

RECOMMANDATIONS SUR LE CHOIX DES EQUIPEMENTS DE FORAGE D'EAU

RAPPEL DES BONNES PRATIQUES



La conception d'un forage est une étape essentielle si l'on souhaite optimiser son outil de production d'eau souterraine. Vous trouverez ci-après quelques conseils sur le choix et la qualité des équipements qui doivent être mis en œuvre.

1) Comment évaluer l'efficacité d'un forage d'eau :

L'efficacité d'un forage d'eau peut se mesurer en termes de pertes de charge, calculées à partir d'un pompage par paliers de débit.

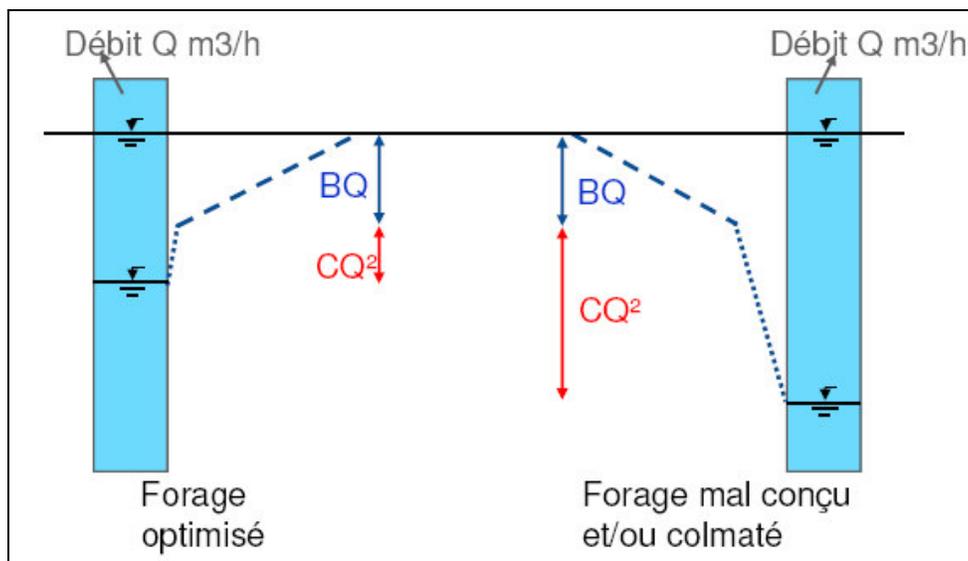
Elles sont de deux types :

- pertes de charge linéaires liées à l'écoulement de l'eau dans l'aquifère (nommées BQ avec Q le débit) ;
- pertes de charge quadratiques liées à l'écoulement de l'eau au travers du massif filtrant et des crépines (nommées CQ^2 avec Q le débit).

En pompage, le rabattement du niveau de l'eau dans le forage se calcule ainsi :

$$\text{Rabattement (m)} = BQ + CQ^2$$

Ci-dessous, nous comparons l'impact des pertes de charge sur le rabattement dans un forage. Ainsi, dans un forage mal conçu, ou colmaté, les pertes de charge quadratiques augmentent considérablement. Le débit d'exploitation se retrouve donc réduit, et les coûts de production (consommation électrique notamment) augmentent.



- La vitesse d'entrée de l'eau dans les crépines doit être la plus faible possible pour :
- se rapprocher du régime laminaire en pompage ;
 - et ainsi limiter les pertes de charge quadratiques dans le forage ;
 - limiter la vitesse de colmatage des crépines ;
 - empêcher l'entraînement des fines ;
 - réduire les coûts de production et de maintenance.

Johnson recommande une vitesse d'entrée de l'eau inférieure à 3 cm/s.

2) Zone de captage - les crépines :

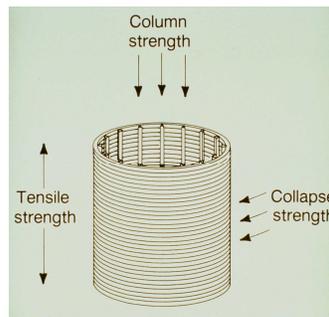
- le diamètre des crépines est défini en fonction :
- du diamètre des équipements de pompage et monitoring s'ils sont descendus dans l'aquifère ;
 - de la vitesse ascensionnelle de l'eau qui doit être inférieure à 1,5 m/s pour rester en régime laminaire ;
- le slot est défini en fonction :
- de la granulométrie de l'aquifère en cas de forage auto développé. Le slot retient alors 40% à 50% au moins de la formation :



- de la granulométrie de massif filtrant dans le cas d'un massif additionnel. Le slot doit retenir au moins 90% du gravier :



- La construction de la crépine à fil enroulé est définie en fonction des contraintes mécaniques :
- contraintes verticales liées au poids des équipements et aux frottements du gravier dans l'espace annulaire qui influent sur le nombre et la taille des génératrices ;
 - contraintes horizontales liées notamment aux formations géologiques (collapse) qui influent sur le dimensionnement du fil. Pour information, nous disposons d'une dizaine de fils pour l'application forage. Une pression comprise entre 0,8 et 1 bar / 10 m de profondeur est recommandée pour le calcul du collapse.



