

Généralité

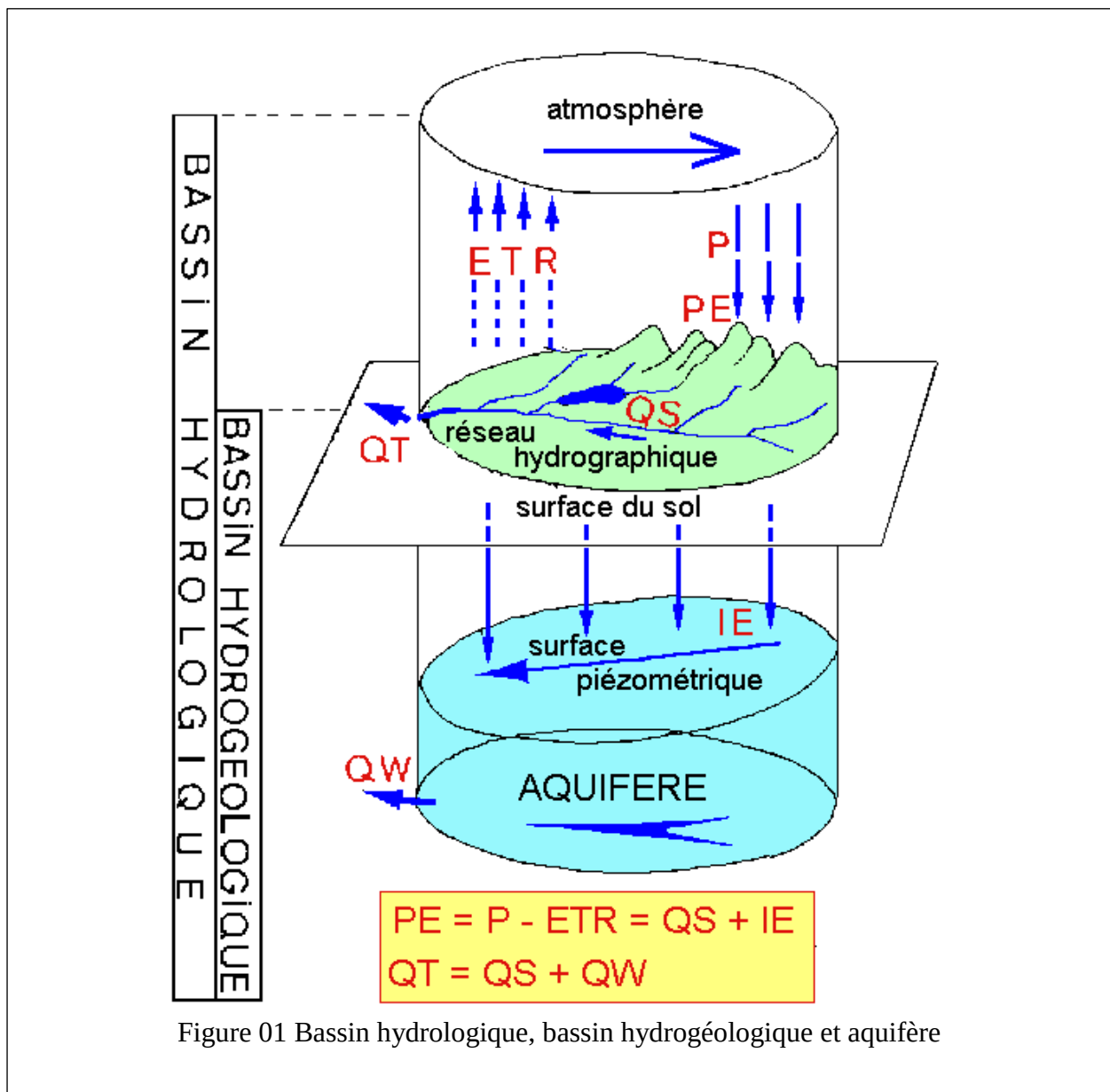
I. Hydrogéologie

L'hydrogéologie est la science des eaux souterraines. Cette science étudie les interactions entre les structures géologiques du sous-sol (nature et structures des roches, des sols) et les eaux souterraines ainsi que les eaux de surface.

L'hydrogéologie permet donc de connaître et de comprendre comment les structures géologiques du sol et du sous-sol affectent les caractéristiques physico-chimiques de l'eau, sa distribution, son écoulement et sa résurgence.

II. QUELQUES DEFINITIONS

- Le bassin hydrologique est délimité par les lignes de crêtes topographiques isolant le bassin versant d'un cours d'eau et de ses affluents. Il correspond en surface au bassin hydrographique.
- Le bassin hydrogéologique correspond à la partie souterraine du bassin hydrologique



- *Un **aquifère** est un corps (couche, massif) de roches perméables comportant une zone saturée suffisamment conductrice d'eau souterraine pour permettre l'écoulement significatif d'une nappe souterraine et le captage de quantité d'eau appréciable.
- Les formations peu perméables (dites semi-perméables), comme les sables argileux, peuvent stocker de l'eau mais la vitesse de transit est faible : on parle d'**aquitard**. Ces formations peuvent assurer la communication entre aquifères superposés par le phénomène de drainance.
- Les **aquicludes** sont des formations imperméables ne produisant pas d'eau.
- Une **nappe** est l'ensemble des eaux comprises dans la zone saturée d'un aquifère, dont toutes les parties sont en liaison hydraulique.
- La surface piézométrique d'une nappe libre est la surface supérieure de la zone saturée de l'aquifère. Les mêmes cotes de cette surface forment des courbes de niveau appelées courbes isopiézométriques car elles correspondent à des points de même charge hydraulique. L'eau de la nappe se déplace perpendiculairement aux courbes isopiézométriques
- **Niveau piézométrique**: La mesure du niveau piézométrique est l'opération de base en hydrogéologie; on utilise généralement des sondes automatiques qui enregistrent les fluctuations du niveau de la nappe au cours de l'année. Pour les nappes artésiennes, on mesure l'altitude du jet d'eau au-dessus du sol. Le pompage provoque le rabattement de la surface piézométrique.

