

MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL

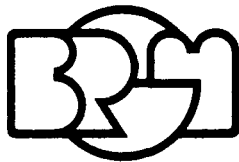
B.P. 6009 - 45060 Orléans Cédex - Tél.: (38) 63.80.01

CALCUL DES OUVRAGES DE CAPTAGE

CHOIX ET CARACTÉRISTIQUES DES COLONNES DE CAPTAGE

par

S. SOLAGES



Département hydrogéologie

B.P. 6009 - 45060 Orléans Cédex - Tél.: (38) 63.80.01

79 SGN 727 HYD

Décembre 1979

7609

RESUME ET AVERTISSEMENTS

Les ouvrages techniques fournissent de nombreuses règles qui permettent de guider le technicien dans le choix des éléments constituant les colonnes de captage en formations meubles, en particulier les crépines et le massif de gravier. Malheureusement, il est assez rare que l'hydrogéologue responsable d'un chantier ait toute latitude pour faire ce choix selon les normes établies. Dans la plupart des cas, il devra se contenter d'approximations -lors des analyses granulométriques par exemple- ainsi que des fournitures et matériaux disponibles sur le chantier ou habituellement utilisés par l'entrepreneur.

Afin d'éviter tout arrêt prolongé de chantier, l'équipement est donc déterminé, le plus souvent, lors de la passation des marchés et approvisionné sur le terrain avant même le démarrage des travaux.

Ce rapport a pour but d'exposer les relations simples qui existent entre le débit d'un forage et les caractéristiques des crépines utilisées.

- Les relations -vitesse de l'eau- surface de vide des crépines-débits des ouvrages- font l'objet de la première partie.

- Les caractéristiques des principaux types de crépines couramment utilisés en forage d'eau et quelques exemples de captage pour chacun d'entre eux, sont examinés dans la deuxième partie.

- Un rappel des normes utilisées pour le choix de l'ouverture des crépines, en fonction de la granulométrie des terrains, figure dans la troisième partie.

- En annexe on trouvera des extraits des différentes documentations fournies par les principaux constructeurs existant sur le marché français ou étranger, ainsi que les prix des crépines.

Ce travail a été réalisé dans le cadre des études méthodologiques du Département Hydrogéologie.

Il est la suite logique d'une série de rapports dont l'objectif est de traiter, cas par cas, l'ensemble des problèmes relatifs au captage et à l'exploitation des eaux souterraines.

En ce qui concerne les forages d'eau, on pourra donc se référer aux études suivantes :

- Normes de l'AWWA pour les puits profonds -guide de préparation des documents contractuels pour la réalisation de puits - 76 SGN 163 AME.
- La corrosion et l'incrustation des forages d'eau, choix de l'équipement adapté - 76 SGN 379 AME.
- Calcul des pertes de charge dans les puits ou forages. Application à la détermination du débit exploitable - 76 SGN 380 AME.

SOMMAIRE
(1ère Partie)

	Pages
1 - INTRODUCTION	1
2 - DETERMINATION DES VITESSES LIMITES DE CIRCULATION DE L'EAU DANS LES COMPOSANTES DE LA COLONNE DE CAPTAGE	5
2.1 - VITESSES LIMITES DANS LE MASSIF DE GRAVIER ET LA FORMA- TION SITUEE AUTOUR DU CAPTAGE	5
2.2 - RECHERCHES DES VITESSES LIMITES AUX PAROIS DES CREPINES...	9
3 - CALCUL DE LA SURFACE D'OUVERTURE DES CREPINES	14
3.1 - DEFINITION DE LA SURFACE D'OUVERTURE	14
3.2 - RELATION OUVERTURES ET DEBITS PAR LONGUEUR UNITAIRE DE CREPINE	14
4 - CONTRAINTES LIEES AU TRANSIT DE L'EAU DU CAPTAGE VERS LA SURFACE	17
4.1 - DEBIT LIMITE ASCENDANT DANS LES CREPINES	17
4.2 - DEBITS LIMITES DANS LES COLONNES D'EXHAURE	19
4.3 - DIAMETRE DES CHAMBRES DE POMPAGE	19
5 - CONCLUSION	24

LISTE DES FIGURES

	Pages
Fig. 1 - Correspondance débit-vitesse de l'eau - surface de vide des crépines	3
Fig. 2 - Vitesse critique d'entraînement des matériaux en fonction de leur granulométrie	6
Fig. 3 - Vitesse de circulation de l'eau à proximité du captage ...	8
Fig. 4 - Exemple n° 1 - Forage de Kebemer	11
Fig. 5 - Exemple n° 2 - Forage de Palméo	11
Fig. 6 - Exemple n° 3 - Forage de Pout Noto	12
Fig. 7 - Abaque permettant de calculer la longueur de crépine correspondant à une surface de vide donnée, en fonction des diamètres et indices de vide	15
Fig. 8 - Débits unitaires théoriques fournis par les crépines en fonction de leurs indices de vide et des vitesses d'en- trée de l'eau	16

