corrélations empiriques disponibles; des valeurs approximatives pour le coefficient de compressibilité sont données en annexe D
- en principe, les contraintes dans le sol soient calculées en tenant compte du chargement présent à cause des constructions existantes ; un calcul dans lequel on ne prend pas en compte ce chargement donne une estimation prudente des tassements
- les pressions d'eau soient estimées du mieux possible pour les différentes couches de sol déterminantes
- le niveau d'eau saisonnier le plus bas soit mesuré ou déterminé avec une certitude suffisante
- le niveau le plus bas de la nappe lors de rabattements historiques
- les effets favorables de préconsolidation antérieure

### **5.6.3 Appréciation du risque de dommage ou de nuisance**

Le concepteur détermine les valeurs limites pour les tassements totaux et différentiels.

Mis à part le fait qu'aucun dégât provoqué par les travaux ne peut être toléré, les tassements absolus totaux, causés par le rabaissement de la nappe, ne peuvent s'élever en aucun point à plus de 20 mm.

Les tassements absolus totaux des constructions, causés par le rabaissement de la nappe, ne peuvent pas être supérieurs à 15 mm.

De plus, le tassement différentiel de 2 points d'une conduite ou d'un revêtement de route, distant de 5m, doit rester limité de telle sorte que l'angle d'inclinaison de la courbe de tassement soit plus petit que 1/700.

Pour les constructions, on peut se référer à la norme NBN B03-003 « Déformation des structures. Valeurs limites de déformation. Bâtiments » [14], au sein de laquelle sont données des valeurs limites de déplacement recommandées pour différentes situations.

Les situations suivantes demandent en outre une attention particulière :

- les constructions avec une cave qui se trouve (partiellement) sous le niveau des eaux
- les constructions attenantes possédant des systèmes de fondations différents, par ex. une construction sur fondation superficielle (semelles ou bien radier général) et une autre fondée sur puits ou pieux
- les constructions sur fondations profondes avec un plancher sur le terre-plein
- les constructions élancées sensibles aux rotations, par ex. un pylône qui se trouve dans une zone à fort gradient hydraulique
- les constructions avec un processus industriel qui est sensible aux tassements ou aux rotations
- les constructions hydrauliques qui sont sensibles aux tassements ou aux rotations, par ex. une piscine, un bassin d'une station d'épuration,...
- les constructions hyperstatiques, par ex. ponts hyperstatiques

En particulier, on doit faire attention :

- lors de présence de tourbe
- en cas de rabattement de longue durée.

## 6 Surveillance

Le concepteur spécifie la surveillance à effectuer par l'exécutant, notamment :

- quelles sont les mesures qui doivent être effectuées
- la position et le nombre de points de mesure (éventuellement indiquer la zone sur plan)
- quand est-ce que les mesures doivent être effectuées (durant quelle période et à quelle fréquence)

L'ampleur de la surveillance dépendra de la catégorie du travail (voir §2.3.1). Dans la plupart des cas, pour les travaux de catégorie 0, la surveillance ne sera pas exigée. Par contre, pour les travaux de catégorie 3, en général, une campagne de surveillance assez vaste est préférable. Pour les travaux de catégorie 1 ou 2, l'ampleur de la surveillance sera déterminée par les conditions spécifiques du travail.

Quand la valeur d'un paramètre dépasse la valeur seuil ou la valeur d'alarme, l'exécutant en avertit le concepteur et le maître d'ouvrage.

La valeur seuil (FEU ORANGE) correspond à 2/3 de la valeur limite, telle qu'elle est fixée dans les conditions par type d'ouvrage.

La valeur d'alarme (FEU ROUGE) correspond à la valeur limite, telle qu'elle est fixée dans les conditions par type d'ouvrage.

Lors d'un dépassement de la valeur seuil (FEU ORANGE) le concepteur prend les mesures suivantes :

- il détermine la nouvelle fréquence de mesure du paramètre en question,
- il évalue la valeur d'alarme et l'adapte éventuellement en fonction de la construction spécifique,
- il définit en collaboration avec l'exécutant les mesures à prendre au cas où la valeur du paramètre dépassera la valeur d'alarme (FEU ROUGE) et il les propose au maître d'ouvrage.