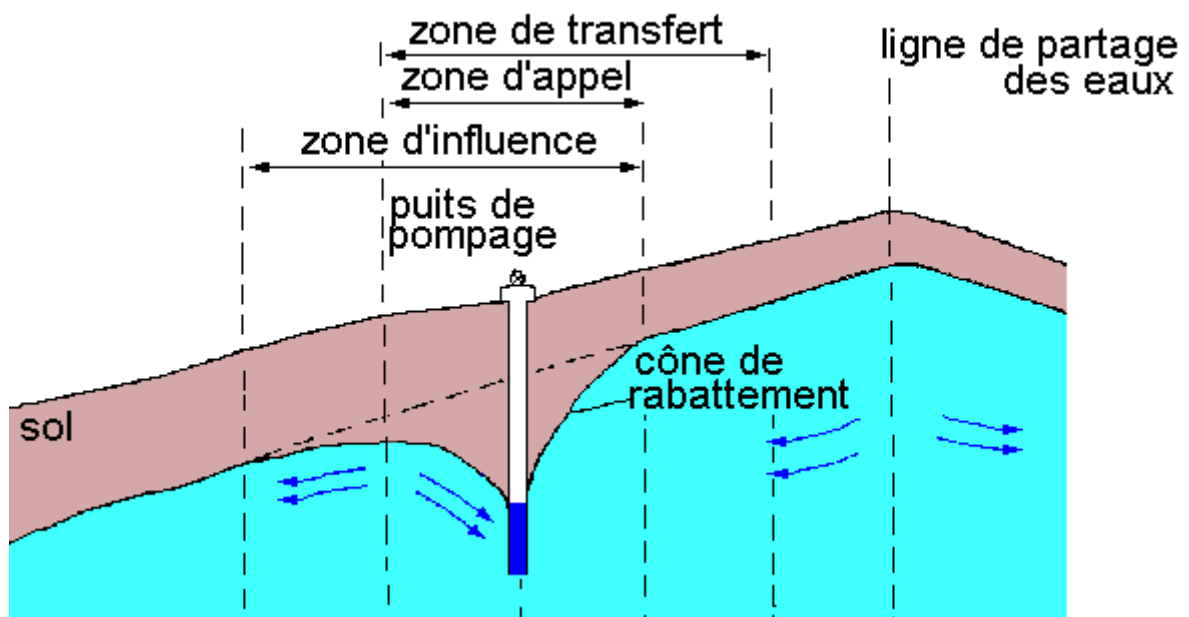


Figure 02 cônes de rabattement induit par un pompage

III. TYPES DE NAPPES

III.1 Nappes libres

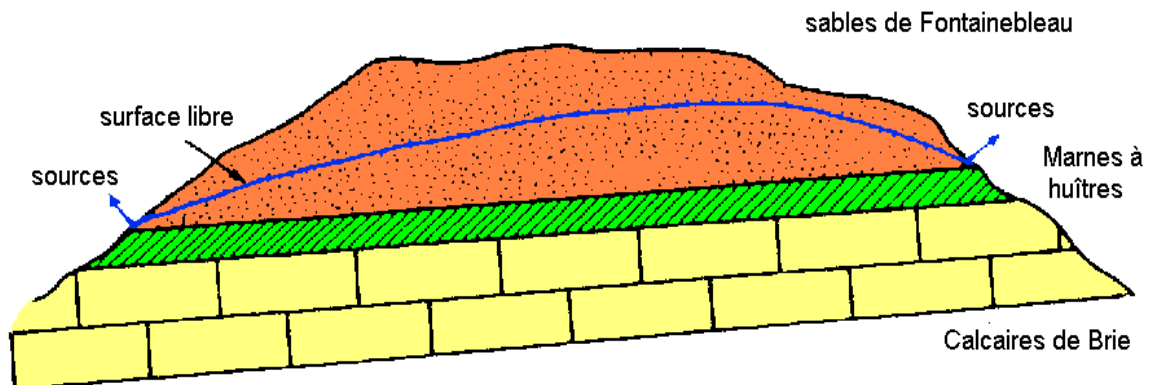
La surface piézométrique coïncide avec la surface libre de la nappe qui est surmontée par une zone non saturée.

III.1.1. Nappe de vallée en pays tempéré

Ce type de nappe est la première directement atteinte par les puits : c'est la nappe phréatique. Lorsque le sol est uniformément poreux et perméable, l'eau de pluie s'infiltré jusqu'à une couche imperméable et sature la roche jusqu'à un certain niveau appelé surface libre de la nappe.

Dans la nappe, l'eau circule jusqu'à des exutoires qui sont dans les points bas de la topographie : sources, rivières.

Les courbes isopiézométriques indiquent la pente de la surface libre et le sens d'écoulement de la nappe. Les lignes de crête correspondent aux zones de divergence des courants. L'eau circule dans toute l'épaisseur de l'aquifère, plus ou moins parallèlement à la surface libre sauf au niveau des exutoires et des lignes de crête ; les vitesses sont plus élevée vers la surface. Quand l'exutoire n'est pas localisé, on parle de "surface de suintement".



III.1.2. Nappe alluviale

L'aquifère est constitué par les alluvions d'une rivière. L'eau de la nappe est en équilibre avec celle de la rivière et les échanges se font dans les deux sens. Les alluvions sont très perméables ; elles peuvent être très épaisses (une centaine de mètres) et constituer un réservoir très important qui sert à l'alimentation en eau des villes situées le long de la rivière. Ces nappes, soutenues par l'apport de la rivière (ou d'un lac), sont très vulnérables à la pollution. L'aménagement du cours des rivières diminue leur vitesse (barrage) et favorise le dépôt des particules fines qui tendent à colmater le fond du lit et interrompre les échanges avec la nappe.

En pays aride, la nappe alluviale est alimentée par les crues de la rivière (oued) qui est à sec en période d'étiage. Comme l'oued, les eaux de la nappe s'écoulent, souvent vers les

dépressions endoréiques où elles s'évaporent (lacs temporaires avec dépôt de sels ou sebkha continentale).

