

## 2. Equipement du forage

### 2.1 Tubage plein

#### 2.1.1. Objectif ; Il a pour fonction :

- de canaliser l'eau depuis la ressource jusqu'en surface,
- de tenir mécaniquement les terrains traversés,
- de participer à l'individualisation de l'eau captée du reste du forage ou de la surface,
- de permettre la fixation du matériel de tête d'ouvrage (supportage de pompe immergée, raccordement au réseau de surface).

Le diamètre du tubage ou des différents tubages sera lié à la profondeur finale, à la qualité des terrains traversés et au débit de production espéré.

Les tubages peuvent être provisoires (recouverts par l'équipement définitif) ou définitifs (servant de canalisation), et dans ce cas un diamètre uniforme sur le forage sera préféré.

**2.1.2. Types de tubage. Assemblage :** Outre les matériaux, les tubages se caractérisent par leur diamètre, leur épaisseur, leur méthode de fabrication pour les tubages métalliques (tubes étirés ou soudés) et leurs techniques d'assemblage qui peut s'effectuer par filetage, soudage, bride ou différents raccords particuliers. La sélection de ces assemblages doit permettre de limiter toute zone de rétention de fluide et de turbulence. Toute multiplication de matériaux différents (joints, soudures) est à éviter.

**2.1.3. Choix des matériaux :** La plupart des matériaux destinés à l'eau potable peuvent être utilisés. Cependant au cas par cas, il est essentiel de les spécifier en prenant en compte tous les paramètres :

- Physico-chimiques des fluides rencontrés. Il faut prendre en compte les eaux minérales, mais aussi les autres productions potentielles, les fluides de forage, et surtout les produits utilisés pour les nettoyages et stérilisation après forage et exploitation.
- Mécaniques liées aux contraintes de terrain et des fluides statiques ou dynamiques, mais aussi aux interventions techniques dans les ouvrages (descente d'outil, de matériel, de pompe, de brossage mécanique ...).
- D'états de surface, qui est un facteur de développement/accrochage de biofilm et un catalyseur de dépôt.
- Organoleptiques, que ce soit sur les matériaux neufs mais aussi au cours de leur vieillissement.

Aussi tous les matériaux comme les aciers inoxydables, PVC, acier avec revêtement ou les composites peuvent être envisagés, mais présentent tous des contre indications parmi lesquelles :

- Sensibilité aux rayures, chlorures, sulfures, hydrogène et tensions pour certains aciers inoxydables,
- Sensibilité aux chocs, à la température et aux chlorures pour les PVC,

- Effets catastrophiques de rupture (par choc ou rayure) des couches superficielles de composite ou d'acier revêtu.

L'expérience du personnel de chantier doit être vérifiée au regard des matériaux à mettre en place. Par ailleurs, des contraintes ultérieures d'utilisation de l'ouvrage doivent être précisées en fonction de ces matériaux.

**2.1.4. Précaution à prendre dans le cadre d'un forage d'eau minérale :** Plus que pour tout forage d'eau, il faut s'assurer que la qualité physico-chimique du fluide qui sera en contact avec le tubage ne réagisse pas avec la nature du matériau qui constitue le tube et inversement. Ceci passe par une bonne connaissance :

- de la qualité physico-chimique du fluide qui va être capté
- des caractéristiques des matériaux de tubage.

**2.1.5. Contrôle au moment de la pose ;** Il y a lieu de vérifier :

- que le matériel corresponde aux spécifications demandées,
- que le matériel soit nettoyé et désinfecté avant d'être mis en place,
- que les cotes prévues de mise en place soient respectées, et en particulier que les superpositions de tubage dans les télescopes soient suffisantes,
- que l'assemblage par vissage, soudage ou autre, soit fait dans les règles de l'art,
- que le tubage ne soit pas endommagé lors de sa mise en place (frottements limités lors de la descente).
- que l'utilisation de graissage de type alimentaire soit limitée au strict nécessaire.

Par ailleurs, la qualité de mise en œuvre, en particulier des assemblages est un facteur essentiel de réussite.

