

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 8 Mai 1945
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de
l'Univers
Département des Sciences de la Nature et de la Vie



Techniques de captage des eaux

Cours et travaux dirigés

Destiné aux étudiants de Master Hydrogéologie

Elaboré par : Dr GHRIEB Lassaad

Table des matières

Cours

Chapitre I : Source de l'adduction d'eau	1
I.1. Exigence générale pour le choix des sources de l'adduction d'eau :.....	1
I.2. Alimentation en eaux de source superficielles :	2
I.3 Alimentation en eau de source souterraine :	4
Chapitre II : Réception des eaux de sources superficielles	7
II.1. Classifications des prises d'eau superficielles :.....	7
II.2. Choix de l'emplacement d'une prise d'eau :	8
II.3. Protection sanitaire des sources et des prises d'eau superficielles :.....	9
II.4. Ouvrage d'épuration préalable des prises d'eau :.....	11
II.5. Schéma transversal de grillades articulées :	13
II.6 Installations pour la réception de l'eau sur les cours d'eau :.....	14
Chapitre III : Puits - sondages tubulaires	22
III.1. Mode du forage des puits tubulaires :	22
III.2. Construction des puits tubulaires :	24
III.3. Choix et calcul des crépines :.....	25
III.4. Longueur et position des crépines :.....	26
III.5. Calcul des puits tubulaires :	28
III.6. Type de crépinage des nappes aquifère :.....	30
Chapitre VI : Réception des eaux souterraines.....	31
VI.1. Constitution d'une prise d'eau :	31
VI.2. Type et schéma des prises d'eau souterraines :.....	31
VI.3. Elaboration du projet d'une prise d'eau souterraine:	32
VI.4. Zones de protection sanitaire des prises d'eau souterraines:	33

Chapitre V : Autre types des prises d'eau souterraines	35
V.1. Prises d'eau horizontales :	35
V.2. Prise d'eau en rayon :	39
V.3. Puits de mine :	40
V.4. Le captage :	41

Travaux dirigés

TD N °1	Détermination des besoins en eau.....	43
TD N°2	Calcul de certains paramètres du système de l'alimentation en eau.....	48
TD N°3	Techniques de captage.....	52
TD N° 4	Traçage des limites des sous zones sanitaires	54
TD N° 5	Choix de la source souterraine de l'adduction d'eau	56
TD N°6	Calcul d'un air lift.....	61
TD N° 07	Choix et calcul des prises d'eau tubulaires.....	65
TD N °08	Calcul des prises d'eau.....	67

Chapitre I : Source de l'adduction d'eau

I.1. Exigence générale pour le choix des sources de l'adduction d'eau :

On classe les sources naturelles d'eau en deux groupes :

- a) Sources superficielles : cours d'eau, réservoir naturel et artificiel, mers, glaciers.
- b) Sources souterraines : eaux souterraines, sources.

Le choix de la source est une question importante parce qu'elle détermine le type du système d'alimentation en eau, le procédé de la préparation de l'eau est en totalité les frais de construction et l'exploitation.

Ce choix doit se produire à la base des études topographiques, hydrologiques, hydrogéologiques, sanitaires et d'autres...

- Elle doit assurer la quantité nécessaire d'eau d'après les normes de la consommation d'eau et d'après les développements perspectifs de l'objet examiné.
- Elle doit être stable pour toute la période d'exploitation pour son débit et sa qualité.
- Frais de construction et d'exploitation d'une prise d'eau doivent être minimaux.
- Qualité de l'eau doit être assurée d'après les besoins de consommateurs.
- Le prélèvement de l'eau ne doit pas influencer sur la situation écologique.

La source de l'alimentation en eau potable et domestique doit être choisie d'après les règles standardisées et sanitaires, on examine la possibilité de l'utilisation des sources naturelles à l'ordre suivant :

- Eaux artésiennes
- Aquifère non captif
- Eau de nappe libre
- Source superficielle potable
- Sources superficielle minéralisée
- Eau de mer
- Eau géothermale

Le choix de la source pour l'eau industrielle dépend des exigences des consommateurs concrets ; il est désirable d'utiliser.

- Les eaux superficielles
- Les eaux souterraines minéralisées
- Les eaux souterraines géothermales

Il est permis d'utiliser les eaux souterraines potables en cas exclusif (absence d'autre source, ou les réserves insuffisantes des eaux superficielles).

Le choix d'efficacité de la source se base sur la comparaison des variables possibles, l'efficacité économique d'une variable est établie d'après la formule :

$$Da = De + Dc \cdot Ke$$

Da : dépense annuelle d'une prise d'eau.

De : dépense annuelle d'exploitation.

Dc : dépense de construction.

Ke : coefficient d'efficacité (pour le délai d'amortissement de eaux nous avons Ke= 0.05)

I.2. Alimentation en eaux de source superficielles :

Les eaux superficielles se caractérisent par les particularités générales suivantes :

- a) Turbidité relativement grande.
- b) Teneur élevée en matière organique et en bactéries.
- c) Teneur relativement petite en sels.
- d) Dureté non-considérable Ca et mg (à l'exception de l'eau de mer et de certains lac).
- e) Liaison étroite des paramètres qualitatifs et quantitatifs avec l'intensité de précipitation atmosphérique.

La turbidité de l'eau (quantité de dépôt en Kg/m³) détermine la saturation du courant d'eau ou du lac par les matières en suspension et transportées qui sont les produits de l'érosion de lavage des sols et des impuretés de la surface de bassin-pluvial.

Leur quantité dépend de plusieurs facteurs (propriété des roches érodées, vitesse du courant)

Et peut être calculé par la formule :

$$R = am \cdot Q$$

R : quantité de dépôt en Kg/s.

am : turbidité moyenne de courant d'eau en Kg/m³.

Q : débit du courant d'eau en m³/s.

Les dépôts transportés s'accumulent dans les lacs, la durée de leurs comblements est déterminée d'après l'expression :

$$T = \frac{W}{\sum R}$$

W : volume de réservoir en m³.

$\sum R$: volume de dépôt formé par une année en m³/année.

L'accumulation annuelle de dépôt dans un lac d'où :

$$H = \frac{\sum R}{S}$$

S : surface du lit de lac en m².

La teneur en matière organique est déterminée par les phénomènes de floraison (développement de phyto-et zoo plancton aux couches superficielles des réservoirs stagnants), de salissure (apparaissent des organismes sur les objets durs au-dessous de niveau d'eau), d'envahissement (développement de la végétation supérieure dans la partie littorale) de pollution ...etc.

Un projet de l'utilisation d'une eau source superficielle exige des études détaillées de plusieurs facteurs naturels et artificiels et de l'analyse des données de plusieurs années.

L'estimation des rivières à courant naturel se produit surtout à la base des facteurs hydrologiques (débit, vitesse, dépôt, cure, stabilité du lit et des rivages ...).