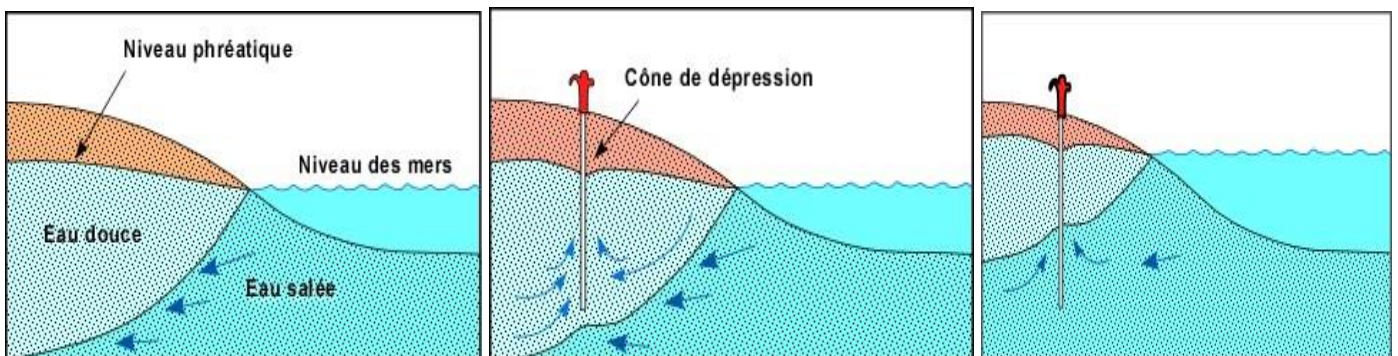
III.1.3. Nappe en pays karstique

En pays calcaire, l'eau remplit et circule dans les cavités du karst dont certaines sont complètement ennoyées. Les vitesses de circulation sont grandes et les sources peuvent être temporaires et abondantes (résurgences).



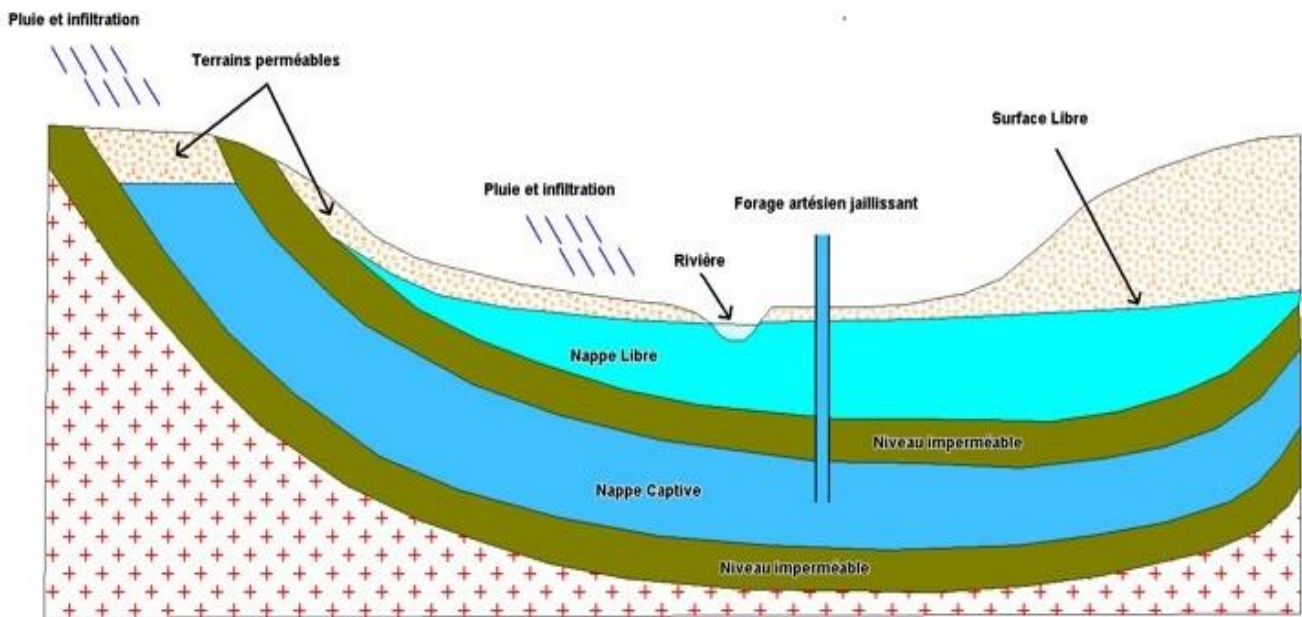
III.1.4. Nappe en plaine littorale

La nappe d'eau douce qui est située dans les alluvions est en équilibre hydrostatique avec la nappe salée issue de l'eau de mer. Ces 2 nappes se mélangent peu, leur interface constitue un biseau salé. Tout rabattement de la nappe d'eau douce entraîne la rupture de l'équilibre et la progression du biseau salé vers l'intérieur des terres.



III.2 Nappes captives

La nappe est confinée car elle est surmontée par une formation peu ou pas perméable ; l'eau est comprimée à une pression supérieure à la pression atmosphérique. A la suite d'un forage au travers du toit imperméable, l'eau remonte et peut jaillir : la nappe est artésienne. Le jaillissement peut disparaître par la suite si la nappe est exploitée au point de diminuer sa pression (cas historique du forage artésien de Grenelle).



IV. Captage d'eau souterraine

L'eau souterraine est une ressource précieuse stockée sous terre. Pour l'utiliser, il faut la capter, c'est-à-dire la ramener à la surface.

Il existe différentes techniques de captage, chacune ayant ses avantages et ses inconvénients. Le choix de la technique dépend de plusieurs facteurs :

- Le type de sol: Est-il poreux ou fissuré ?
- La profondeur de l'eau: Est-elle proche de la surface ou en profondeur ?
- La quantité d'eau nécessaire: Est-elle importante ou faible ?
- Les contraintes environnementales: Ya-t-il des risques de pollution
- Le budget disponible: Combien peut-on investir ?

IV.1. Forages d'exploitation verticaux

Les ouvrages verticaux sont les plus utilisés et les plus adaptés pour exploiter des aquifères poreux et relativement étendus. La majorité des aquifères fissurés sont également exploités à l'aide de ces ouvrages.

IV.1.1. Puits:

Creusés à la main, ils sont généralement peu profonds (moins de 30 mètres) et de grand diamètre (1 à 3 mètres). Ils captent souvent l'eau de la partie supérieure de la nappe et sont sensibles aux fluctuations de niveau. Leur rendement est souvent faible.