**2.1.6. Contrôle à posteriori :** Une inspection vidéo permettra de visualiser la mise en place correcte du tubage suivant les spécifications, l'état général de ce dernier et l'étanchéité apparente des raccords soudés ou filetés

## 2.2. Crépine

**2.2.1. Objectif :** Schématiquement la crépine est un tube ajouré laissant le passage à l'eau tout en maintenant la formation. En tant qu'interface avec la ressource, elle constitue l'élément principal de l'équipement d'un ouvrage d'exploitation. Sa longueur, son type, sa nature sont directement fonction de l'épaisseur de la formation à capter, du niveau de rabattement maximal, de la nature de l'aquifère. Elle devra répondre aux critères suivant :

- ✓ permettre la production de fluide sans particule fine,
- ✓ rester inerte vis à vis du fluide à capter (interaction de matériaux mais aussi turbulence),
- ✓ résister à la pression d'écrasement exercée par la formation aquifère en cours d'exploitation,
- ✓ ne pas risquer un vieillissement prématuré,

✓ induire des pertes de charges minimales.

### 2.2.2. Types de crépines ; Une crépine se caractérise :

- par la nature du matériau qui la constitue,
- par la forme des ouvertures,
- par la taille des ouvertures,
- par le coefficient d'ouverture.

Les caractéristiques géométriques (taille, densité et forme des ouvertures) dépendent de la nature et des caractéristiques hydrauliques de l'aquifère définies lors du suivi de forage (analyse granulométrique, diagraphie...).

Dans certains types de terrain très consolidés comme des carbonates ou des terrains cristallins, la présence de crépine n'est pas forcément utile, elle peut induire une augmentation des pertes de charges quadratiques (liées à l'ouvrage).

Lors de la réalisation de forages d'eau minérale les deux types de crépines le plus fréquemment utilisés sont (Fig. 1) :

➤ les crépines perforées (à trous oblongues, à nervures repoussées, ou à fentes rectangulaires pour le PVC).

Le coefficient d'ouverture est limité de 10 à 20 %,

➤ les crépines à fente continue sur toute la longueur de la crépine, obtenue par enroulement hélicoïdal d'un "fil enveloppe profilée" soudé sur des génératrices métalliques verticales. Le coefficient d'ouverture est nettement supérieur (jusqu'à 50 %). Ce type de crépine n'existe pas en PVC.

**2.2.3. Méthode de mise en place :** Les ouvrages de captage dans leur majorité sont de l'un des deux types suivant :

- ouvrage à équipement monolithique (1 seul diamètre), les crépines sont alors descendues au bout des tubages pleins,
- ouvrage télescopé à crépine de diamètre inférieur à celui du tubage d'occultation des niveaux supérieurs.

L'assemblage des crépines se fait soit alors par filetage ou par soudage. La présence de crépines simplement posées en fond de trou sont à proscrire dans la mesure du possible car ceci peut être la cause de bypass par circulation dans l'annulaire.

**2.2.4. Choix du matériau :** On peut se reporter au 2.1.3. Avec en plus une comptabilité à vérifier entre le choix des matériaux de tubage et de crépine (couplage électrochimique à éviter).

**2.2.5. Précaution spécifique à prendre dans le cadre d'un forage d'eau minérale :** dans les cas des eaux minérales, qui peuvent présenter une composition hors norme, la plus grande attention sera portée au choix des matériaux et à la taille des ouvertures pour éviter toute corrosion ou colmatage précoce. D'où

l'importance de connaître a priori, la physico chimie du fluide capté, mais aussi son comportement hydrochimique en fonction de facteurs de vitesse (turbulence) et pression.

**2.2.6. Contrôle au moment de la mise en place ;** Il faut veiller à ce que :

- le matériel approvisionné corresponde bien aux spécifications choisies et calculées et ne soient pas endommagés au cours des transports et stockages,
- les cotes prévues de pied et de tête de crépine soient respectées,
- l'assemblage par vissage ou soudage soit fait dans les règles de l'art ; (couple de rotation, présence de gaz neutre et technique de soudure appropriée),
- l'ensemble soit nettoyé (décapé et passivé pour les aciers inox) et désinfecté avant d'être mis en place

**2.2.7. Contrôle à posteriori ;** Il sera contrôlé que lors des pompages d'essai après développement, le pourcentage de particules fines reste en dessous des limites fixées au cahier des charges, avec une inspection vidéo, qu'il n'y a pas de défaut apparent, d'erreur de cote.