On prend en considération des facteurs topographiques, géologiques, sanitaire, et de l'utilisation de la rivière par d'autre consommateur.

Pour les rivières à courant réglé sauf les données indiquées ci-dessus il est nécessaire obligatoirement de prendre en considération les conditions hydrographiques exemple : configuration de la ligne de rivage et reliefs de rivage et du lit de réservoir.

- ✓ **Facteurs météorologiques** : la direction et la force du vent et des vagues.
- ✓ **Condition biologique** : l'horizon de l'eau, développement du monde organique.

Pour les lacs de petite dimension on examine les mêmes facteurs comme pour les rivières à courant non réglé.

Les lacs de grande dimension exige des analyses plus détaillées des facteurs météorologiques.

Pour l'estimation d'une zone de mer il est nécessaire de produire une analyse détaillée de tous les facteurs indiqués ci-dessus.

Il faut ajouter que lors du choix de la source superficielle la fréquence de leur débit et de leur niveau doit être acceptée à la fonction des catégories de la fiabilité de la distribution d'eau (tableau 1).

Catégorie de la fiabilité de la distribution d'eau	Fréquence des débits mensuels ou journaliers (%)	Fréquence calculée de niveau d'eau (%)	
		Niveau minimal	Niveau maximal
I	95	1	97
II	90	2	95
III	80	3	90

1.3 Alimentation en eau de source souterraine :

L'eau se rencontre dans les roches sous divers états portant seulement l'eau à l'état libre peut servir comme une source d'alimentation. Les eaux souterraines se caractérisent par les particularités suivantes :

- Elles ne contiennent pas d'habitude des matières en suspension.
- Elles sont incolores.
- Assez souvent possède une dureté élevée et une teneur considérable en sel, de fer et d'autres éléments.
- Parfois elles sont fortement minéralisées.
- La plupart des eaux souterraines sont sûrement protégées contre la pollution de la surface, leur quantité et leur qualité dépend des précipitations atmosphériques.

On classe les eaux souterraines d'après les indices différents :

1. D'après les conditions de gisement et les indices ; hydrauliques on distingue :
 - a) Eau de la zone d'aération.
 - b) Eau libre des nappes phréatiques et des nappes semi-captives.
 - c) Eau des nappes captives.
2. D'après la température ; on distingue les eaux :
 - a) Exclusivement froide ($< 0^{\circ}\text{C}$).
 - b) Très froide ($0 - 4^{\circ}\text{C}$).
 - c) Froide ($4 - 20^{\circ}\text{C}$).
 - d) Tiède ($20 - 37^{\circ}\text{C}$).
 - e) Chaude ($37 - 42^{\circ}\text{C}$).
 - f) Très chaude ($42 - 100^{\circ}\text{C}$).
 - g) Exclusivement chaude ($>100^{\circ}\text{C}$).
3. D'après le degré de la minéralisation on distingue les eaux :
 - a) Potables ($< 1\text{g/L}$).
 - b) Faiblement minéralisées ($1 - 3\text{g/L}$)
 - c) Moyennement minéralisées ($3 - 10\text{g/L}$)
 - d) Minéralisées ($10 - 50\text{g/L}$)
 - e) Saumures ($>50\text{g/L}$)

Les eaux de la zone d'aération ainsi que les eaux des nappes phréatiques situées près de la surface sont caractérisées par les réserves non considérables dépendant de la quantité et de la saison des précipitations atmosphériques.

Elles peuvent être facilement polluées par les eaux d'égout c'est pourquoi elles ne peuvent pas servir comme une source sûre d'alimentation en eau.

Les eaux de nappes phréatiques situées à des profondeurs considérables ainsi que les eaux de nappes semi captives encore plus profonde, se caractérisent d'habitude par les réserves considérables dépendant faiblement des précipitations atmosphériques elle possède une température stable, sont bien protégées contre la pollution c'est pourquoi elles sont sûres comme une source d'alimentation en eau.

Les eaux artésiennes sont très bien protégées contre la pollution par les roches imperméable, elle se caractérise par les réserves considérables et par une température stable elles sont les meilleures sources pour l'alimentation en eau potable et domestique.

La qualité d'une eau de source correspond à la nappe d'où elle sort.

Les sources sont divisées en ascendantes (artésiennes) et descendantes (de gravitation)

D'après le débit on distingue les sources :

- a) Minimales (< 1 l/s).
- b) Moyennes (1 -10 l/s).
- c) Grandes (> 10 l/s).

Les deux dernières sont les plus utilisées en alimentation en vue de leur quantité importante.

Les ressources (réserves) des eaux souterraines sont divisées en naturelle et d'exploitation.

- a) **Les ressources naturelles (Q nature)** : sont une quantité d'eau souterraine contenue dans une nappe aquifère a l'état naturel ; on les subdivise en ressources statiques et dynamiques.
 - Les ressources statiques (Q_{st}) : est une quantité d'eau souterraine renfermée dans les pores et dans les fissures des roches aquifères on les détermine d'après la formule :

$$Q_{st} = \mu \cdot V \quad (m^3)$$

V : volume de la roche saturée d'eau en m³.

μ : coefficient de rendement d'eau.

Exemple : roches fissurées et Karstifiés 0,005 ; galets (0,22 - 0,25) ; graviers (0,24 - 0,28) ; sable a gros grains (0,19-0,23) ; sable à grains moyens (0,17-0,21) ; sable a grains fins (0,14 – 0,18) ; sable argileux (0,10 – 0,15).

- Les ressources dynamiques (Q dyn) : c'est un débit du courant d'eau souterraine c'est-à-dire la quantité d'eau renouvelable a la nappe aquifère. On peut le déterminer d'après la loi de darcy :

$$Q_{dyn} = B.h.K.i \text{ (m}^3 \text{ /jour)}$$

B : largeur du courant en (m).

h : puissance de la nappe aquifère en (m).

K: coefficient de filtration en (m/ jour).

i: gradient hydraulique du courant

$$Q_{natur} = Q_{st} + Q_{dyn}$$

Les ressources naturelles variées suivant les saisons et les années des formations des facteurs climatiques, ces variations sont particulièrement grandes pour les nappes phréatiques, moins sensibles pour les nappes semi-captives et presque insensibles pour les nappes captives.

- b) **Les ressources d'exploitation** : sont des quantités d'eau utilisables de point de vue technique et économique pendant une durée de temps définie. Les ressources d'exploitation sont déterminées en fonction des conditions concrètes hydrogéologiques. Dans certains cas on peut les déterminer comme la somme des ressources naturelles d'une nappe et des ressources supplémentaires s'écoulant des bassins voisins par la drainance des aquifères voisins ou l'infiltration d'eau du courant superficiel.

Les ressources d'exploitation sont devisées en quatre catégories : A, B, C1, C2 en fonction du degré de leur prospection. Outre cela se devise en deux grands groupes d'après leur importance :

- A. Réserves actives : dont l'utilisation est économiquement avantageuse et satisfaite aux exigences des quantités et aux conditions des régimes d'exploitation.
- B. Réserves non-commerciales : dont l'utilisation actuelle économiquement non avantageuse à cause de petite quantité, elles peuvent être examinées dans l'avenir.