Pour chaque projet de forage, il est nécessaire d'adapter le nombre et la taille des génératrices ainsi que la taille du fil, en considérant le contexte géologique, la profondeur d'installation et la longueur totale d'équipement.

- Calcul de la vitesse d'entrée pour une crépine Johnson :

- 1) Ouverture = (slot / (slot + largeur du fil)) x 100 = %
- 2) Surface d'échange = (dia ext) x π x long totale crépine x ouverture = m²
- 3) Vitesse d'entrée = débit / surface d'échange = cm/s

Exemple : slot = 0,7 mm – largeur du fil = 2,5 mm – longueur des crépines = 20 m
Débit = 50 m³/h – diamètre 219 mm

- 1) Ouverture = (0,7 / (0,7 + 2,5)) x 100 = 21,8%
- 2) Surface d'échange = 0,219 x π x 20 x 0,218 = 3 m²
- 3) Vitesse d'entrée = (50 / 3) / 36 = **0,46 cm/s**

Nota : la longueur totale des crépines correspond en réalité à la hauteur totale de l'aquifère productif. Un aquifère n'est pas toujours productif sur toute son épaisseur. Pour la définir, il est indispensable de réaliser une diagraphie permettant d'identifier les zones de production (micro-moulinet).

➤ Quelques conseils :

- placer une pompe directement dans les crépines peut générer des vitesses excessives au regard de la pompe. Il est conseillé de placer la pompe dans un tube (chambre de pompage) pour éviter un flux direct ;
- un tube de sédimentation (2 à 3 m) doit être placé au fond de l'ouvrage, fermé à sa base par un plaque soudée, qui recueillera la sédimentation des fines au cours de la phase exploitation ;
- lors de sa mise en œuvre, la colonne de captage doit descendre librement dans le trou de forage. Dans le cas contraire, la colonne est démontée et un contrôle de trou doit être opéré ;
- le largage d'une crépine est une opération délicate. Pour limiter les risques de torsion, il est conseillé de déverrouiller la baïonnette ou dévisser le raccord gauche (de préférence à coulisse) manuellement. Dans le cas d'une crépine Johnson, un minimum de 10 à 12 m de tubes d'extension gravillonnés à l'extrados permettra de limiter le risque de torsion (augmentation du frottement tube / gravier) ;
- éviter de poser une crépine Johnson au fond du forage. La crépine est suspendue pendant l'opération de gravillonnage.

3) Massif filtrant / centrage pour aquifères sableux :

➤ de la qualité du massif filtrant dépendront :

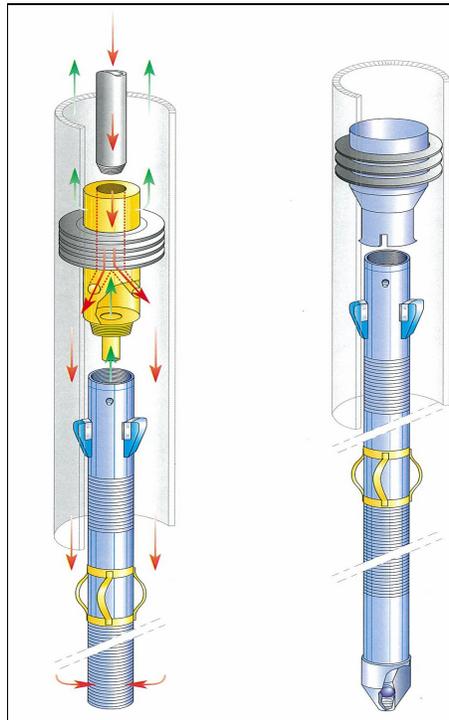
- la qualité de la filtration de l'aquifère (pour les sables) ;
- des performances vis-à-vis des pertes de charge.