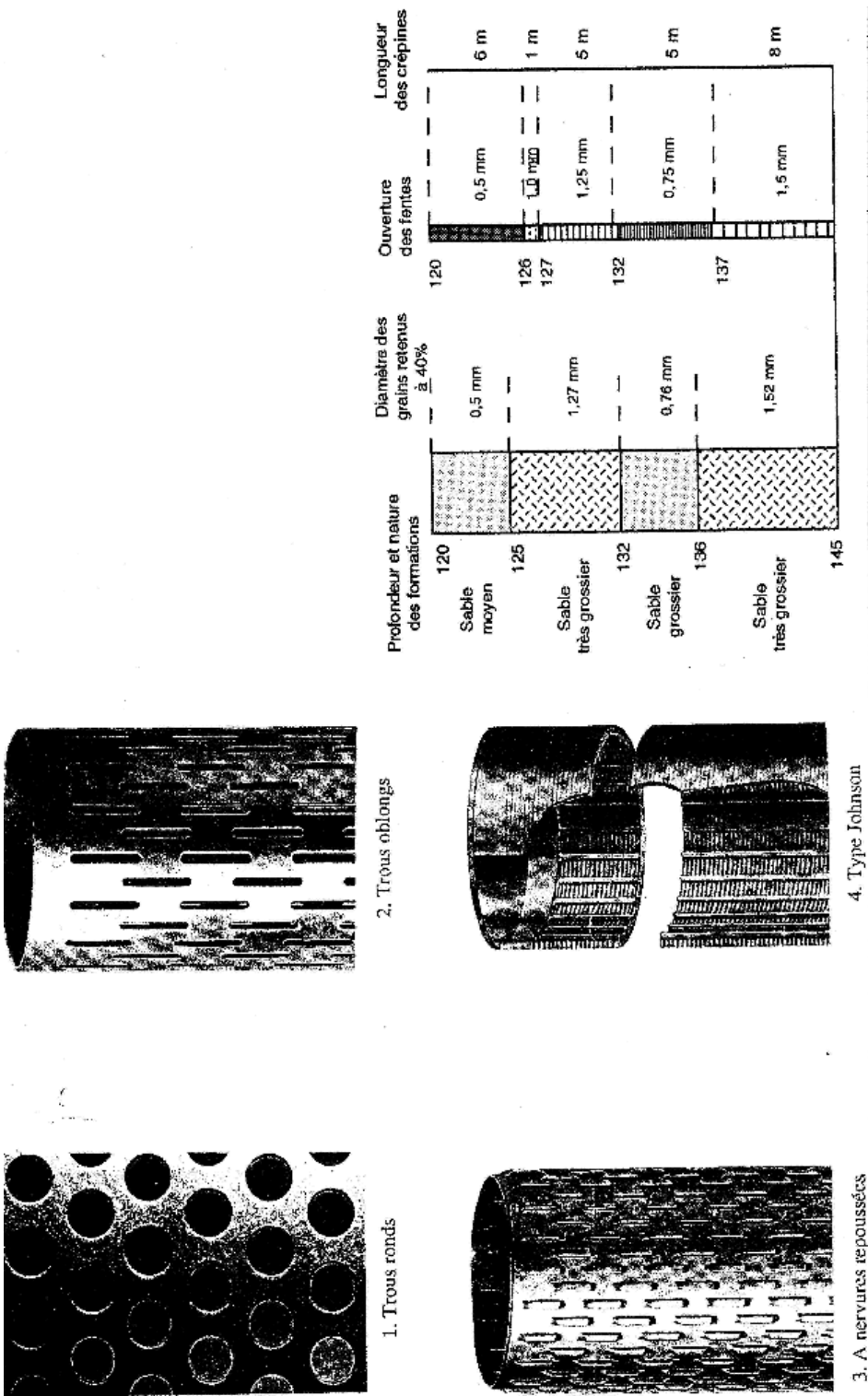


Fig. 1 : Les différents types de crépines - critères de choix des fentes en formation hétérogène

### 3. Massif filtrant

**3.1. Objectif et principe :** Il s'agit de mettre en place, entre la crépine et l'aquifère, un massif de gravier dont la granulométrie doit être élevée (limitation de perte de charge) tout en assurant une filtration efficace.