Lors d'un dépassement de la valeur d'alarme (FEU ROUGE) le concepteur prend les mesures suivantes :

- il évalue le problème en tenant compte des conditions spécifiques,
- il charge l'exécutant à réaliser les mesures définies lors du dépassement de la valeur seuil et approuvées par le maître d'ouvrage.

La surveillance peut comprendre les mesures suivantes :

- piézomètres
- débitmètres
- contrôle de l'eau extraite
- états des lieux
- points de mesure et repères

## **6.1 Mesures piézométriques**

Il est fortement recommandé d'installer un nombre de piézomètres pertinents :

- à l'intérieur de la zone de rabattement, afin d'établir la profondeur de rabattement optimale
- juste à l'extérieur de la zone rabattement, pour surveiller par exemple si l'influence de l'écran peu perméable satisfait aux exigences et correspond bien aux attentes
- à une certaine distance de la zone de rabattement, pour surveiller si le gradient hydraulique correspond aux attentes.

Les piézomètres sont placés de préférence suivant les 4 directions et avec la crépine dans les couches pertinentes.

Pour les rabattements de longue durée et intensifs, les piézomètres peuvent être équipés de capteurs de pression d'eau avec des mesures et enregistrements en continu.

## **6.2 Mesures de débit**

Pour chaque régime de rabattement, le débit de rabattement doit être mesuré par l'exécutant, au moins manuellement (par exemple en chronométrant le temps nécessaire au remplissage d'un récipient de volume connu), mais de préférence via un ou plusieurs débitmètres. Le concepteur détermine d'une façon judicieuse le nombre de débitmètres afin d'obtenir une vue globale du fonctionnement de l'installation de rabattement.

### **6.3 Contrôle de l'eau extraite**

Afin d'éviter le dessablage via les puits, il faut contrôler, au moins lors de l'amorçage du rabattement, que l'eau extraite ne contienne pas de sable. Cela peut être effectué en versant de l'eau extraite (1 à 2 litres) dans une éprouvette graduée et en la soumettant à un mouvement circulaire énergique. La présence de sable éventuelle va se rassembler sur le fond, au centre. Ceci n'est qu'un essai qualitatif. Une mesure plus précise peut être effectuée en amenant l'eau extraite dans un collecteur de sable (60 µm). Après séchage de l'eau recueillie, la teneur en sable est déterminée en g/m<sup>3</sup> d'eau. Le concepteur détermine la valeur limite, si nécessaire. Des valeurs indicatives sont max. 0.01 g/m<sup>3</sup> en cas de débit d'extraction élevé ( $\geq 30$  m<sup>3</sup>/h par puits) et max.  $< 0.1$  g/m<sup>3</sup> en cas de débit d'extraction moyen ( $\leq 2$  m<sup>3</sup>/h par puits). Pour des débits intermédiaires les valeurs limites peuvent être déterminées par interpolation. En cas de dépassement des valeurs limites, le puits concerné doit être éliminé et éventuellement le rabattement doit être adapté.

### **6.4 Etat des lieux**

Pour les rabattements de catégories 2 ou 3 (voir § 2.3.1), il est conseillé de faire un état des lieux préliminaire – aussi bien interne qu'externe – des constructions sur fondations superficielles situées dans un rayon inférieur à 50 m du rabattement.

L'état des lieux peut être réduite, par exemple à la description des façades extérieures, lorsque parallèlement à cette description un nombre suffisant de points de mesure (voir § 6.5) dans les alentours est installé et mesuré.

Au fond, l'état des lieux sert à déterminer pour chacune des phases importantes de construction (par exemple après l'exécution des parois de soutènement, après le démarrage du rabattement, après les travaux de battage, etc...) le lien de cause à effet avec d'éventuels dégâts. Alternativement, les points de mesure installés sont mesurés de manière régulière.

### **6.5 Points de mesure et repères**

L'expérience apprend que l'installation et le relevé régulier d'un nombre de points de mesure sur les constructions voisines et les routes est la méthode la plus directe et la plus univoque pour un bon suivi de l'influence, aussi bien du rabattement que des autres activités de construction.

Dans l'entièreté de la zone d'influence du rabattement de la nappe, des points de mesure sont installés. Le concepteur détermine la position de ces points. Ils peuvent par exemple être mis en place à côté de chaque piézomètre au droit de 4 ou 8 sections perpendiculaires à l'axe de la fouille, à différentes distances.