Chapitre II : Réception des eaux de sources superficielles

II.1. Classifications des prises d'eau superficielles :

On classe les prises d'eau suivant les différents indices :

1. D'après la nature de l'eau (potable, domestique, industrielle, agricole).
2. D'après la productivité ; petite prise d'eau ($< 1 \text{ m}^3/\text{s}$), moyenne ($1 - 6 \text{ m}^3/\text{s}$) et grande ($> 6 \text{ m}^3/\text{s}$).
3. D'après le degré de fiabilité de prélèvement d'eau catégorie I, II, III (Tableau 2).

Degré de fiabilité de prélèvement d'eau	Caractère de prélèvement d'eau
I	Permanent
II	L'interruption possible jusqu'à 5 heures ou diminution de débit jusqu'à 1 mois
III	Cessation possible jusqu'à 3 jours

4. D'après les catégories de la fiabilité de distribution d'eau I, II, III (Tableau 3).

Catégories de la fiabilité de distribution d'eau	Caractère de régime de distribution d'eau
I	Diminution de débit jusqu'à 30 % de débit calculé pendant 3 jours.
II	Même diminution jusqu'à 1 mois ou interruption jusqu'à 5 heures.
III	Même diminution ou interruption jusqu'à 24 heures.

5. D'après la disposition des éléments essentiels : il existe les prises d'eau réunies, séparées et combinées.
6. D'après la disposition des dispositifs de réception d'eau ; il existe les prises d'eau de rivage, de lit et de bêche à eau.
7. D'après le mode de prélèvement d'eau ; en profondeur, de fond, superficielle d'infiltration et combiné.
8. D'après le degré de permanence ; stationnaire et ambulante (flottable).
9. D'après la durée de l'exploitation ; permanente et temporaire.

Le débit calculé de l'alimentation en eau doit être garantis même pour les conditions défavorables (variation des niveaux et du débit de la rivière, développement des organismes, variation de l'état sanitaire ...etc.)

La fiabilité et la performance de fonctionnement d'une prise d'eau doivent être assuré par :

- Etude détaillée de la source et de l'emplacement des prises d'eau.
- Choix corrects de la source sûre et de la construction d'une prise d'eau.
- Pronostic des variations possibles des paramètres de la source.
- Ensemble des mesures des périodes défavorable.
- Mesure de la protection des conduites sanitaires.
- Mesure de l'alimentation artificielle de la source et la création des réserves d'eau.

La fiabilité nécessaire est assurée aussi par les sectionnements des dispositifs pour le prélèvement d'eau puis par le doublage des blocs par les mesures contre l'érosion, des rivages contre les ordures et les produits de pétrole ...etc.

La construction d'une prise d'eau doit être simple, mais aussi stable, solide et durable.

II.2. Choix de l'emplacement d'une prise d'eau :

Il est basé sur les principes suivants :

1. La prise d'eau doit être installée le plus proche possible du consommateur d'eau.
2. La quantité et la qualité d'eau doivent correspondre aux exigences des consommateurs.
3. L'épuration de l'eau doit être la plus simple.
4. Les intérêts d'autres consommateurs doivent être garantis.
5. Les conditions naturelles (topographiques, hydrologiques, géologiques, hydrogéologiques...etc.) doivent être acceptables pour la construction et l'exploitation d'une prise d'eau.
6. La protection sanitaire doit être sûre et peu couteuse.

L'emplacement d'une prise d'eau potable et domestique sur une rivière doit se trouver :

1. Au-dessus des sorties d'eau d'égout et des localités.
2. En dehors des rivages à l'érosion et à la sédimentation active.
3. Au-dessus des embouchures des affluents et des ravins qui importe les dépôts considérables.
4. En dehors des zones en aval des stations hydroélectriques.

5. Les prises d'eau sur les lacs naturels et artificiels ne doivent pas être sur leurs têtes, elles doivent être déposées sur des profondeurs égales à la hauteur triples d'une vague maximale pour le niveau minimal d'eau.

II.3. Protection sanitaire des sources et des prises d'eau superficielles :

La création des zones de protection des sources d'alimentation en eau et des prises d'eau assure mieux leur fiabilité sanitaire.

Une zone de protection sanitaire d'une source superficielle présente un territoire spécialement choisit à la limite d'une source utilisée et de bassin versant de son alimentation.

Sur ce territoire on pratique un régime qui peut assurer une protection sûre de la source contre la pollution et pour la conservation de la qualité sanitaire de l'eau.

Les limites de la zone de protection sanitaire et les mesures de la conservation sanitaire de territoire sont établies par un projet de la zone de protection sanitaire à la base des études hydrologiques, hydrogéologiques et sanitaires.

Une zone de protection sanitaire d'une source superficielle se compose de la première et de la deuxième sous-zone et pour les prises d'eau tirées seulement d'une première sous-zone.

La première sous-zone entoure une partie d'une source superficielle autour de l'emplacement d'une prise d'eau, ce territoire doit être limité et isolé par un mûr et planté d'arbres où s'interdire toute activité anthropique.

Le plan d'eau de la rivière ou du lac doit être limité par les balises flottantes.

Les limites de la première sous-zone de protection de la rivière ou d'un canal sont établies en fonction des conditions locales topo sanitaire et hydrologique, dans tous les cas elles doivent être les suivants :

- En amont du courant pas moins que 200 m de la prise d'eau.
- En aval du courant pas moins que 100 m de la prise d'eau ; pour le rivage de la prise d'eau pas moins que 100 m de la ligne du niveau maximal.
- En direction du courant d'eau avec la largeur moins que 100 m tout le plan d'eau et le rivage contraire à 50 m de la ligne du niveau maximale.
- Pour le courant d'eau avec la largeur plus que 100 m, une bande du plan d'eau au moins 100 m de large.