La mise en place d'un massif de gravier permet d'augmenter la taille des ouvertures des crépines (ou slot), de réduire la vitesse de circulation de l'eau à l'entrée de la crépine et donc d'augmenter le débit de production ainsi que la longévité de l'ensemble.

**3.2. Choix et dimensionnement du massif filtrant :** le massif sera constitué d'un matériau propre sans élément fin, de forme arrondie pour limiter les pertes de charge. Enfin, il sera caractérisé par une courbe granulométrique précise définie à partir de la courbe granulométrique propre de l'aquifère.

Il ne sera pas nécessaire de mettre en place de massif filtrant artificiel :

- lorsque la granulométrie de l'aquifère est grossière, on peut réaliser un développement naturel ou auto développement,
- lorsque l'encaissant est consolidé.

Par contre, lorsque dans les aquifères consolidés ou semis consolidés, présentent des risques d'éboulements, la mise en place d'un massif de blocage n'a pas un effet de filtre mais de soutènement.

**3.3. Précautions à prendre dans le cadre d'un forage d'eau minérale :** tout comme pour les crépines, la physico chimie du fluide capté doit être prise en compte pour choisir un massif filtrant dont les éléments n'interféreront pas avec l'eau minérale (sable siliceux).

**3.4. Contrôle au moment de la mise en place ;** Il faudra s'assurer :

- ✓ de la conformité du massif filtrant (qualité et quantité) avec les prescriptions retenues,
- ✓ du nettoyage et désinfection du massif de gravier avant sa mise en place,
- ✓ de la mise en place du massif dans les règles de l'art.
- ✓ dans le cas d'un forage peu profond, le massif de gravier est introduit entre le tube d'extension de la crépine et le tube de protection qui est remonté au fur et à mesure du remplissage annulaire par le gravier,
- ✓ dans le cas d'un forage profond, le massif de gravier est mis en place par un circuit continu sous pression, la cote supérieure du massif de gravier doit recouvrir en partie le tube plein pour disposer d'une réserve de gravier et jouer pleinement son rôle de filtre.

**3.5. Contrôle a posteriori :** On doit s'assurer que lors des pompages d'essai après les phases de développement, le pourcentage de fines reste en dessous des limites fixées au cahier des charges.

## 4. Cimentation

**4.1. Objectifs :** La cimentation est l'opération qui consiste à mettre en place par simple déplacement, du laitier de ciment derrière une colonne de tubage, en une ou plusieurs fois.

La cimentation du tubage est destinée à atteindre les objectifs suivants :

- ✓ ancrer les tubages dans le terrain ou les tubes provisoires,
- ✓ empêcher toute migration de fluide d'une formation dans une autre et surtout celles productrices qui constituent l'objectif de ce forage,
- ✓ rendre l'espace annulaire étanche et empêcher la pollution par les eaux de surface,
- ✓ protéger le tubage de l'action corrosive de certains fluides ou terrain.

Pour atteindre ces objectifs, la "gaine de ciment" mise en place entre le terrain et le tubage doit être : continue, homogène, imperméable et adhérente aux parois du forage et au tubage.

**4.2. Méthode de réalisation :** devant l'importance d'une bonne cimentation pour l'exploitation des eaux minérales, mais d'une manière plus générale pour toute action de forage, l'utilisation de moyens rudimentaires (bac ouvert, pelle manuelle pour le malaxage), l'absence de moyens de contrôle de volume, de densité sur place est à proscrire.