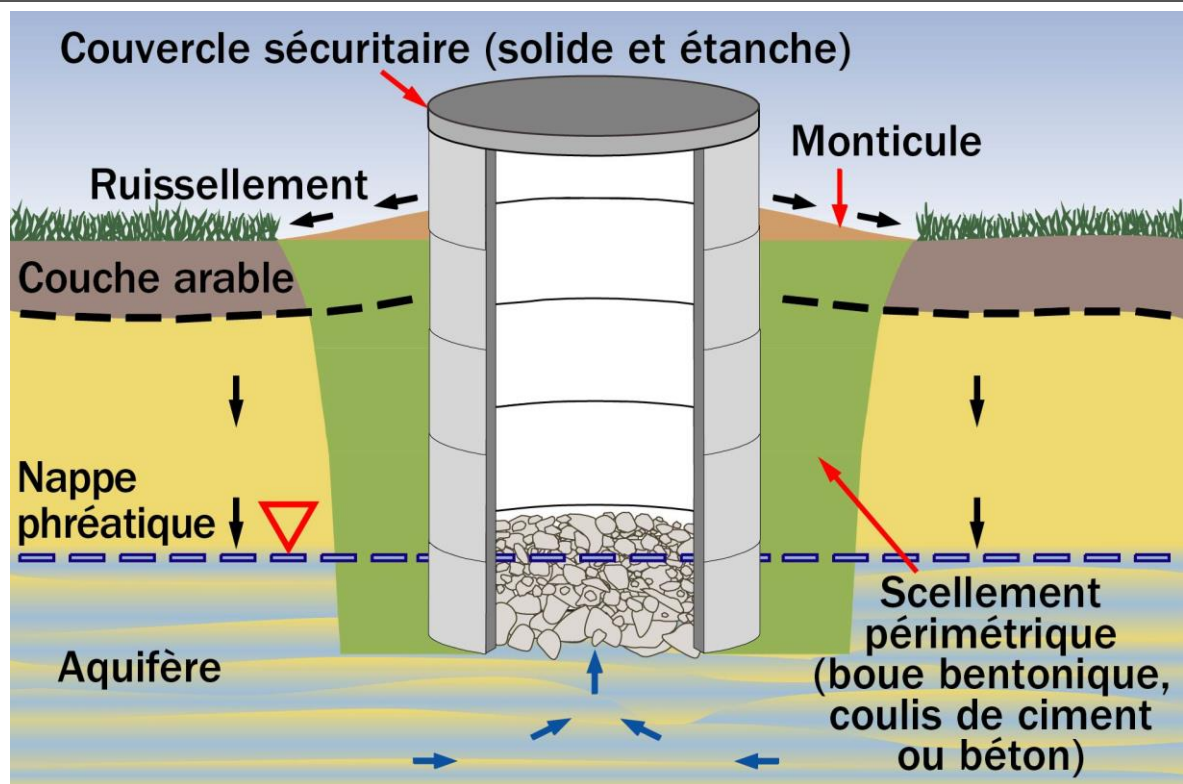


Figure07 schéma d'un puit



Figure 08 puit

IV.1.2. Forages:

Réalisés par des machines, ils sont plus profonds (jusqu'à plusieurs centaines de mètres) et de diamètre plus petit (environ 10 à 20 centimètres). Ils permettent de capter des nappes profondes et captives, et sont mieux protégés contre les pollutions de surface.



Figure 09 forage

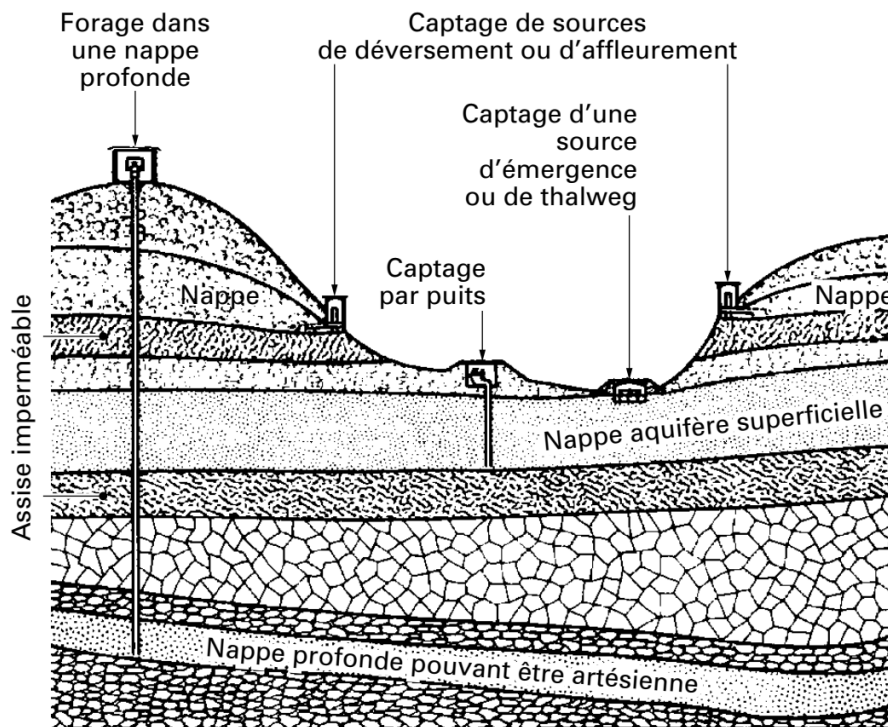


Figure 10 schéma d'un forage

Le choix entre un puits et un forage dépend de plusieurs facteurs :

- Profondeur de la nappe
- Quantité d'eau nécessaire
- Budget disponible
- Type de sol

IV.1.3. La pointe filtrante :

La pointe filtrante : un captage d'eau souterraine simple et économique

La pointe filtrante est un moyen simple et économique de capter l'eau souterraine. Utilisée principalement dans les sols sableux, elle permet d'accéder à des nappes peu profondes (maximum 8 mètres).

Un tube de faible diamètre est enfoncé dans le sol et muni d'une crépine à son extrémité inférieure. L'eau s'infiltre à travers la crépine et est ensuite pompée à la surface.

La pointe filtrante est particulièrement intéressante pour les petits besoins en eau, l'irrigation ou le rabattement de nappe dans les travaux publics. Sa mise en œuvre est simple et ne nécessite ni matériel complexe ni main d'œuvre qualifiée.