Dans des sols mous, les points sont placés sur des plots en béton dont la base se trouve à 80 cm de profondeur. Les points sont numérotés et inscrits par l'exécutant sur un plan de situation.

Les points de mesure doivent être relevés suffisamment tôt (au moins 2 semaines avant le début du rabattement du niveau des eaux) et avec une bonne précision en hauteur (0.1 mm) par rapport à un référentiel insensible. Les mesures sont effectuées régulièrement lors des périodes critiques et évalués.

En plus des points de mesures, des repères peuvent être installés en un certain nombre de lieux remarquables (par exemple sur les joints entre les constructions adjacentes, sur les fissures des constructions déjà existantes,...) de sorte à pouvoir suivre une évolution en particulier.

## **6.6 Surveillance**

Pour les périodes critiques de rabattement, celui-ci doit être équipé d'un système de contrôle suffisant, tel que toute interruption du rabattement puisse être communiqué dans les plus brefs délais au(x) conducteur(s) de chantier responsable(s). Ceci par exemple en plaçant une alarme sur un ou plusieurs piézomètres et en la reliant directement à un GSM.

Le concepteur décide si un groupe électrogène de réserve doit être prévu.

Le rabattement doit également être repris dans le plan de sécurité des travaux.

## 7 Analyse des risques

Joint à la conception, le concepteur fait une analyse des risques. Les problèmes qui peuvent apparaître lors d'un rabattement doivent être considérés et ceci en ce qui concerne leur cause, leur probabilité et les dégâts éventuels. Pour chaque situation critique, un scénario d'intervention doit être établi. Ce scénario décrit les mesures à prendre afin d'éviter des dégâts, le cas échéant.

Les situations suivantes doivent être considérées :

- le niveau d'eau n'est pas abaissé suffisamment bas parce que :
  - la perméabilité a été estimée trop basse
  - la stratification est autre que celle prévue
  - le niveau d'eau au repos a été mal estimé
  - l'installation de rabattement ne fonctionne pas correctement
- des dégâts apparaissent dans la fouille :
  - soufflage
  - instabilité des parois (talus ou soutènement)
  - boulanges ou effet Renard
- des dégâts apparaissent aux constructions voisines du fait que :
  - les tassements à attendre ont été sous-estimés
  - le rayon d'influence du rabattement a été sous-estimé
  - la pollution présente dans les alentours a été déplacée

Cette analyse de risque est soumise au maître d'ouvrage.

## **8 Rapport de l'étude de conception et du processus de décision**

Le concepteur rédige un rapport sur l'étude de conception. Ce rapport doit contenir au moins :

- l'énoncé du problème et les conditions aux limites
- les informations et documentations (données de sol,...)
- le choix de la méthode de rabattement, les couches dans lesquelles on extrait l'eau et les éventuels mesures de protection
- le modèle d'écoulement d'eau utilisé avec l'estimation des débits et du rabaissement du niveau d'eau
- l'analyse de risque.

Ce rapport est transmis au maître d'ouvrage et à l'exécutant.

Les conclusions de l'étude de conception sont retranscrites dans le cahier des charges.

## 9 Aspects liés à l'exécution

### 9.1 Etablissement d'un plan de rabattement détaillé

Le plan de rabattement détaillé est rédigé par l'exécutant et soumis pour accord au concepteur.

Des éléments bien précis du plan de rabattement peuvent être repris de l'étude de conception, pour autant que l'exécutant manifeste son accord à ce sujet.

Il contient :

- une description sommaire des points de départ (données de sol, exigences de la conception vis-à-vis de la profondeur et la durée de rabattement
- une estimation de la quantité d'eau à extraire pour les diverses phases
- une description du système de rabattement :
  - type de rabattement
  - localisation, profondeur et composition des éléments de rabattement (drains, puits filtrants, pompes immergées)
  - méthode de mise en place de ces éléments (méthode de forage, matériel de forage, matériel d'excavation, ...)
  - localisation des conduites d'évacuation et des endroits de déversement
  - localisation, capacité et type de pompes
  - type d'approvisionnement d'énergie
  - si d'application, description des écrans : type, profondeur, exécution,...
  - si d'application, description du dispositif de réalimentation : éléments, méthode de travail,...
- une description de la surveillance :
  - surveillance et protection du bon fonctionnement du système de rabattement (par ex. dispositif d'alarme, groupe électrogène réserve, ...)
  - suivi du rabattement : mesures piézométriques (localisation et profondeur des piézomètres, fréquence des mesures), mesures de débit, contrôle de l'eau extraite
  - suivi des effets du rabattement : contrôle visuel, état des lieux, relevés des points de mesures et des repères,...
- Analyse de risque et plan d'intervention