Les méthodes de cimentation les plus courantes sont :

- la cimentation hors de la colonne de tubage. Le pied de tube est ancré dans le terrain ou obturé. Un tube de petit diamètre est mise en place jusqu'au fond du trou dans l'espace annulaire. Le tube d'injection est retiré en fin de cimentation. Cette méthode est à réserver aux cimentations peu profondes de l'ordre de 50 m.
- la cimentation par l'intérieur du tubage à sceller (cimentation sous pression). Le pied de tube est équipé d'un sabot destructible qui permet le passage du ciment mais empêche la remontée des fluides dans le tubage. La cimentation est terminée lorsque le coulis de ciment réapparaît en surface dans l'espace annulaire avec la qualité de celui injecté.
- La cimentation au moyen d'un bouchon libre.
- La cimentation au moyen d'un bouchon libre (cimentation sous pression). Le bouchon peut être en plastique ou toute autre matière inerte, légère et destructible. Il a pour objet de séparer les deux phases d'injection (Fig. 3).

D'autres méthodes de cimentation ne sont utilisées qu'en forage type pétrolier.

Le choix de la méthode est lié principalement à la profondeur de la cimentation, l'état des parois du forage qui peuvent être régulières ou non. Dans la mesure du possible, on préférera les cimentations sous pression.