Pour cela nous recommandons :

- un gravier propre et siliceux au moins à 90% pour limiter les risques de dissolution ;
- les grains doivent être arrondis pour diminuer les pertes de charge (circulation libre entre les grains) et augmenter le pouvoir de filtration ;
- un déversement du gravier depuis la surface est fortement déconseillé (problème de création de ponts et classement des grains) ;



- la mise en place doit être effectuée au travers de cannes d'injection (descendues au moins jusqu'au sommet de l'aquifère), ou sous pression en circulation inverse pour les forages plus profonds ;



- une réserve de gravier est indispensable au dessus des crépines ;
- les crépines sont centrées dans le forage au moyen de centreurs à lames semi-rigides (4 à 6 lames en fonction du diamètre), pour obtenir une épaisseur de filtre homogène qui jouera son rôle de filtre. Les centreurs sont installés tous les 6 à 12 m ;



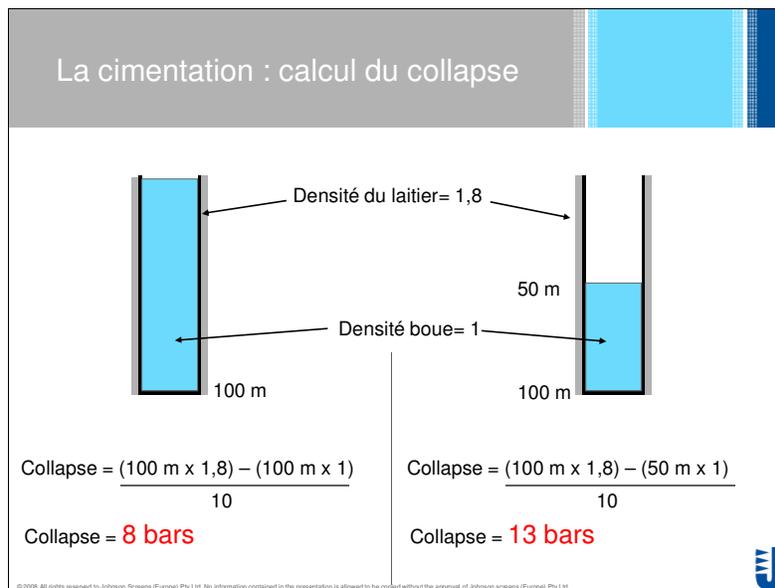
- l'espace annulaire doit être au moins de 2'' à 4'' en fonction des caractéristiques de l'aquifère ;
- la granulométrie du massif filtrant est définie en fonction de la granulométrie des sables ;

4) Les tubes pleins :

Ils doivent être conçus pour résister mécaniquement aux pressions qui lui seront appliquées une fois mis en place dans le forage. La résistance à la traction doit subvenir aux pressions verticales, et la résistance au collapse doit répondre aux pressions horizontales (liées à la pression hydrostatique, aux couches géologiques, au ciment, au gravier...). Le diamètre des tubes est plutôt fonction du débit d'exploitation (diamètre de la pompe), et son épaisseur de la profondeur d'installation et de la méthode de cimentation le cas échéant.

En général, c'est au moment de la cimentation que les contraintes mécaniques sont les plus importantes. Il est donc nécessaire de les connaître pour éviter les risques de collapse (écrasement horizontal).

Le schéma ci-dessous compare le calcul de la pression liée au laitier de ciment pendant une opération de cimentation, avec à gauche, un niveau de boue qui remonte jusqu'à la surface, et à droite, un niveau de boue situé à 50 m de profondeur. Dans le premier cas, la pression exercée par le laitier de ciment à 100 m de profondeur est de 8 bars, alors qu'il est de 13 bars dans le second cas de figure.



Cet exemple montre qu'un tube dimensionné pour le cas de gauche n'est pas nécessairement compatible avec le cas de droite.

Doivent être intégrés dans le calcul du collapse d'un tube :

- les tolérances de fabrication des tubes notamment sur l'épaisseur, l'ovalisation, la rectitude, les soudures ;
- un coefficient de sécurité fonction de la méthode de cimentation, densité du laitier, pression d'injection, contexte géologique ;

Parmi les modes de fabrication des tubes les plus connus nous évoquons :

- les tubes soudés longs (en général en 6 m) pour les diamètres standards. Ils sont fabriqués selon différentes normes (ASTM, EN...) influant sur la qualité de finition (soudure, métallurgie) et les tolérances. Ceci affectera la résistance à la corrosion du tube et sa durée de vie ;
- les tubes assemblés à partir de court-bouts de 1 à 3 m, pour les diamètres non standards et/ou faible quantité.