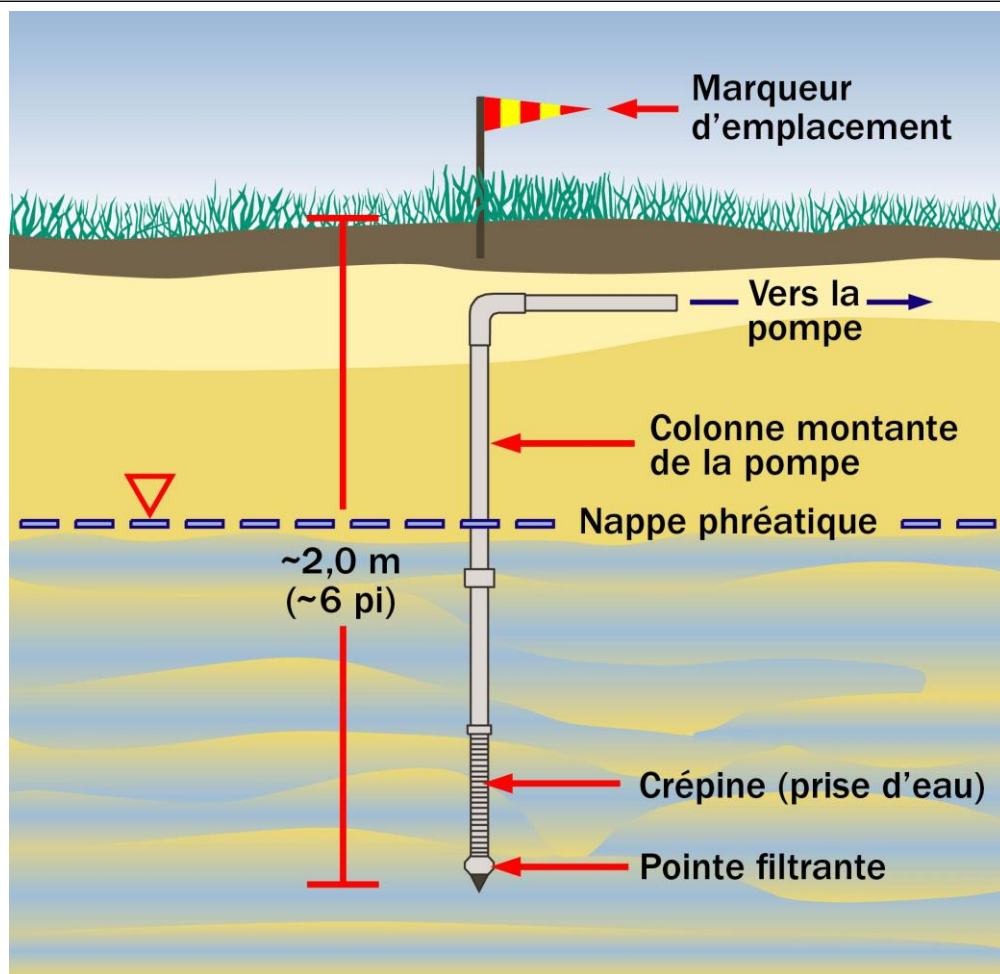


Figure 11 schémas d'une pointe filtrante

Cependant, la pointe filtrante présente quelques limitations. Sa profondeur d'installation est limitée et son débit est généralement faible. De plus, elle n'est pas recommandée pour l'exploitation d'eau potable.

Le choix de la pointe filtrante comme technique de captage d'eau souterraine dépend de plusieurs facteurs, notamment la profondeur de la nappe, la quantité d'eau nécessaire et le budget disponible

IV.1.4. Le Piézomètre

C'est un dispositif servant à mesurer la " hauteur " piézométrique " en un point donné d'un aquifère.

Il s'agit, dans tous les cas, d'un sondage équipé d'un tubage, généralement de faible diamètre, permettant essentiellement des mesures du niveau de l'eau. Par extension, le piézomètre désigne tout forage destiné à effectuer des mesures et des prélèvements sur une nappe.

Le piézomètre est un dispositif simple mais crucial pour mesurer la "hauteur piézométrique" d'un aquifère en un point donné. En d'autres termes, il permet de déterminer la pression exercée par l'eau dans la nappe à un endroit précis.

Fonctionnement :

Il s'agit, dans tous les cas, d'un tube, généralement de faible diamètre, inséré dans le sol jusqu'à atteindre la nappe phréatique. L'eau s'élève dans le tube jusqu'à atteindre un niveau stable, appelé niveau piézométrique. Ce niveau est ensuite mesuré à l'aide d'un appareil spécifique ou simplement en observant la hauteur d'eau dans le tube.

Utilisations :

Le piézomètre permet de :

- **Surveiller le niveau de la nappe phréatique** dans le temps.
- **Identifier les variations de niveau** dues à des facteurs naturels (pluies, sécheresses) ou à l'activité humaine (pompage d'eau).
- **Évaluer la qualité de l'eau** de la nappe.
- **Déterminer les caractéristiques hydrogéologiques** du sol (perméabilité, transmissivité).

Importance des piézomètres :

Les piézomètres constituent un outil essentiel pour la gestion durable des ressources en eau souterraine. En effet, ils permettent de :

- **Prévenir l'épuisement des nappes phréatiques.**
- **Protéger la qualité de l'eau.**
- **Gérer les conflits d'usage** entre les différents utilisateurs de l'eau souterraine.