Fig. 9 - Exemple de forages d'exploitation	18
Fig. 10 - Calcul des pertes de charge dans les colonnes d'exhaure ..	21
Fig. 11 - Pertes de charge au niveau des variations de section	23
Fig. 12 - Représentation schématique de la démarche suivie pour le choix de l'équipement des forages	25

1 - INTRODUCTION

Les débits optimaux des ouvrages de captage sont déterminés par les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère, par ses conditions aux limites, son alimentation et les prélèvements. Les contraintes économiques sont également prises en compte.

L'estimation de ces débits délimite le choix et le dimensionnement des équipements des forages.

La tendance actuelle est trop souvent au surdimensionnement. Certains y trouvent un facteur de sécurité. Pourtant les réalités techniques et économiques nous amènent à reconsidérer cette fâcheuse pratique.

L'exemple ci-dessous montre bien que le "gain" ainsi obtenu est souvent illusoire.

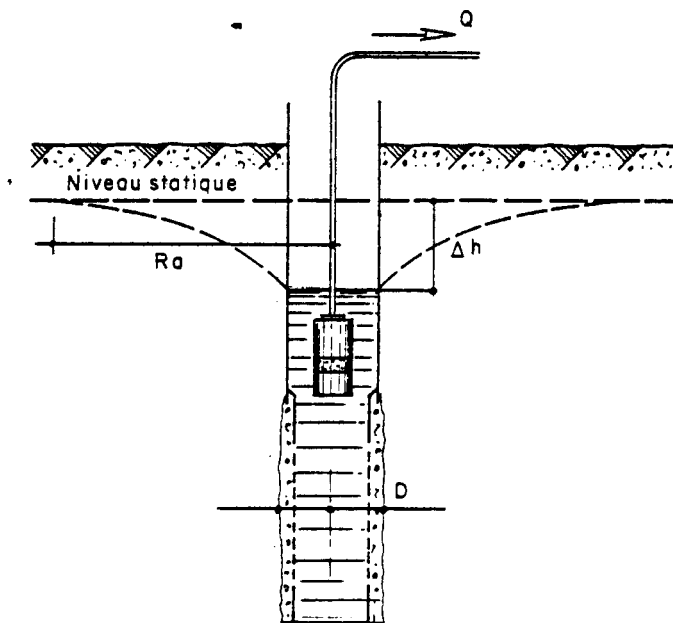
En régime permanent, le rabattement du niveau d'eau ΔH , le débit Q , et le diamètre effectif $2D$ sont liés par la relation :

$$Q = 2 \pi T \frac{\Delta H}{\ln \frac{2R_a}{D}}$$

avec $\left\{ \begin{array}{l} Q = \text{débit (m}^3/\text{h)} \\ \Delta H = \text{rabattement (m)} \\ D = \text{rayon de l'ouvrage (m)} \end{array} \right.$

$R_a =$ rayon d'action (m)

$T =$ transmissivité du milieu (m^2/s)



Pour un même rabattement, le débit exploitable croît en fonction du diamètre : les valeurs ci-dessous prouvent qu'en multipliant par huit le diamètre du trou, l'augmentation de débit n'est que de 43 %.

D	2D	3D	4D	6D	8D
Q	1,12 Q	1,19 Q	1,25 Q	1,35 Q	1,43 Q

(d'après MABILLOT "Les Forages d'Eau" p. 43)

Dans la pratique il en va différemment. Le débit d'un forage ne dépend pas uniquement des caractéristiques de l'aquifère mais aussi, parfois même surtout, de la qualité de son exécution et du choix de l'équipement (crépines et massif de gravier, colonne d'exhaure, chambre de pompage).

En quels termes se pose le problème à l'hydrogéologue chargé de concevoir un équipement ?

Lorsqu'il s'agit d'ouvrages de production il est, dans la plupart des cas, en mesure de se fixer le débit qu'il espère extraire d'un aquifère donné car il connaît ses caractéristiques.

Il s'efforcera donc de calculer les différents éléments du forage de façon à extraire ce débit de l'aquifère, puis à le faire transiter vers la surface, en le modifiant le moins possible.

Le choix final de l'équipement sera la confrontation successive de ces deux points de vue.