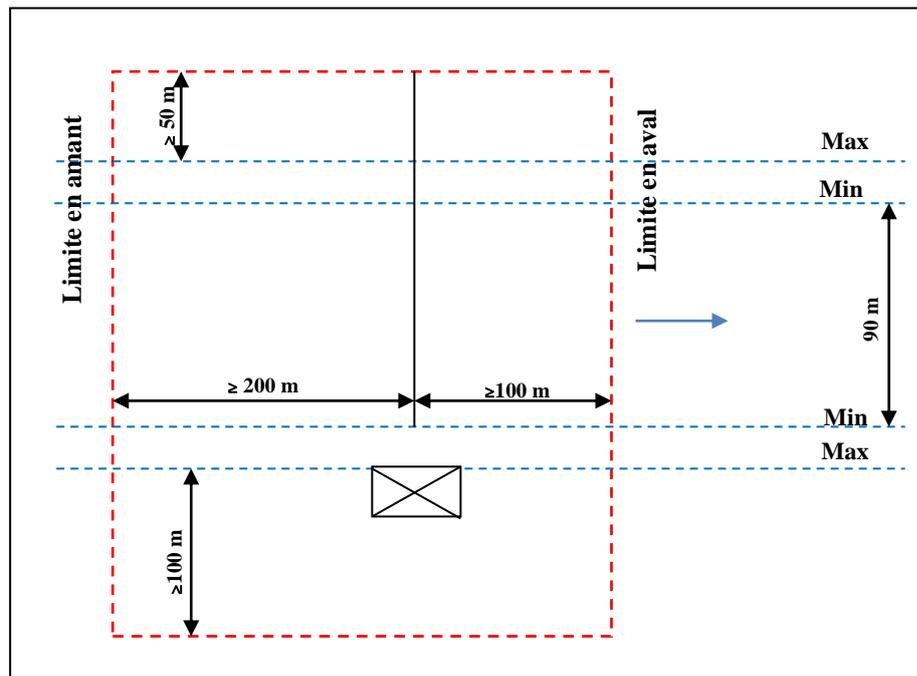


Figure1. Protection sanitaire des sources et des prises d'eau superficielles

Les limites de la première sous-zone de protection d'un lac ou d'un réservoir artificielle utilisée en qualité d'une source d'alimentation en eau, sont établies en corrélation avec les conditions locales topo-sanitaires, hydrologiques et météorologiques ; elles doivent être :

- En plan d'eau dans toutes les directions pas moins que 100 m de la prise d'eau
- Pour le rivage on trouve la prise d'eau pas moins que 100 m à partir de la ligne du niveau maximal.

La deuxième sous-zone enveloppe la source d'alimentation en eau et son bassin versant c'est-à-dire tous les territoires et les plans d'eau qui peuvent influencer sur la qualité d'eau de la source.

La surface de territoire protégée est déterminée en fonction des interfluves correspondants aux limites de cette sous-zone qui doivent être exécutés.

Les mesures et les limitations de l'activité industrielle et agricole pour la protection d'une source d'alimentation en eau contre l'aggravation inadmissible de la qualité d'eau.

Les limites de la deuxième sous-zone pour la rivière ou le canal sont établies en prenant en considération les sources de pollution par les matières chimiques

- En amont par la distance égale au parcours de l'eau pendant 3 – 5 jours pour le débit de 95 % de fréquence.
- En aval au moins de 250 m.

Pour la limite latérale par l'interfluve, les limites de la deuxième sous-zone d'un réservoir ou d'un lac naturel utilisé comme la source d'alimentation en eau sont déterminés par la distance égale au parcours de l'eau pendant 5 jours, en tenant compte du courant d'écoulement et de la direction du vent.

Dans tous les cas les limites de la deuxième sous-zone doivent assurer la qualité d'eau à 1Km en amont d'une prise d'eau pour les rivières et à 1Km pour toutes les directions pour les réservoirs d'eau.

Les zones de protection des sources et des prises d'eau pour les besoins industriels ne sont pas obligatoires.

II.4. Ouvrage d'épuration préalable des prises d'eau :

Le fonctionnement normal des pompes et des installations d'épuration doit être assuré par l'épuration préalable grossière dans les dispositifs des prélèvements d'eau, pour cela les trous d'entrée de ces dispositifs doivent être fournis par les grilles pour retenir des objets relativement grands.

On utilise le grillage de protection pour l'évacuation, l'enlèvement des eaux pures et des impuretés. Une telle épuration mécanique de l'eau facilite considérablement le fonctionnement des installations d'épuration, écarte l'engorgement des conduites et des pompes.

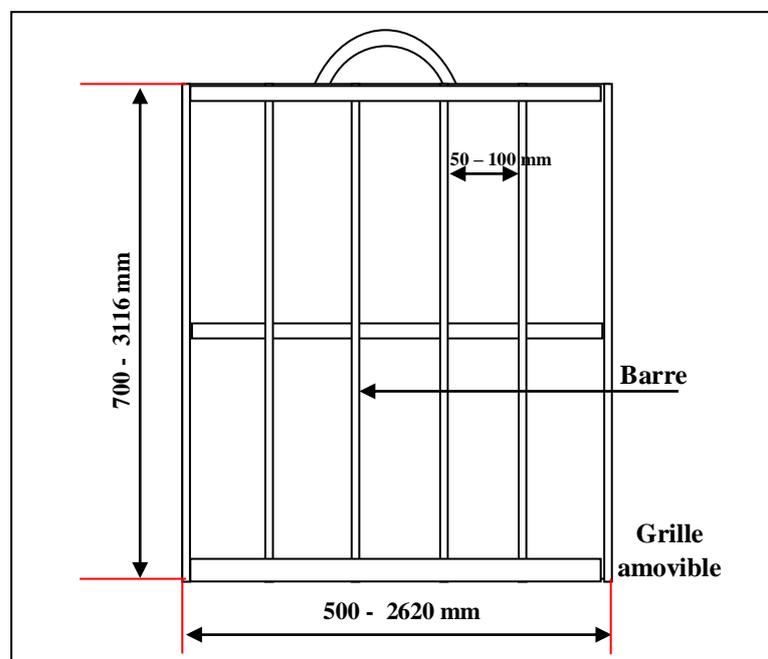


Figure.2. Schéma d'une grille plate amovible de protection

Une grille plate amovible de protection est un cadre métallique soudé du fer d'angle avec des barres métalliques de fer plat de dimension (50 * 60 mm) ou rond (1 – 12 mm).

La distance entre les barres est acceptée (50 – 100 mm) on installe les grilles perpendiculairement par rapport au courant d'eau.

En cas de grande quantité des ordures on utilise les grilles stationnaires avec le nettoyage mécanique ; ce sont les cadres rectangulaires installés sous l'angle de 70° vers le sens du courant d'eau. Les cadres sont fournies de barres rondes avec la distance de (20 – 50 mm), les chaînes articulées avec les barres de bois et les brosses sont fixées au bord de la grille et ces chaînes sont mobiles par un électromoteur.