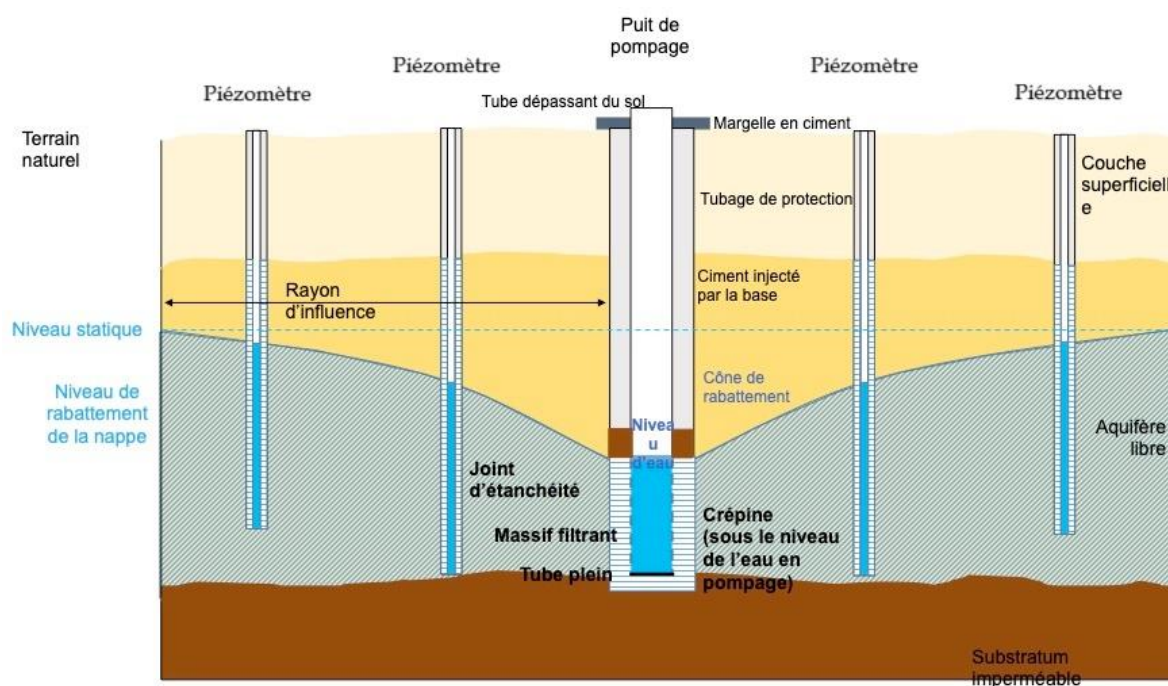


Figure 12 schémas d'un piézomètre



Figure 13 les piézomètres

V. Les paramètres qui conditionnent l'implantation d'un forage d'eau

V.1. Paramètres techniques :

- *Informations préliminaires:* Cartographie, images satellites, photo-interprétation, synthèse bibliographique.
- *Enquêtes de terrain:* Visite préliminaire et investigations complémentaires.
- *Hydro géophysique:* Méthodes hydro géophysiques, résistivités électriques, gravimétrie, sismique.
- *Procédures de prospection:* Forages d'exploration, évaluation de la ressource, archivage des résultats et outils d'analyse.
- *Conditions d'accès:* Facilité d'accès pour l'entreprise de forage et l'exploitant.
- *Topographie:* Pente du terrain.
- *Profondeur des aquifères:* Cibler les aquifères adéquats.
- *Proximité des installations AEP:* Réseaux de distribution, réservoirs, réseaux électriques.
- *Zones de besoin en eau:* Identifier les zones où l'eau est nécessaire.
- *Planification urbaine:* Respecter le plan d'occupation des sols (POS) et/ou le plan local d'urbanisme (PLU).

V.2. Paramètres socio-économiques et environnementaux

Le choix du site d'un forage d'eau ne se résume pas à des aspects techniques. Il est essentiel de prendre en compte les impacts socio-économiques et environnementaux pour garantir un développement durable de la ressource en eau.

- *Prévenir la surexploitation et la pollution :*
 1. Le site doit être choisi pour éviter la surexploitation de la nappe phréatique et garantir un débit suffisant pour tous les usages.
 2. Il est important de minimiser les risques de pollution par des sources en surface ou souterraines, et de protéger les différents niveaux aquifères.
- *Respecter les réglementations et restrictions :*
 1. Le site doit respecter les réglementations applicables à la zone, comme le Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux, les plans de prévention des risques naturels, les périmètres de protection des captages d'eau potable et des sources d'eau minérale.
 2. Il est important de tenir compte des inventaires des anciens sites industriels et des activités de service qui peuvent présenter des risques de pollution.

VI. Equipement de la zone de captage

L'équipement de forage d'exploitation d'eau constitue la dernière étape avant la mise en production de la ressource d'un gisement. Il permet de garantir la qualité de l'eau et la durabilité du forage

Quatre éléments clés composent cet équipement :

1. Tubages pleins (ou aveugles):

- Assurent la protection du forage contre l'effondrement et la contamination.
- Diamètre et épaisseur adaptés aux caractéristiques du sol et à la profondeur du forage.
- Matériau : acier, PVC, etc., selon les exigences de qualité et de résistance.

2. Crépines ou tubages perforés:

- Permettent l'entrée de l'eau dans le forage.
- La taille des perforations est déterminée par la granulométrie du sol et le débit souhaité.
- Différents types de crépines existent : crépines à fentes continues, crépines à fentes enroulées, etc.

3. Massif filtrant:

- Enveloppe les crépines et retient les particules fines du sol.
- Assure la qualité de l'eau pompée et protège le forage contre l'envasement.
- Granulométrie du gravier choisie en fonction de la granulométrie du sol et du débit d'eau.