Calcul du débit en fonction des caractéristiques de l'aquifère :

Dans la formule précédente, par exemple, si l'on admet l'approximation $\log \frac{Ra}{D} \cong 2 \pi$, l'expression du débit d'exploitation devient :

$$\boxed{Q1/\Delta h = T}^{**}$$

Calcul du débit en fonction des caractéristiques de la colonne de captage (crépines)

Le débit est calculé par la formule suivante :

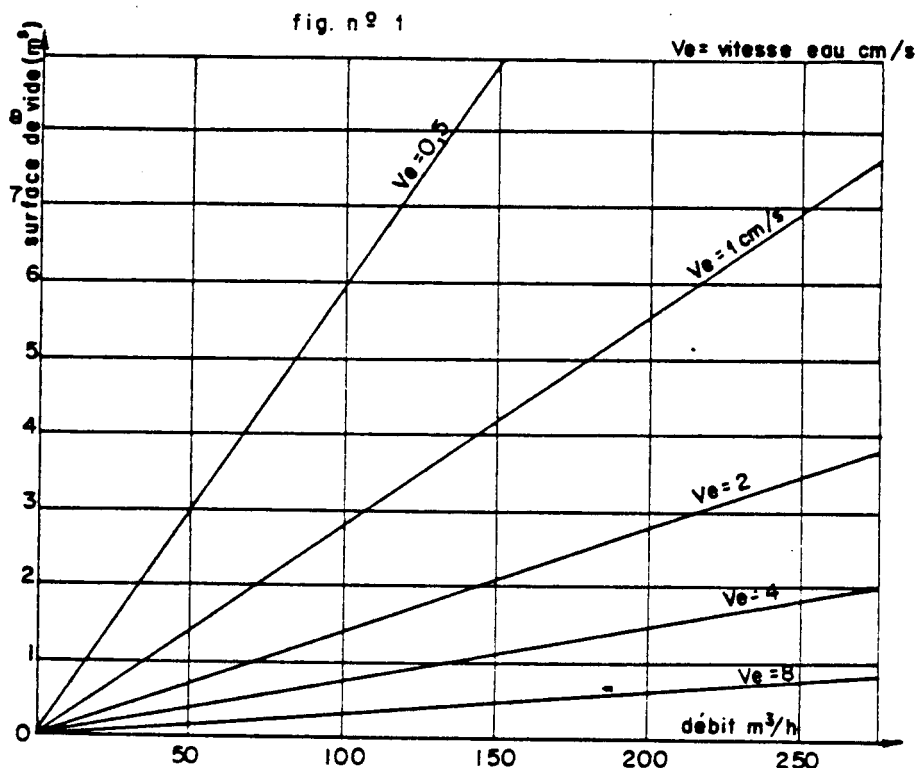
$$Q = \pi \emptyset I_v \cdot l \cdot V_e \quad \text{avec} \quad \begin{array}{l} \pi \emptyset l = \text{surface totale des crépines} \\ l = \text{longueur des crépines} \\ \emptyset = \text{diamètre des crépines} \\ I_v = \text{indice de vide des crépines (\%)} \\ V_e = \text{vitesse d'entrée de l'eau aux} \\ \quad \text{parois des crépines} \end{array}$$

$$\boxed{Q2 = s V_e}$$

$$\begin{array}{l} \text{la surface d'ouverture des crépines} \\ s = \pi \emptyset l \cdot I_v \end{array}$$

** Ce débit optimal d'exploitation ne peut être atteint que dans le cas où la totalité de la formation aquifère est crépinée. Dans le cas contraire, il faudrait tenir compte de l'influence de la pénétration partielle. On se reportera pour cela au rapport méthodologique n° 73 SGN 441 AME.

Correspondance débit -vitesse de l'eau- surface de vide des crépines (fig. n°1)



Lors de la conception de la colonne de captage on recherchera chaque fois que possible, des vitesses V_e admissibles aux parois du captage, ainsi que des caractéristiques de crépines (indice de vide-diamètre-longueur) telles que l'égalité $Q_1 = Q_2$ soit satisfaite au mieux.

On s'attachera donc à fournir en premier lieu au technicien, la démarche et les éléments qui lui permettront d'optimiser l'ensemble des composantes du forage en fonction de la nature de l'aquifère et du débit d'exploitation recherché.

Le calcul des différentes vitesses admissibles de circulation de l'eau lui permettra de dimensionner la colonne de captage - la colonne d'exhaure et la chambre de pompage, tout en limitant au mieux les risques de surdimensionnement ou de pertes de charge excessives.