## **9.2 Installation des équipements**

L'efficacité d'un rabattement n'est pas uniquement dépendant des conditions hydrogéologiques (caractéristiques du sol et de l'eau dans le sol) et du système de rabattement, mais également dans un large mesure de la manière dont les éléments et les équipements sont mis en œuvre.

L'exécutant annonce à temps (minimum 1 semaine à l'avance) au concepteur de la date d'installation des équipements de rabattement, ainsi que le concepteur ait la possibilité d'y être présent.

L'exécutant choisit judicieusement la technique de forage pour le placement des puits, de manière à ce que le rendement et le fonctionnement sûr des puits ne soient pas influencés défavorablement. Il faut éviter que la méthode d'exécution appliquée entraîne l'apparition d'une couche lisse sur les parois de forage, qui réduirait le rendement des puits.

Les piézomètres doivent être placés et gardés centralement dans le trou de forage, après quoi ils sont remplis avec du gravier (filtrant) adapté. Quand et là où c'est nécessaire, des bouchons de bentonite ou d'argile sont mis en œuvre (par ex. pour faire obstacle à des eaux polluées, pour des rabattements de nappes captives, pour des rabattements par mise sous vide).

Les piézomètres sont rincés de manière à ce que les fines dans et autour de la matière filtrante soient éloignés. Ce rinçage doit continuer jusqu'au moment où le puits fournit de l'eau exempte de sable et de boue.

Pour les rabattements avec réalimentation : on doit procéder à un contrôle particulier de la qualité de l'eau de retour utilisée et à un contrôle de l'étanchéité des conduites.

## **9.3 Essai de fonctionnement du rabattement**

Le programme peut prévoir l'exécution d'un essai de fonctionnement du rabattement. A cet effet, l'installation de rabattement ou une partie de celle-ci est mise en service pendant un ou plusieurs jours, et les effets du rabattement sont suivis intensément et précisément.

Les possibles buts d'un tel essai de fonctionnement du rabattement sont :

- constater si l'installation prévue permet de réaliser le rabaissement visé et si la capacité de l'installation de pompage est satisfaisante
- constater si l'influence du rabattement et l'impact des mesures de protection correspondent aux attentes

- contrôler si les couches situées sous le fond de fouille sont suffisamment drainées par le rabattement, afin d'éviter une instabilité par soufflage ou boulanges ; à l'inverse, l'arrêt de l'essai de fonctionnement du rabattement peut permettre de surveiller à quelle vitesse les pressions interstitielles augmentent dans ces couches plus profondes, afin de pouvoir évaluer les risques en cas d'interruption de courant.
- contrôler si les couches situées plus haut, au-dessus d'éventuelles couches moins perméables sont drainées suffisamment par le rabattement pour éviter des instabilités ou des infiltrations indésirables au travers des parois de la fouille.

#### **9.4 Mise en service et maintien du rabattement**

A défaut d'avoir un essai de fonctionnement du rabattement, les effets du rabattement doivent être suivis de près pendant la mise en service. Si nécessaire, appliquer les ajustements et les adaptations nécessaires, comme :

- régler le débit de la pompe, que ce soit en positif ou négatif
- déconnecter un ou plusieurs puits
- placer des puits complémentaires, dans la même couche et/ou dans des couches situées à plus ou moins grande profondeur.

Eventuellement, on doit décider de l'ajustement des mesures de protection.

Durant le déroulement ultérieur du rabattement, les puits sont ajustés selon la nécessité, afin de satisfaire aux exigences de profondeur de rabattement postulées dans les différentes phases de construction. En particulier, la courbe de rabattement sera vérifiée par rapport aux niveaux d'alerte fixés.

Les divers contrôles et mesures prévus sont effectués par l'exécutant selon la méthode et la fréquence convenues, et rapportés en temps opportun.