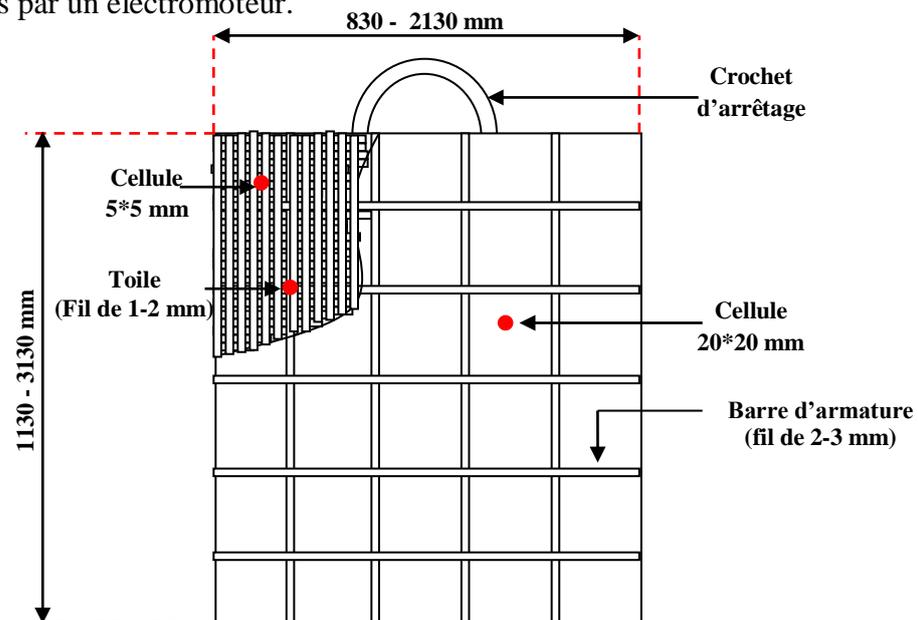


Figure.3. Grillage amovible masse de 53 – 260 Kg

Les grillages installés auprès de rivage sont destinés pour l'évacuation plus complète des ordures et des impuretés et peuvent être de deux types (plats amovibles et rotatifs) :

- Les grillages amovibles : sont les cadres métalliques avec les barres d'armature et la toile métallique non oxydée, de temps en temps on monte le grillage à l'aide d'un palan à main et on fait son nettoyage. Ce processus exige beaucoup de travail, c'est pourquoi on utilise ce grillage pour les prises d'eau de petite productivité ($< 1,5 \text{ m}^3/\text{s}$) qui prélève l'eau à partir des sources relativement pures.

II.5. Schéma transversal de grillades articulées :

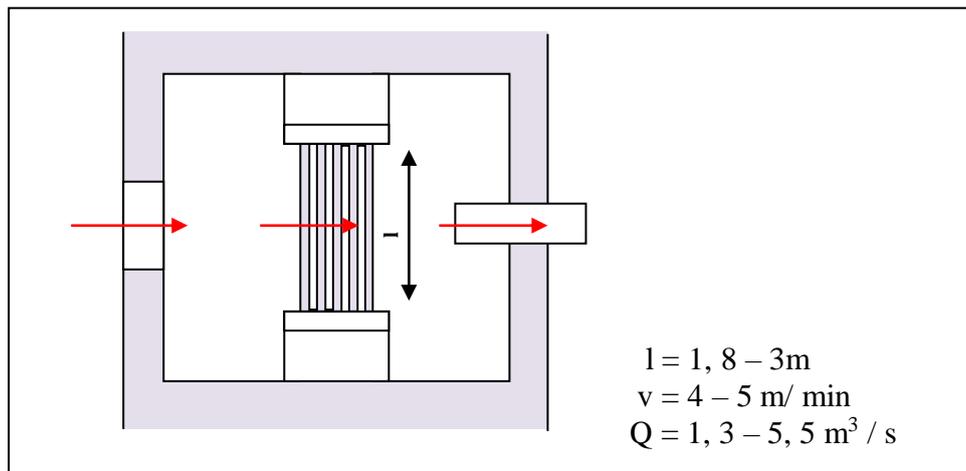


Figure.4. Grillage articulé rotatif avec arrivée d'eau frontale

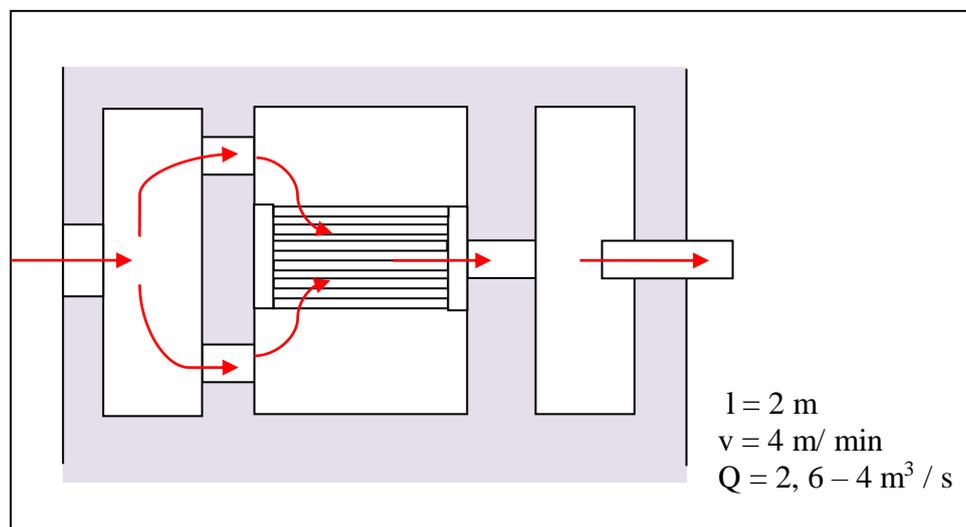


Figure.5. Grillage articulé rotatif avec arrivée d'eau extérieure

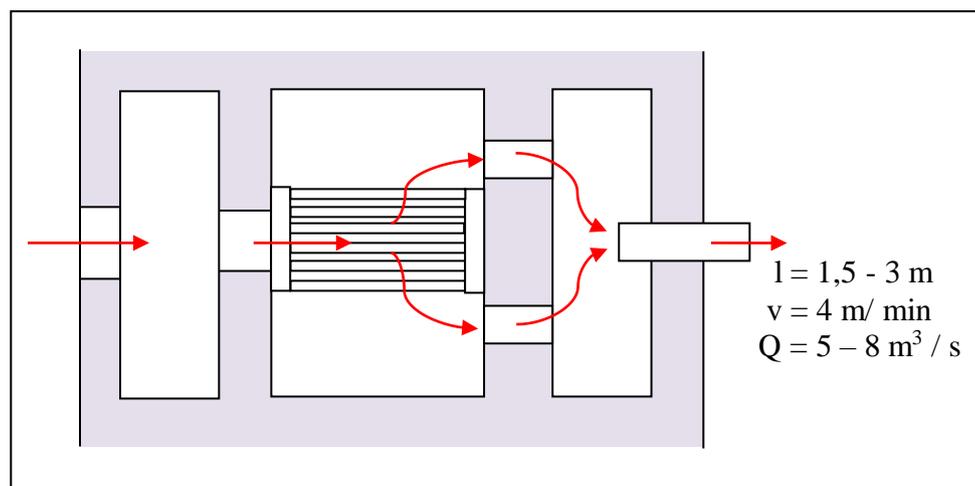


Figure.6. Grillage articulé rotatif avec arrivée d'eau extérieure

On utilise les grillages articulés rotatifs pour le prélèvement de grande quantité d'eau à partir des sources polluées, leur nettoyage et l'évacuation des impuretés sont complètement nécessaires.