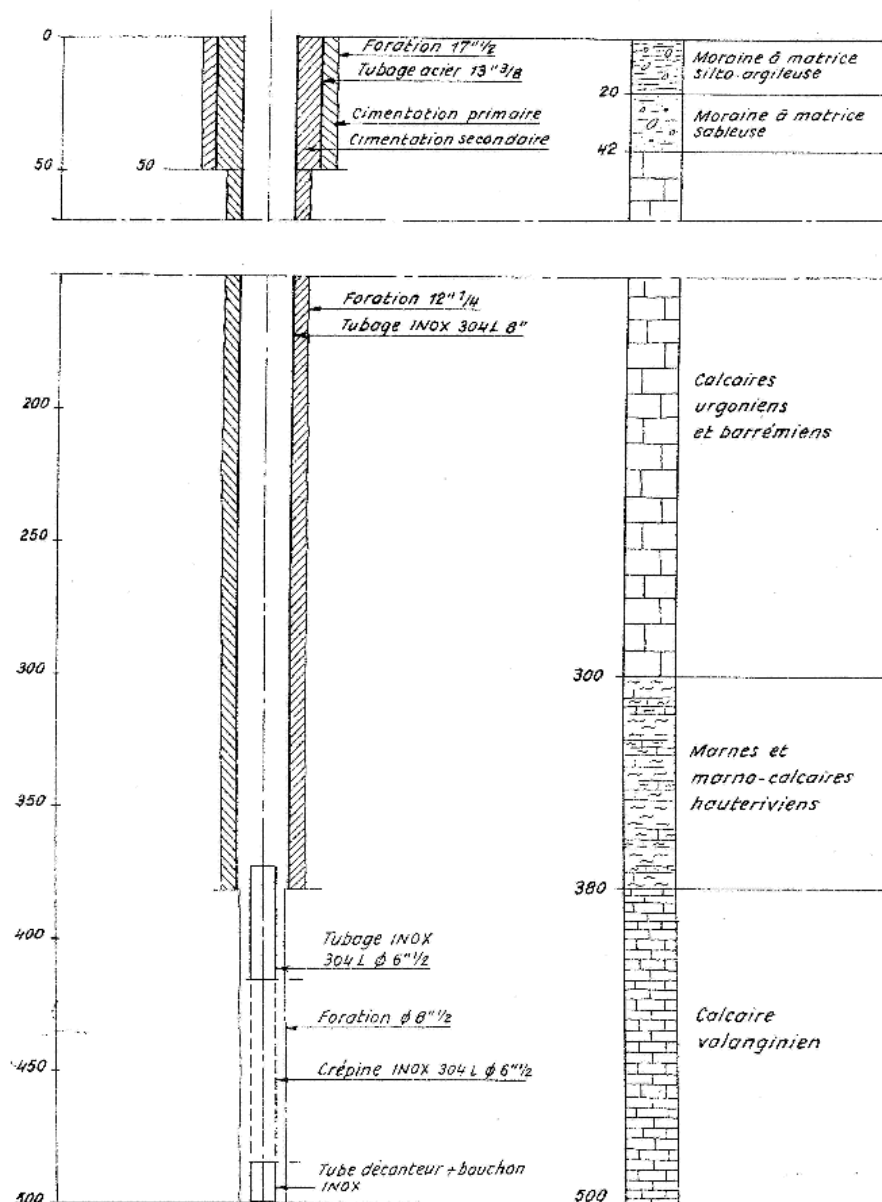


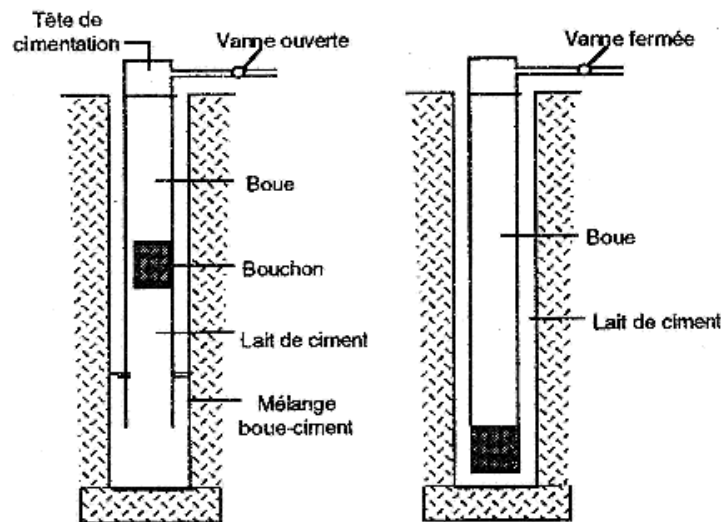
Fig. 2 : Exemple équipement en ouvrage d'exploitation avec protection en tête

**4.3. Choix du ciment :** Le succès d'une cimentation dépend bien sûr :

- ✓ de la préparation du trou,
- ✓ du mixage et du pompage du laitier,
- ✓ du déplacement du ciment,
- ✓ du temps de prise.

Mais aussi du choix du ciment et des éventuels additifs en fonction de l'environnement dans lequel il va être mis en place : température et pression dans l'ouvrage, qualité des roches encaissantes, qualité des fluides souterrains, qualité de l'eau avec laquelle sera réalisée le laitier, mais aussi matériau de tubage.





*Envoi d'un bouchon après injection de lait de ciment*

**Fig. 3 : Schéma descriptif théorique d'une cimentation sous pression (méthode du bouchon libre)**

#### **4.4. Précautions à prendre dans le cadre d'un forage d'eau minérale :**

- une attention particulière sera portée aux fluides en contact avec la cimentation.
- Les eaux sulfatées, carbogazeuses et chaudes nécessitent systématiquement l'emploi de ciments spéciaux.
- Les additifs employés ne devront pas être nocifs pour l'environnement du forage et le fluide exploité.

#### **4.5. Contrôle au moment de la réalisation :** Il s'agit d'une opération importante. Il faudra contrôler :

- ✓ la qualité du ciment employé et stocké dans de bonnes conditions, et conforme à ce qui a été spécifié, de même pour les additifs,
- ✓ la qualité de l'eau employée pour la réalisation du laitier,
- ✓ la réalisation du laitier tant en qualité qu'en quantité.

Un échantillon sera prélevé en début et en fin de cimentation et stocké pour visualiser la prise du coulis et éventuellement réaliser des éprouvettes tests.

- ✓ la mise en place du laitier conformément aux règles de l'art,
- ✓ le volume réel injecté,
- ✓ la qualité du coulis en surface dans l'espace annulaire,
- ✓ la durée du temps de prise.

**4.6. Contrôle a posteriori :** une diagraphie de contrôle (Ciment Bond Log) peut être mise en œuvre. Il s'agit d'une diagraphie sonore où l'on mesure l'atténuation d'un spectre sonore dans le tube et le ciment.