Pendant la période entière de rabattement, l'exécutant doit prêter une attention indispensable à :

- la sécurité de fonctionnement des installations de rabattement
- la procédure d'alarme adéquate à cet effet (par ex. pendant les weekends et les périodes de vacances)
- l'entretien des installations de surface (groupes électrogènes, pompes, canalisations, ...)

- l'entretien des puits pour l'extraction, mais plus encore particulièrement pour la réalimentation.

## **9.5 Fin du rabattement**

La diminution et l'arrêt final du rabattement a lieu conformément aux exigences et aux conditions de la conception et aux accords avec le concepteur

Il faut plus spécifiquement faire attention aux points suivants :

- la coupure du rabattement doit avoir lieu assez progressivement pour éviter d'importants gradients hydrauliques qui pourraient mener à des instabilités (par ex. boulanges, écoulement d'eau le long des fûts de pieux,...)
- il doit y avoir à tout moment une sécurité suffisante contre les soulèvements
- les rabattements des nappes captives sont interrompus lorsqu'il n'existe plus de risque de soufflage de fond de fouille
- il faut surveiller de près l'apparition de filtration inadmissible au travers des murs de cave (par ex. au droit des joints des murs emboués, au droit des perforations de tirants d'ancrage,...) ou la dalle de cave (par ex. aux joints, au passage des puits)
- les puits ainsi que les forages de piézomètres qui ont perforé un aquitard ou aquiclude doivent être remplis d'argile ou de bentonite

## 10 Check list pour le cahier des charges

Ci-dessous est donné un fil conducteur pour la rédaction d'un cahier des charges relatif aux travaux de rabattement. Les points à incorporer dans le cahier des charges sont parcourus d'une façon logique. Des exemples sont mentionnés en *italique* et des choix sont marqués avec les symboles "□" ou "/". Une mention "xxx" correspond à une valeur à compléter.

### 1. Introduction

#### 1.1. Description du besoin du rabattement

*Par ex. : Pour la construction d'un tunnel, le niveau des eaux doit être abaissé d'un niveau au repos de +6.00 à un niveau de -5.00*

#### 1.2. Conception du cahier des charges

- La conception de rabattement (type de rabattement, couches et hauteurs à rabattre, les éventuels écrans étanches, et/ou rabattement avec réalimentation) est décrite dans le cahier des charges

ou :

- L'exécutant peut proposer des alternatives sur la conception de rabattement qui est décrite dans le cahier des charges. Il le soumet pour accord au concepteur. Ces alternatives doivent être élaborées et soutenues conformément aux *Directives pour le rabattement de nappe*.

### 2. Données disponibles

#### 2.1. Points de référence

Détermination des points de référence : dénomination, description, référence vers le plan sur lequel les points sont repris. Les points de référence peuvent être des points existants ou des points à matérialiser, mais toujours en dehors de la zone d'influence du rabattement.

*Exemple : Le point de référence R01 est le seuil de la porte d'entrée de la maison située xxx. Le point de référence R02 est le repère installé sur un piquet en béton et mentionné sur le plan xxx.*

## 2.2. Données géotechniques

Inventaire des rapports sur la reconnaissance géotechnique sur chantier et éventuellement sur le voisinage direct.

*Par ex. : Les résultats de la reconnaissance géotechnique sont contenus dans les rapports xxx.*

Le cas échéant, des investigations complémentaires peuvent être demandées. Cela concerne des essais additionnels qui ne pouvaient pas être examinés durant l'investigation de base. Ils ont pour but de confirmer ou de contrôler les hypothèses de base de la conception du rabattement. La nature (essais de pénétration statique, forages), le nombre, la localisation (éventuellement faire référence au plan) et la profondeur de ces essais sont donnés dans § 4.1.1. Le cas échéant, on fait référence à ce paragraphe.

## 2.3. Données hydrogéologiques

Inventaire des rapports de mesures de niveaux d'eau et indication d'une synthèse des résultats des mesures de niveaux d'eaux sur le site.

Inventaire des rapports d'essais de pompage ou indication des résultats des essais de pompage.

Au cas où il faut installer des piézomètres supplémentaires, le nombre, la localisation et la profondeur ou la couche dans laquelle il faut les installer, sont donnés au § 4.1.2. Le cas échéant, on fait référence à ce paragraphe.

## 2.4. Conditions aux limites géotechniques et hydrogéologiques

Indication des niveaux d'eau dans les rivières, ruisseaux, bassins d'eau, ...