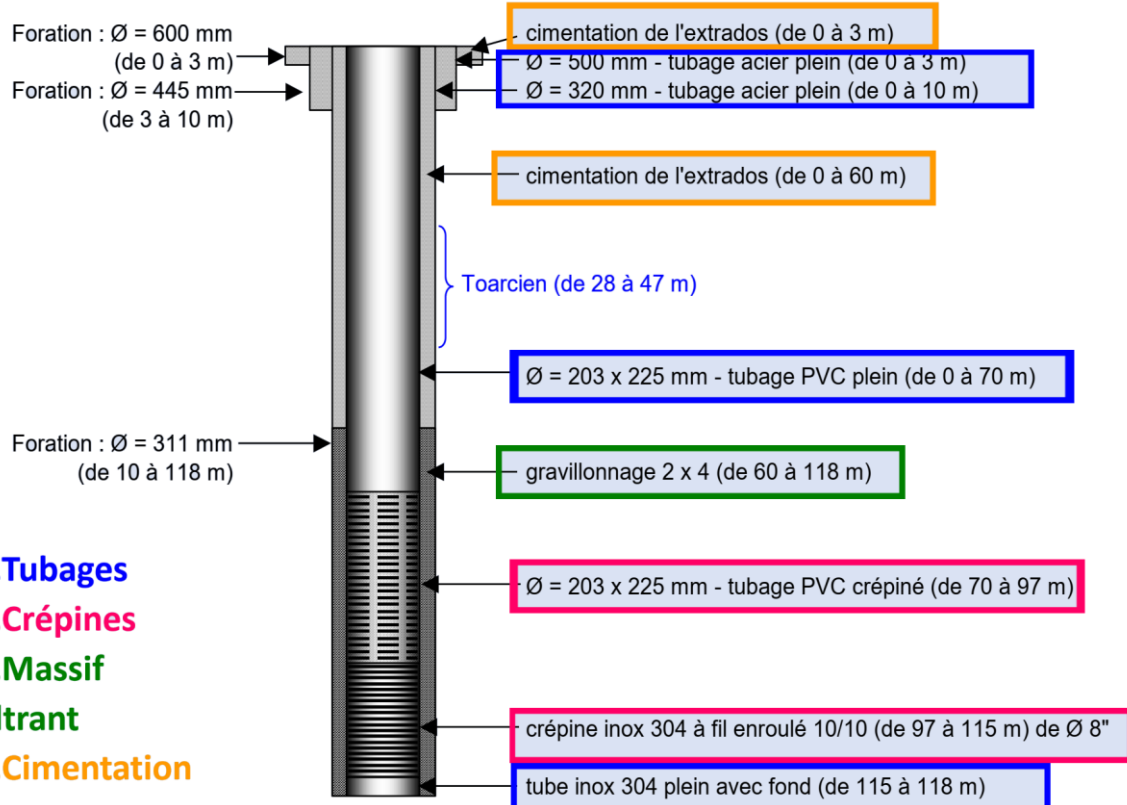


Figure 14 schémas d'un forage

4. Cimentation:

- Scelle l'espace annulaire entre le tubage et la paroi du forage.
- Empêche la contamination de l'eau par des eaux souterraines polluées.
- Garantit la stabilité du forage et prolonge sa durée de vie.

En plus de ces quatre éléments, d'autres équipements peuvent être installés, tels que :

- Une pompe pour remonter l'eau à la surface.
- Un système de filtration pour affiner la qualité de l'eau.
- Des instruments de mesure pour surveiller le niveau d'eau et la qualité de l'eau.

VI.1. Tube plein:

C'est un tube aveugle (non perforé), il peut être en acier ou en PVC, on distingue plusieurs types de tubes mis en place pendant l'exécution d'un forage: Tube guide, tube intermédiaire (facultatif), et tube de production ou tube plein.

Le tubage plein doit être capable de résister aux contraintes suivantes :

Dépendant du diamètre et de l'épaisseur du tubage

- force d'écrasement,
- force de traction,
- force d'éclatement,
- force de compression,

Dépendant de la nature du tubage

- résistance thermique,
- capacité inoxydable,

Il existe deux matériaux principaux de tubage plein :

➤ PVC (plastique)

➤ Acier, avec notamment :

1. Acier noir
2. Acier noir galvanisé
3. Acier revêtu d'un film plastique
4. Acier au chrome aluminium
5. Acier inoxydable

Les caractéristiques des tubages les plus courants sont les suivantes :

- Longueur des éléments : 3 à 6m.
- Epaisseur : 2 à 11mm (acier), 4 à 16 mm (PVC).
- Diamètre : 100 à 2500 mm (acier), 60 à 315 mm (PVC).
- Raccordement : manchon soudé, embouts filetés (acier), filetage (PVC).

VI.2. La crépine : élément essentiel d'un forage d'eau

Jouant le rôle d'interface entre l'aquifère et le forage. Sa conception et son installation doivent répondre à des exigences précises pour garantir la performance et la durabilité du forage.

Fonctions principales :

- **Filtrage de l'eau:** La crépine retient les particules fines du sol tout en laissant passer l'eau, assurant ainsi la production d'une eau claire et exempte de sable.
- **Protection du forage:** La crépine empêche l'effondrement du sol et la contamination du forage par des eaux polluées.
- **Résistance:** La crépine doit résister à la pression d'écrasement du sol et à la corrosion due aux eaux agressives.
- **Longévité:** La crépine doit être conçue pour durer plusieurs années et ne pas nécessiter un remplacement fréquent.
- **Efficacité:** La crépine doit minimiser les pertes de charge et garantir un débit d'eau optimal.

Critères de conception :

- **Granulométrie:** La taille des ouvertures de la crépine doit être adaptée à la granulométrie du sol pour une filtration optimale.
- **Longueur:** La longueur de la crépine dépend de l'épaisseur de la formation aquifère à capter et du niveau de rabattement maximal.
- **Matériaux:** Les crépines sont généralement fabriquées en acier, en acier inoxydable ou en PVC, le choix du matériau dépendant des caractéristiques de l'eau et du sol.

Différents types de crépines

Elles sont déterminées suivant la forme et le pourcentage de vides pour allier résistance et vitesse de l'eau dans les ouvertures. Un grand pourcentage de vides permet une faible vitesse de circulation donc une plus grande sensibilité aux phénomènes d'incrustation, d'érosion et de corrosion. Une vitesse de l'eau trop importante au travers de la crépine entraîne des pertes de charge. La vitesse de l'eau au travers des ouvertures de la crépine dépend du débit de pompage, du diamètre de la crépine et de son coefficient d'ouverture.

Les crépines en acier

- ❖ **Crépines à trous ronds** : utilisé en terrains durs, sa densité de perforation est de 10%.
- ❖ **Crépine à trous oblongs** : avec des fentes rectangulaires verticales, de largeur au moins égale à l'épaisseur de la tôle, longueur standard 3 cm, sa densité de perforation varie de 10% à 20%.
- ❖ **Crépine à nervures repoussées**, réalisé à plat puis roulé et soudé, de bonne résistance mécanique du fait du faible enlèvement de métal, de pourcentage de vide variant de 3 à 27%.
- ❖ **Crépine à fente continue (type Johnson)**, l'ouverture est horizontale continue sur toute la longueur de la crépine, obtenue par enroulement en hélice d'un « fil enveloppe profile » soudé sur des génératrices métallique verticales.