- Au niveau de la colonne de captage (chap. 2), les vitesses étudiées seront les suivantes :

- . les vitesses critiques d'écoulement dans la formation et dans le massif de gravier (vitesses au-delà desquelles les éléments les plus fins sont entraînés (§2-1)).
- . les vitesses limites de pénétration de l'eau au droit des crépines (vitesses au-delà desquelles apparaissent des pertes de charge singulières (§2-2)).

On donnera également le moyen de calculer les surfaces de vide des crépines en fonction des paramètres qui les caractérisent - ainsi que les débits unitaires fournis par différents types de crépines (chap. 3).

Pour la colonne d'exhaure, on calculera les vitesses et les débits limites au-delà desquels les pertes de charge deviennent excessives, en fonction de différents diamètres de casings (chap. 4).

Il en sera de même pour les chambres de pompage en fonction de l'encombrement des pompes

En ce qui concerne la colonne de captage, les vitesses calculées sont dites vitesses théoriques, car elles ne tiennent pas compte d'un éventuel colmatage des crépines par des éléments du massif de gravier ou de la formation.

DEUXIEME PARTIE

CARACTERISTIQUES DES PRINCIPAUX TYPES DE CREPINES UTILISES

EN FORAGE D'EAU

SOMMAIRE
(2ème Partie)

	Pages
1 - INTRODUCTION	29
2 - LES CREPINES A PERSIENNES	30
2.1 - DESCRIPTION	31
2.2 - PERFORMANCES	31
2.3 - UTILISATION DES CREPINES A PERSIENNES AU SENEGAL ET RE- SULTATS	31
2.4 - RESULTATS DE QUELQUES FORAGES EQUIPES DE CREPINES A PER- SIENNES (AQUIFERE DES SABLES MAESTRICHTIENS)	32
2.5 - CARACTERISTIQUES DES CREPINES A PERSIENNES	33
3 - LES CREPINES A NERVURES REPOUSSEES	35
3.1 - DESCRIPTION	36
3.2 - PERFORMANCES	36
3.3 - UTILISATION DES CREPINES A NERVURES REPOUSSEES AU SENEGAL ET RESULTATS	36
3.4 - RESULTATS DE QUELQUES FORAGES EQUIPES DE CREPINES A NER- VURES REPOUSSEES	37
3.5 - CARACTERISTIQUES DES CREPINES A NERVURES REPOUSSEES	39
4 - LES CREPINES A ANNEAUX DE PLASTIQUE	41
4.1 - DESCRIPTION	42
4.2 - PERFORMANCES	42
4.3 - UTILISATION DES CREPINES A ANNEAUX DE PLASTIQUE AU SENEGAL	42
4.4 - RESULTATS DE QUELQUES FORAGES EQUIPES DE CREPINES A AN- NEAUX DE PLASTIQUE	43
4.5 - CARACTERISTIQUES DES CREPINES A ANNEAUX DE PLASTIQUE	44
5 - LES CREPINES A FENTES CONTINUES	46
5.1 - DESCRIPTION	47
5.2 - PERFORMANCES	47
5.3 - UTILISATION DES CREPINES A FENTES CONTINUES AU SENEGAL ...	48
5.4 - RESULTATS DE QUELQUES FORAGES EQUIPES DE CREPINES A FENTES CONTINUES	48
5.5 - CARACTERISTIQUES DES CREPINES A FENTES CONTINUES	50
6 - LES CREPINES A MASSIF DE GRAVIER AGGLOMERE	52
6.1 - DESCRIPTION	53
6.2 - UTILISATIONS DES CREPINES A MASSIF DE GRAVIER AU SENEGAL ET RESULTATS	53
6.3 - RESULTATS DE QUELQUES FORAGES EQUIPES DE CREPINES A MASSIF DE GRAVIER AGGLOMERE	54
6.4 - CARACTERISTIQUES DES CREPINES A MASSIF DE GRAVIER AGGLO- MERE	55

	Pages
7 - COMPARAISON DE QUELQUES RESULTATS OBTENUS PAR DIFFERENTS TYPES DE CAPTAGE DANS DES CONDITIONS HYDROGEOLOGIQUES SENSIBLEMENT IDENTIQUES	57
7.1 - CHAMP DE CAPTAGE DE THIAROYE	57
7.2 - KAOLACK (VILLE) SABLES MAESTRICHIENS	57
7.3 - BEER TIALANE - VALLEE FOSSILE AVEC SABLES QUATERNAIRES ...	58
8 - CARACTERISTIQUES COMPAREES DE DIFFERENTS TYPES DE CREPINES	59

LISTE DES FIGURES

	Pages
Fig. 1 - Débits unitaires des crépines à persiennes	34
Fig. 2 - Débits unitaires des crépines à nervures repoussées	40
Fig. 3 - Débits unitaires des crépines à anneaux de plastique	45
Fig. 4 - Débits unitaires des crépines à ouvertures continues	51
Fig. 5 - Débits unitaires des crépines à massif de gravier aggloméré	56

1 - INTRODUCTION

Parallèlement aux techniques de forage l'évolution de l'équipement des ouvrages et du captage en particulier, est allé dans le sens d'une plus grande fiabilité allant de pair avec une réduction des temps de travaux.