Indication de la résistance hydraulique d'éventuelles couches de boue peu perméables

Description de la stratigraphie, des paramètres géotechniques et hydrogéologiques pour les calculs

## 2.5. Conditions liées aux environs

Dans ce paragraphe sont repris tous les éléments concernant les environs dont il faut tenir compte. Notamment :

- les constructions qui risquent de subir des dégâts suite à des tassements
- les éventuelles pollutions qui risquent d'être déplacées

- la végétation importante qui risque de disparaître suite à un assèchement
- le captage d'eau, les puits, les étangs qui risquent d'assécher
- le risque de changement de la délimitation entre l'eau douce et l'eau saline

### 3. Description de la mission du rabattement

Les exigences imposées et les données de conception à communiquer par le concepteur sont mentionnées ici.

#### 3.1. Description générale du travail de rabattement

- Le rabaissement du niveau des eaux à réaliser pour les différentes phases de construction
- La délimitation de la zone d'influence et le rabaissement du niveau des eaux toléré sur le pourtour
- Les niveaux d'alerte du niveau d'eau à l'extérieur de la zone d'influence délimitée
- Les critères d'arrêt du rabattement
- Les tassements absolus et différentiels admis

#### 3.2. Détermination de la (des) méthode(s) de rabattement à appliquer

Le rabaissement de la nappe est réalisé à l'aide de :

un rabattement à ciel ouvert

ou :

un rabattement avec puits filtrants (ouverts ou fermés)

ou :

un rabattement avec pompes immergées

ou :

un rabattement d'une nappe captive

ou :

un rabattement à l'aide de drains horizontaux

### 3.3. Détermination des mesures pour maîtriser les effets de rabattement

Afin de limiter les effets du rabattement dans les environs, les mesures suivantes sont à prévoir :

- Ecran peu perméable vertical :  
Dans le cahier des charges général, un écran peu perméable vertical est prévu. La base de l'écran se trouve à xxx m de profondeur / à xxx m dans l'aquitard / aquiclude. Le débit à travers l'écran est inférieur à xxx m<sup>3</sup>/h. La réalisation de cet écran ne fait pas partie du présent cahier des charges.

et/ou :

- Ecran peu perméable horizontal :  
Dans le cahier des charges général, un écran peu perméable horizontal est prévu au niveau xxx. Il est réalisé à l'aide d'une injection à basse pression (permeation grouting) / de colonnes sécantes de Jetgrouting. Le débit à travers l'écran est inférieur à xxx m<sup>3</sup>/h. La réalisation de cet écran ne fait pas partie du présent cahier des charges.

et/ou :

- Rabattement avec réalimentation  
Les spécifications sont données au § 4.2.

### 3.4. Plan de rabattement de référence

Les couches qui doivent être rabattues et les débits de pompage estimés sont indiqués ici.

## 4. Exécution de la mission de rabattement

Le concepteur spécifie le travail à effectuer par l'exécutant de la mission de rabattement

### 4.1. Les travaux préparatoires

#### 4.1.1. Reconnaissances géotechniques complémentaires

Au cas où exceptionnellement une partie des essais de reconnaissance géotechnique n'a pas pu être réalisée au préalable, on spécifie les essais complémentaires qui doivent être réalisés par l'exécutant. On fait référence aux directives pour le rabattement de la nappe. On spécifie que l'exécutant transmet les résultats de ces essais au concepteur, qui évaluera de nouveau la conception du rabattement et qui adaptera la conception, si nécessaire.

#### 4.1.2. Piézomètres complémentaires.

Si, préalablement au démarrage du rabattement, l'exécutant doit installer des piézomètres (supplémentaires), on le spécifie en faisant référence aux directives pour le rabattement de la nappe.

#### 4.1.3. Relevé des piézomètres.

- spécification des piézomètres à mesurer
- indication de la période de mesure
- indication de la fréquence de mesure

#### 4.1.4. Etablissement d'un état des lieux des constructions voisines

- spécification des constructions pour lesquelles un état des lieux est demandé
- spécification du contenu de l'état des lieux (intérieur, extérieur,...)
- spécification des moments : faut-il uniquement un état des lieux avant le démarrage des travaux ou bien à plusieurs moments et si oui, à quels moments ?