On distingue d'après le mode d'arrivée d'eau trois types de grillage rotatifs (Figures : 4, 5, 6).

Les évacuations des produits de pétrole sont exécutées à l'aide d'une bande rotative de 'polyuréthane' qui absorbe bien ce produit.

La protection des poissons est exécutée à l'aide des installations mécaniques (toile, filtre hydraulique et physiologique, champ électrique lumineux, sonore).

II.6 Installations pour la réception de l'eau sur les cours d'eau :

a/ Prise d'eau du type de rivage :

Une prise d'eau du type de rivage est construite immédiatement près d'un rivage et se compose d'un puits de prélèvement d'eau et d'une station de pompe de 1^{ère} élévation, les trous d'entrées sont disposés sur la paroi en avant de puits comme règle en quelques étages par verticale pour prélever d'eau des couches différentes du courant d'eau.

Les trous d'entrée sont fournis par les grilles amovibles contre les ordures et les impuretés ainsi que par les vannes d'arrêt pour fermer partiellement ou complètement les trous du côté intérieur.

A l'intérieur d'un puits de prélèvement d'eau on trouve les grillages :

- Plats.
- Amovibles.
- Rotatifs.

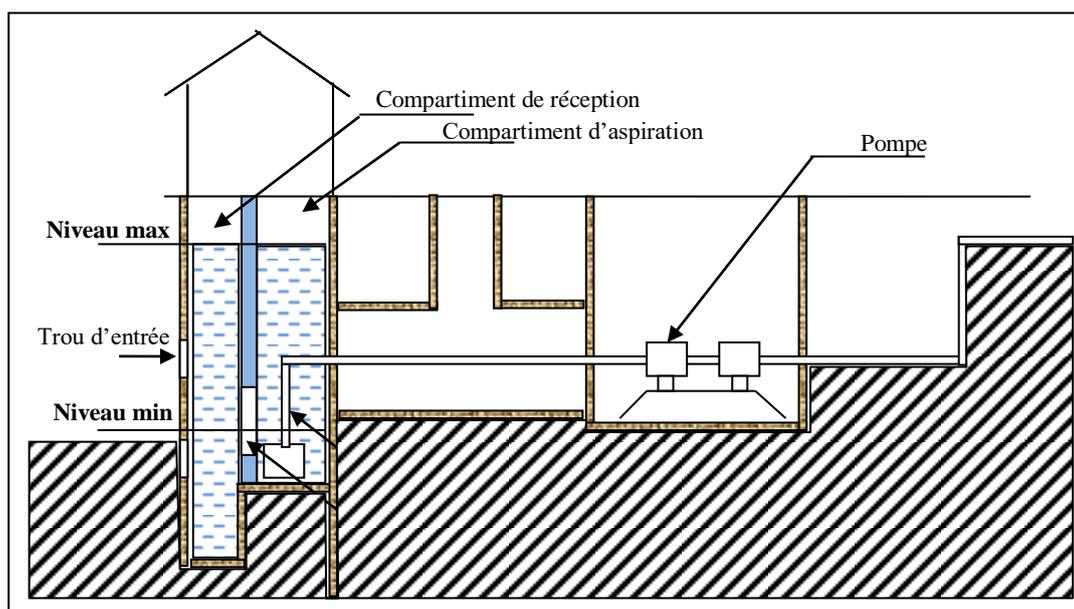


Figure.7. Prise d'eau du type de rivage

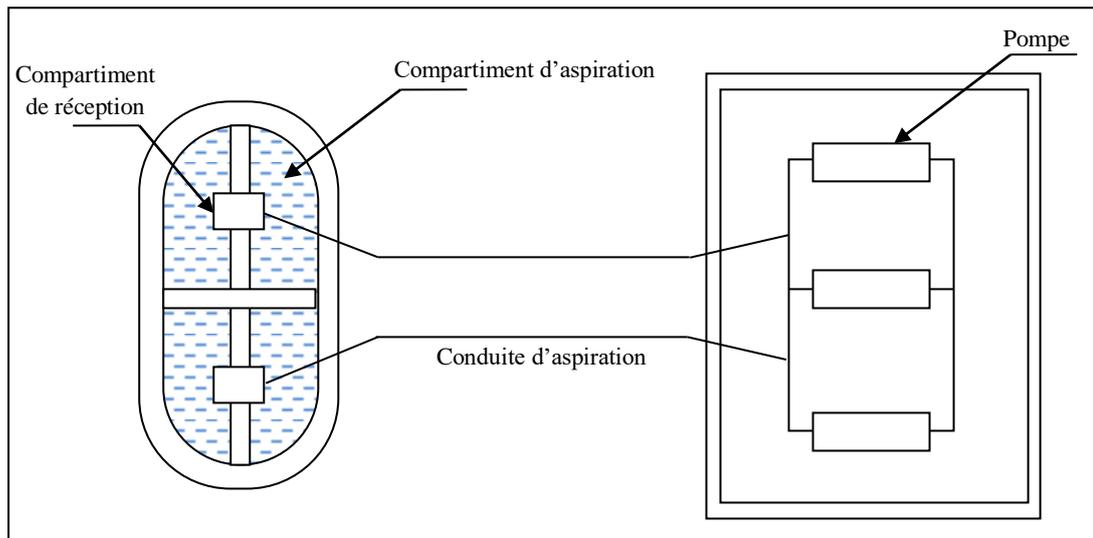


Figure.8. Prise d'eau du type de rivage

Pour l'épuration de l'eau contre les impuretés ces grillages séparent les puits en deux compartiments :

- 1) Compartiment de réception.
- 2) Compartiment d'aspiration.

Le puits de prélèvement doit être aussi fourni par les dispositifs spéciaux (puisard pompe à boue) pour prévenir l'engorgement des puits par les particules en suspension qui se précipitent à cause de la diminution brusque de la vitesse du mouvement d'eau.

On construit le puits du prélèvement d'eau en béton armé de section rectangulaire ronde ou ovale, il doit être séparé par les cloisons en quelques compartiments fonctionnés parallèlement pour assurer la réparation périodique d'un compartiment sans cessation de prélèvement d'eau ; la distance entre le niveau minimal du courant et le haut des trous d'entrée doit être pas moins que 0,2 – 0,3 m ; celle-ci entre le bas des trous et le fond du courant d'eau doit être pas moins que 0,5 – 1 m pour prévenir d'arrivée des dépôts du fond.

La section et les dimensions des trous d'entrée sont déterminées pour le fonctionnement simultané de toutes les sections en fonction de la vitesse moyenne de l'arrivée d'eau aux cellules des grilles et des grillages par la formule :

$$W = 1,25 \cdot \frac{Q}{V} K$$

W : section des trous d'une section (m²).

1,25 : coefficient qui tient compte de l'engorgement du puits.

Q : débit calculé d'une section (m³/s).