En ce qui concerne les crépines, les progrès technologiques ont permis de fabriquer des éléments théoriquement plus performant avec des matériaux résistant à la corrosion.

Les crépines à ouverture continue, par exemple, permettent d'atteindre des indices de vide supérieurs à 30 %, alors que les crépines à persiennes n'atteignent que 5 % dans le meilleur des cas.

Paradoxalement, les résultats n'ont pas toujours été améliorés. En fait cela n'est souvent qu'une apparence. On ne doit pas perdre de vue que la durée du développement des ouvrages équipés de crépines à persiennes variait entre 1 et 3 mois, parfois plus, chose qui est devenue impensable étant donné les conditions économiques actuelles (salaires, carburants, matériel de forage plus sophistiqué, etc.).

S'il existe de nombreux constructeurs de crépines, surtout aux Etats-Unis, il est malgré tout possible de distinguer cinq grands types de captages à l'intérieur desquels les différences sont souvent minimes. Seuls les prix permettent parfois de retenir une marque plutôt qu'une autre. Ces types de crépines sont les suivants :

- les crépines à persiennes
- les crépines à nervures repoussées
- les crépines à anneaux de plastique
- les crépines à ouverture continue
- les crépines à massif de gravier aggloméré

(Les tubes lanternés ou perforés utilisés pour les captages des formations calcaires seront cités pour mémoire, de même que les crépines en PVC).

Dans cette deuxième partie seront décrits ces différents types de crépines. Quelques exemples de forages choisis au Sénégal permettront de comparer les résultats obtenus dans des aquifères sensiblement homogènes.

On devra se garder d'en tirer des conclusions hâtives car l'expérience prouve que deux forages sont difficilement comparables dans l'absolu, la qualité de l'exécution, en particulier, l'emporte encore souvent sur les performances des colonnes de captage.

TROISIEME PARTIE

RAPPEL DES NORMES UTILISEES POUR LE CHOIX DES MASSIFS DE
GRAVIER ET DE L'OUVERTURE DES CREPINES

SOMMAIRE

(3ème Partie)

	Pages
1 - INTRODUCTION	62
2 - PRELEVEMENTS D'ECHANTILLONS ET ANALYSES GRANULOMETRIQUES	63
2.1 - PRELEVEMENT D'ECHANTILLONS	63
2.2 - ANALYSES GRANULOMETRIQUES	63
2.3 - INTERPRETATION DES COURBES GRANULOMETRIQUES ET CLASSIFI- CATION DES TERRAINS	64
3 - CHOIX DES CONDITIONS DE CAPTAGE	67
3.1 - CONDITIONS D'AUTODEVELOPPEMENT	67
3.2 - RÔLE ET CHOIX DU MASSIF DE GRAVIER	67
4 - CHOIX DE L'OUVERTURE DES CREPINES	72
4.1 - CAPTAGE AVEC MASSIF DE GRAVIER	72
4.2 - CAPTAGE SANS MASSIF DE GRAVIER	72

LISTE DES FIGURES

	Pages
Fig. 1 - Courbes granulométriques types	65
Fig. 2 - Classification des sables d'après l'analyse granulométri- que	68
Fig. 3 - Exemple de calcul de la granulométrie du massif de gravier	70

1 - INTRODUCTION

Cette troisième partie est un rappel des normes utilisées pour le choix des caractéristiques du captage en fonction de la granulométrie de la formation.

On s'attachera donc à décrire successivement le mode de prélèvement des échantillons de terrain, les techniques d'analyses granulométriques leur interprétation et leur incidence sur le calibrage du massif de gravier et l'ouverture des crépines.

Ces opérations sont en fait le préalable à toute conception de captage d'eau souterraine, car elles conditionnent en partie la productivité du forage et surtout sa bonne facture.

Le rôle de l'hydrogéologue n'est pas pour autant terminé car il doit aussi rendre compte de la bonne exécution des travaux ainsi que du développement du forage.