5) Comment réduire les risques de collapse ?

➤ sur des tubes pleins :

- bien définir l'épaisseur des tubes, y compris le coefficient de sécurité ;
- adapter la méthode de cimentation ;
- contrôler la densité, la pression d'injection du laitier de ciment, et la remontée dans l'espace annulaire ;
- bien centrer le tube pour éviter les contraintes anisotropes du laitier de ciment dans l'espace annulaire.

➤ sur une crépine les contraintes les plus importantes sont appliquées au noment :

- de la mise en place du massif filtrant dans l'espace annulaire. Il est conseillé d'injecter le gravier lentement, et d'éviter tout mouvement brusque (tassement) de gravier autour des crépines (cas d'un mauvais placement) ;
- de la mise en eau claire et du développement. Il est recommandé de commencer le développement à un débit faible, puis d'augmenter régulièrement ;

Il est fortement recommandé de ne jamais vider complètement les crépines pendant ces deux phases (gravillonnage et développement).



6) Comment limiter les risques de corrosion ?

Au moment de la conception d'un forage, il est possible d'optimiser les caractéristiques des équipements afin de préserver leurs qualités dans le temps, et notamment face aux risques de corrosion.



Dans ce cadre :

- la matière (nuance d'inox, duplex...) peut être sélectionnée en fonction des caractéristiques de l'eau (avec une analyse d'eau représentative) ;
- le grade "L" (low carbon) doit être privilégié (304 L à la place du 304, ou 316L / 316) ;
- le dimensionnement mécanique doit être en cohérence avec les contraintes appliquées et la profondeur du forage. Une attention particulière sera portée sur la qualité des soudures ;
- les équipements doivent être décapés et passivés (après soudage) pour recréer le film de passivation – protection de l'inox ;



Avant traitement



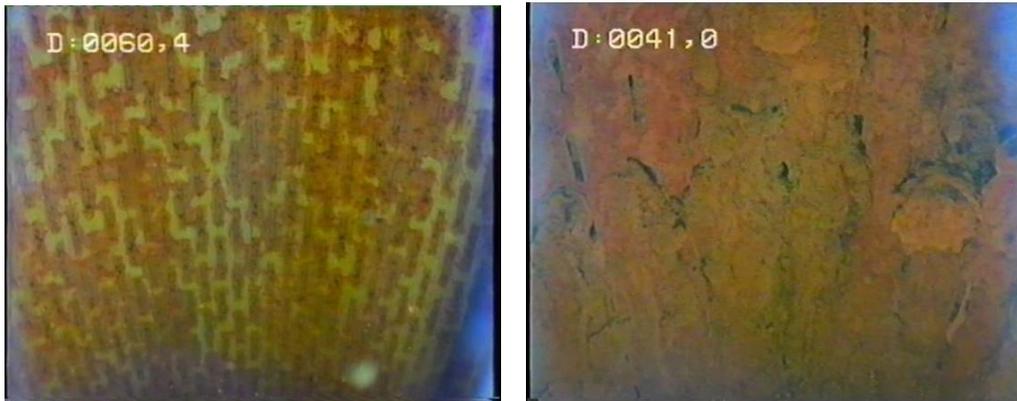
Après traitement

- limiter les soudures sur chantier, sinon les effectuer avec un inertage gaz ;
- l'état de surface doit être préservé des rayures, des piquages et des contaminations extérieures (ex : poussières d'oxyde) ;
- les tubes soudés longs doivent avoir une finition hypertrempe (recuit) ;
- éviter tout contact direct entre l'acier noir et l'inox en utilisant des centreurs diélectriques ;

7) Comment limiter les risques de colmatage des crépines ?

Il existe trois principaux types de colmatage :

- physique : développement incomplet, cake, migration de silts et argiles ;
- chimique : précipitations minérales
- biologique avec les biofilms.



Exemples de colmatage des crépines

Il est possible de limiter la vitesse de colmatage des crépines :

- en désinfectant tout le matériel de forage, les équipements et le massif filtrant, au moment de la création du forage ;



➤ en cours d'exploitation :

- en réduisant la vitesse d'entrée de l'eau dans les crépines ;
- en pompant en régime constant autant que possible ;
- avec un suivi des performances du forage (débit, rabattement...) ;
- avec une maintenance régulière et de qualité (inspection vidéo, pompage d'essai, brossage, traitement...) ;



Sébastien BART
Hydrogéologue
Responsable commercial

Tel : +33 6 09 94 37 60

Sebastien.bart@johnsonscreens.com