K : coefficient qui tient compte de l'obstruction des trous par les barres de la grille : $K = \frac{a+c}{a}$

a: distance entre des barres (cm).

c : diamètre des barres (cm).

La section minimale nécessaire des grillages de protection est déterminée par la formule

précédente avec K qui est : $K = \left(\frac{a+c}{a}\right)^2$

On utilise deux schémas technologiques des prises d'eau du type de rivage :

- 1) Séparée : est utilisée pour les prises d'eau de productivité petite et moyenne avec les fondations faibles.
- 2) Réunie : pour la productivité moyenne et grande et la fondation stable.

Les gabarits des puits de prélèvement d'eau sont déterminés en fonction des gabarits des trous d'entrée.

Les paramètres verticaux de la prise d'eau dépendent de la variation des niveaux des courants d'eau des conditions de fondation ...etc.

b/ Prise d'eau du type de lit :

On les utilise pour les rivières de petite profondeur avec les rives de pente douce composées des roches meuble. Une prise d'eau de ce type se compose des éléments montrés sur le schéma.

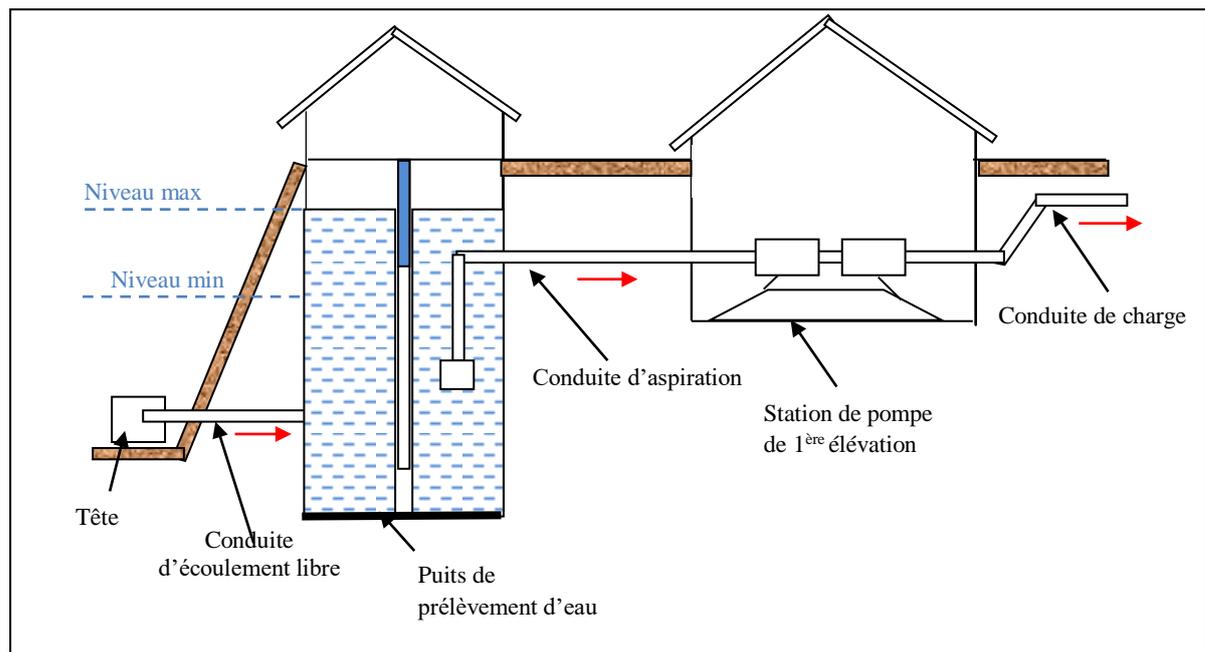


Figure.9. Prise d'eau du type de lit

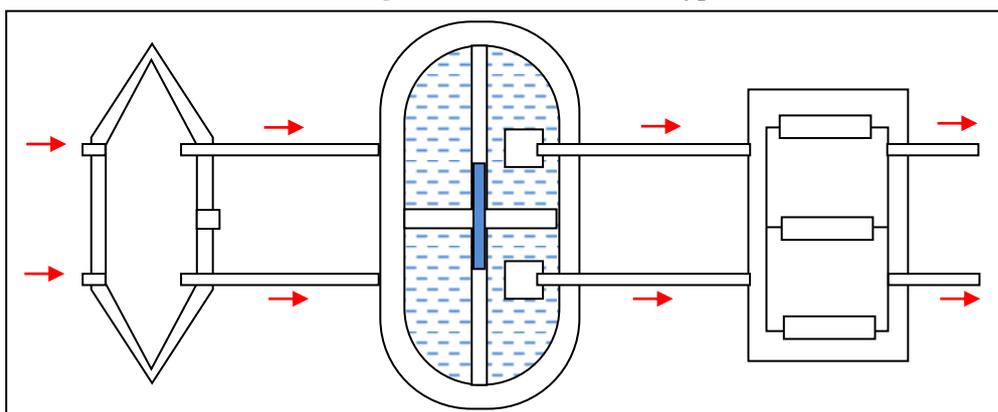


Figure.10. Prise d'eau du type de lit (Coupe horizontal)

En fonction de la disposition mutuelle du puits de prélèvement d'eau et de la station de pompe on distingue les prises d'eau de type de lit séparées et réunies.

Les conditions de leur utilisation sont les mêmes comme les prises d'eau de type de rivage. Pour les rivières avec l'eau relativement pure, une prise d'eau se compose seulement de la tête de conduite d'aspiration et d'une station de pompe.

La construction et l'exploitation des prises d'eau de type de lit sont considérablement plus compliquées par rapport au type de rivage. Leurs fiabilités sont plus basses par ce qu'elles sont plus difficiles au service et à la réparation c'est pourquoi on les utilise pour de débit de petite et de moyenne productivité et les conditions naturelles dont la construction des prises d'eau de type de rivage est impossible.

La tête de la prise d'eau est l'élément le plus important ; elle ne sert pas seulement pour le prélèvement d'eau mais aussi pour fixer et protéger les extrémités des conduites d'écoulement.

La fiabilité de la distribution d'eau dépend considérablement de la constitution de l'emplacement et de la fiabilité de fonctionnement des têtes, on distingue trois types de tête :

- 1) Tête inondée constamment.
- 2) Tête inondée par les eaux de crue.
- 3) Tête non inondée.