Figure 15 Crépines à trous ronds

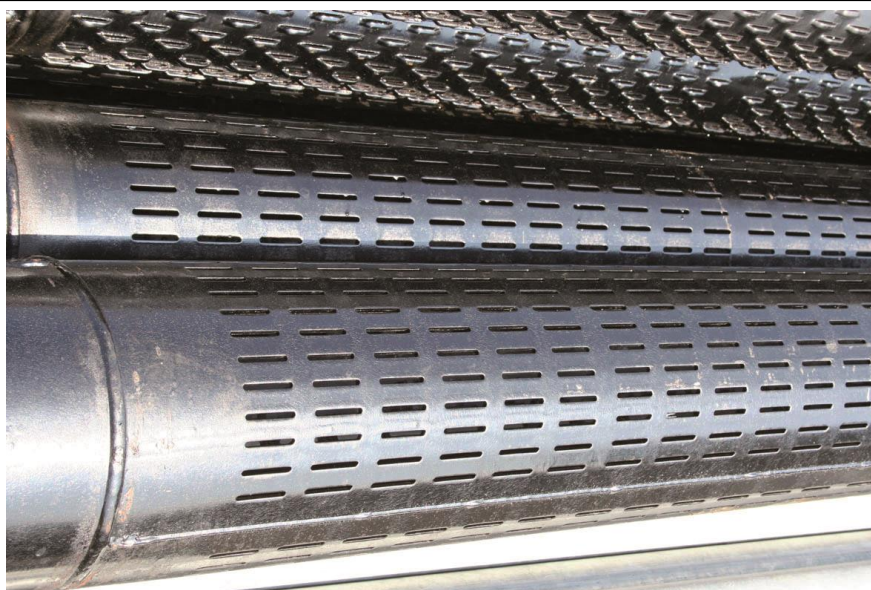


Figure 16 Crépine à trous oblongs

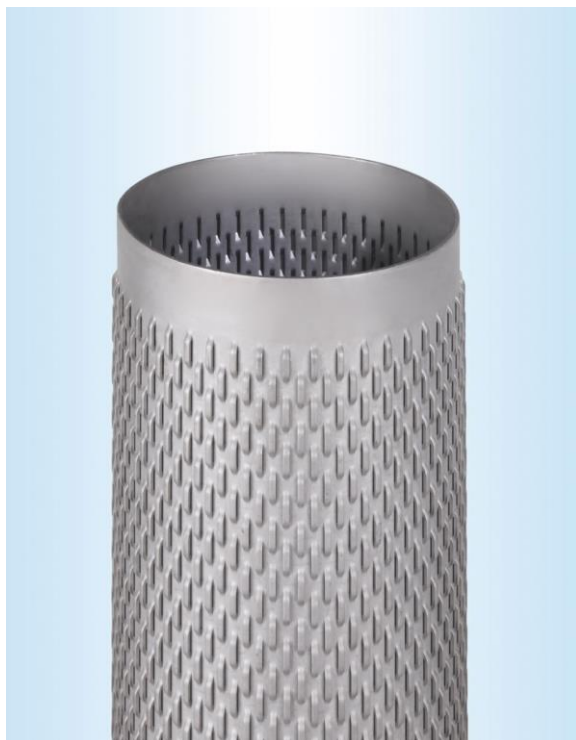


Figure 17 **Crépine à nervures repoussées**



Figure 18 **Crépine à fente continue (type Johnson)**

Les crépines de forage en PVC :

Elles sont fabriquées depuis plusieurs dizaines d'années, elles sont réalisées à partir de tubes pleins sur lesquelles sont usinées des fentes perpendiculairement à l'axe du tube. Cette disposition est la meilleure pour obtenir un écoulement optimum à travers les fentes. Plusieurs largeurs de fente sont disponibles au marché (0.5-0.6, 0.75-0.8 et 1 mm). On trouve deux catégories des Tubes et crépines en PVC:

- ❖ Tubes et crépines à paroi normale pour profondeurs de puits faibles et moyennes.
- ❖ Tubes et crépines à paroi épaisse (ou renforcée) pour forages plus profonds.

Vu leur faible poids, les crépines et tubes pleins en PVC sont faciles à manier et à transporter. Le fait que le PVC résiste parfaitement aux attaques chimiques des eaux souterraines et aux acides généralement utilisés pour le développement des forages et leur entretien, à pour conséquence que les puits ont une plus longue longévité et que les crépines et tubes pleins, n'altèrent pas la composition de l'eau et ne dégagent aucun élément organique ou toxique. Mais l'utilisation des crépines et des tubes en PVC dans les forages profondes (plus de 500m) est déconseillée à cause des conditions extrêmes de pression et température.

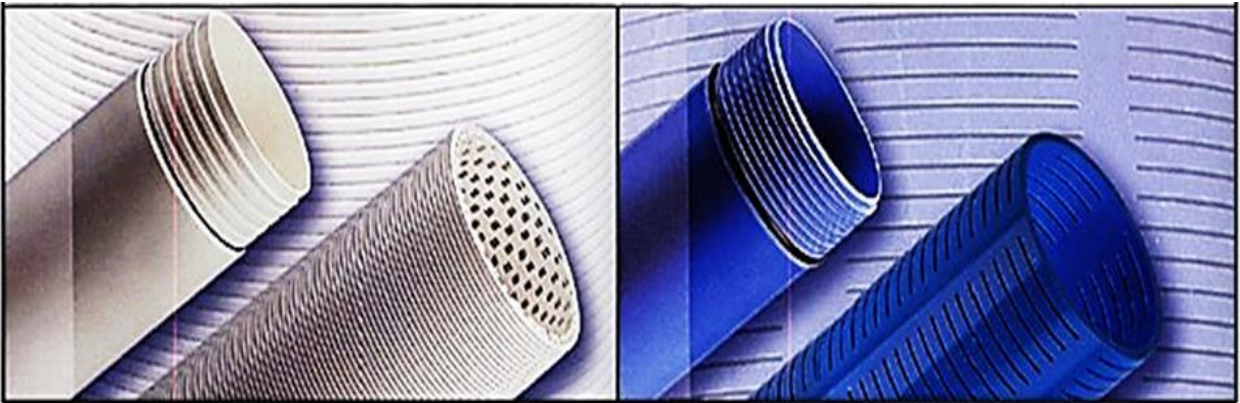


Figure 19 les crépines en PVC