#### 4.1.5. Relevé de la situation de référence des points de mesure et des repères sur les constructions voisines

Spécification des points de mesure et des repères dont il faut déterminer la situation de référence. Mentionner la précision exigée.

#### 4.1.6. Etablissement d'un plan de rabattement détaillé

Le plan de rabattement détaillé doit être établi conformément au § 9.1 des directives pour le rabattement de la nappe.

#### 4.1.7. Exécution d'un essai de fonctionnement du rabattement

Spécification si, préalablement au démarrage du rabattement, il faut faire un essai de fonctionnement de l'installation de rabattement.

Le cas échéant :

- spécifier si l'installation complète ou seulement une partie de celle-ci doit être mise en service
- spécification de la durée (nombre de jours) de l'essai ou du critère à atteindre

- spécification des effets à contrôler (rabaissement dans les différentes couches, tassements,...) y.c. la fréquence des mesures
- spécification de l'évaluation des effets

#### 4.1.8. Aménagement du chantier

Mention des dispositions pour l'aménagement du chantier (énergie, eau, accessibilité, clôture du chantier,...).

#### 4.1.9. Demander des autorisations nécessaires

L'exécutant doit demander les autorisations et les permis nécessaires

### 4.2. Réalisation des dispositions pour limiter l'influence du rabattement

Si d'application, les exigences par rapport à l'exécution technique et les contrôles de l'installation de réalimentation sont mentionnés dans ce paragraphe-ci. Les exigences par rapport à l'exécution et les contrôles d'un écran peu perméable horizontal ou vertical sont mentionnés dans le cahier des charges général.

Une réalimentation est prévue :

- spécification des zones de réalimentation, des couches de sol et des débits
- spécification si l'indice de filtre-membrane doit être déterminé avant le démarrage du rabattement, afin de pouvoir contrôler la quantité de particules solides dans l'eau extraite (fortement conseillé pour des rabattements avec réalimentation importante) ; la valeur doit être < xxx ; si la valeur est dépassée, des mesures adéquates doivent être prises en concertation avec le concepteur et le maître d'ouvrage (par ex. pas de réalimentation, régénération d'un puits ou forage d'un nouveau puits)
- les conduites et les connections doivent être réalisées en évitant le plus possible l'aération de l'eau
- spécification s'il faut réaliser un essai de dégazage avant le démarrage du rabattement, afin de pouvoir contrôler la quantité de gaz présente dans l'eau extraite ; en cas de présence de gaz dans l'eau, les conduites doivent être sous pression pour éviter que le gaz se libère
- spécification si alternativement une réalimentation en surface peut être appliqué (drains horizontaux ou verticaux superficiels, étangs temporaires,...)

#### 4.3. Aspects liés à l'exécution d'un rabattement

Mention des exigences concernant :

- l'installation des éléments du système de rabattement
- le maintien et la surveillance du rabattement (système d'alarme, groupe électrogène de réserve,...)
- la fin et la suppression du rabattement

Pour ceci, on peut faire référence aux directives pour le rabattement de la nappe (chapitre 9).

#### 4.4. Surveillance

Le concepteur spécifie la surveillance à réaliser par l'exécutant :

- le programme de surveillance (type des mesures, localisation et nombre des points de mesure, période de mesure et fréquence de mesure)
- la forme du rapportage et la fréquence de rapportage
- les mesures à prendre en cas de dépassement d'une valeur seuil ou limite

En plus, on peut se référer aux directives pour le rabattement de la nappe.

#### 4.5. Les postes du métré

Les postes suivant sont repris dans le métré, si d'application :

- Installation du chantier
- Exécution d'essais de pénétration statique ou de forage complémentaires
- Installation de piézomètres complémentaires
- Relevé des piézomètres avant le début du rabattement
- Mesures de référence des points de mesure et des repères
- Etat des lieux préalable
- Etablissement d'un plan de rabattement
- Installation des éléments du système de rabattement
- Installation de la réalimentation
- Exécution d'un essai de fonctionnement du rabattement
- Ajustement du plan de rabattement (où c'est nécessaire)
- Maintien du rabattement
- Maintien de la réalimentation (en fonctionnement / à l'arrêt)

- Surveillance des effets du rabattement:
  - état des lieux
  - Relevé des points de mesure et des repères
  - mesures piézométriques
  - mesures de débit
  - contrôle de l'eau extraite
- Suppression du rabattement et remise en état original du terrain