La section totale des trous d'entrée des têtes est déterminée d'après la formule :

$$W = 1,25 \cdot \frac{Q}{V} K \text{ (m}^2\text{)}$$

Où : $K = \frac{a+c}{a}$

- La vitesse admissible V de l'arrivée d'eau ne doit pas dépasser (0,3 – 0,1 m/s).
- Le nombre des trous d'entrées ne doit pas être moins que 2.
- Les dimensions des trous dépendent des dimensions des grilles de protection.
- Les conduites d'écoulement sont construites des tubes en acier en béton ou sous forme des galeries en béton.
- Leurs nombres ne doit pas être moins de 2.
- Leur pente peut être vers le puits de prélèvement d'eau ou le contraire.
- La vitesse d'écoulement de l'eau ne doit pas être moins que (0,7 – 0,9 m/s) pour prévenir leur engorgement par les dépôts.
- Les puits de prélèvement d'eau sont analogues.
- Comme pour les prises d'eau de type de rivage ; On construit ces prises d'eau de béton armé ou monolithes par un procédé à caisson ou un procédé descendant.

c/ Prise d'eau sur les canaux :

La plupart de ces installations sont analogue aux celles des rivières, elles peuvent être de type de rivage et de lit sans barrage pour le débit moins que (25 %) de débit de canal et avec ouvrage de régularisation pour le débit plus grand que (25 %) de débit de canal.

Pour distinguer des prises de rivières, les prises d'eau de canal peuvent être construites sans station de pompe de première élévation ; ce schéma est possible pour les canaux en remblais et sur les terres hautes.

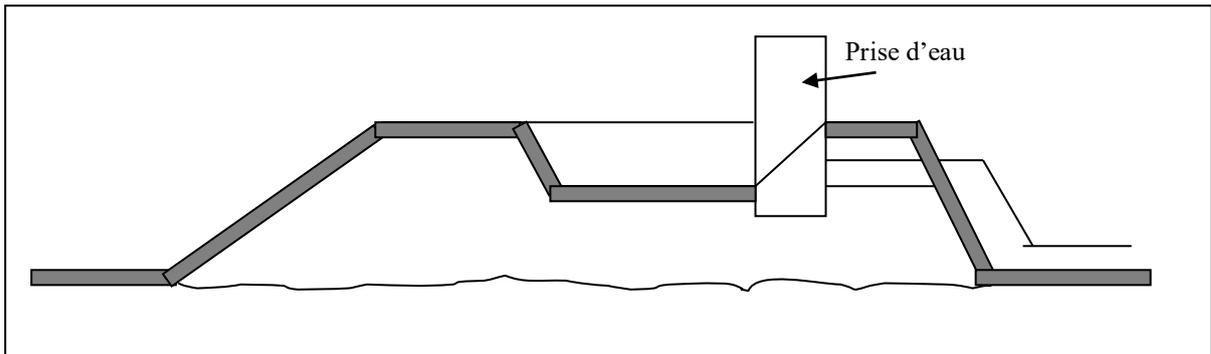


Figure. 11. Canal à remblais

Les conditions de prélèvement d'eau pour les canaux sont plus faciles par rapport aux rivières parce que les variations de niveau sont non-considérables dans ces conditions.

Les prises d'eau de type de rivage séparées sont plus rationnelles.

Les exigences aux dispositifs de prélèvement d'eau sont analogues aussi ; les trous d'entrée doivent être calculés pour le prélèvement de la quantité nécessaire d'eau.

Pour le débit minimal calculé du canal ils doivent avoir un seuil contre l'arrivée des dépôts de fond.

On les protège contre les ordures à l'aide des grilles et des grillages fournis par les dispositifs de fermeture.

Les gabarits de ces installations sont les mêmes comme pour les prises des rivières.

Dans les conditions simples les prises de canal peuvent avoir en quantité des dispositifs de prélèvement d'eau les moyens les plus simples : raccord conique – tube – faille.

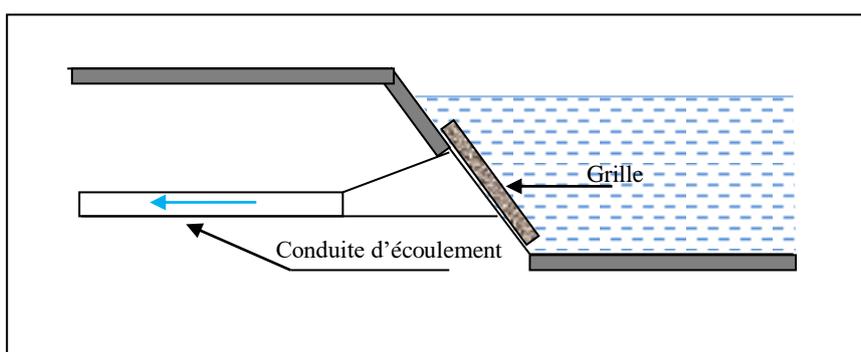


Figure.12. Raccord conique

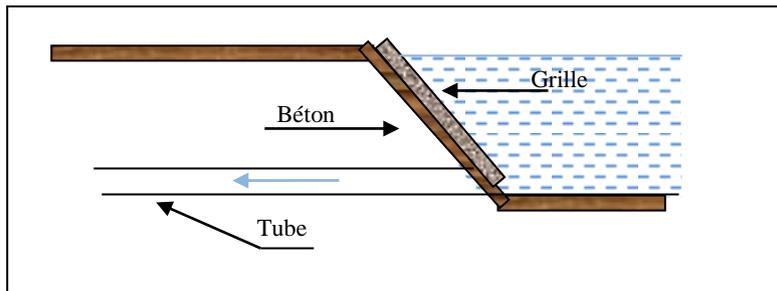


Figure.13. Raccord tube

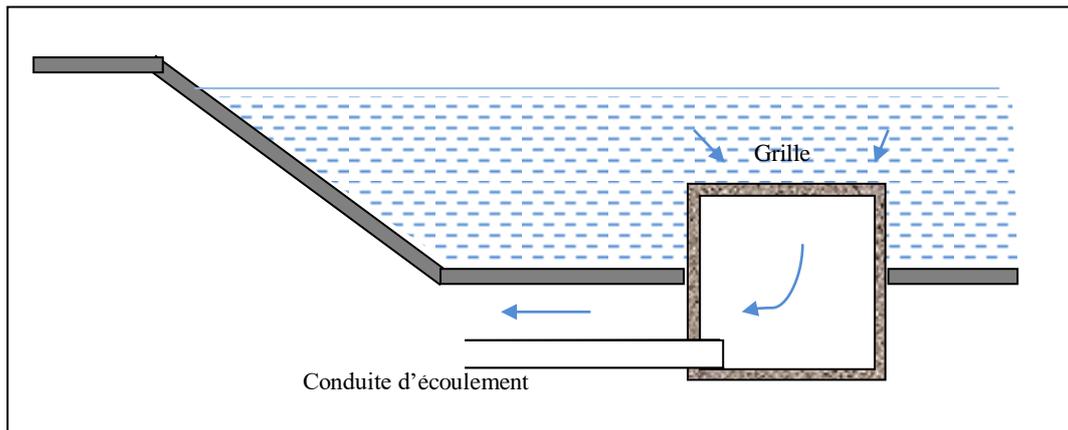


Figure .14. Puits de fond du prélèvement d'eau

Dans les conditions climatiques favorables et l'eau relativement pure on peut exercer le prélèvement immédiatement à partir du canal à l'aide d'une pompe électrique émergée.

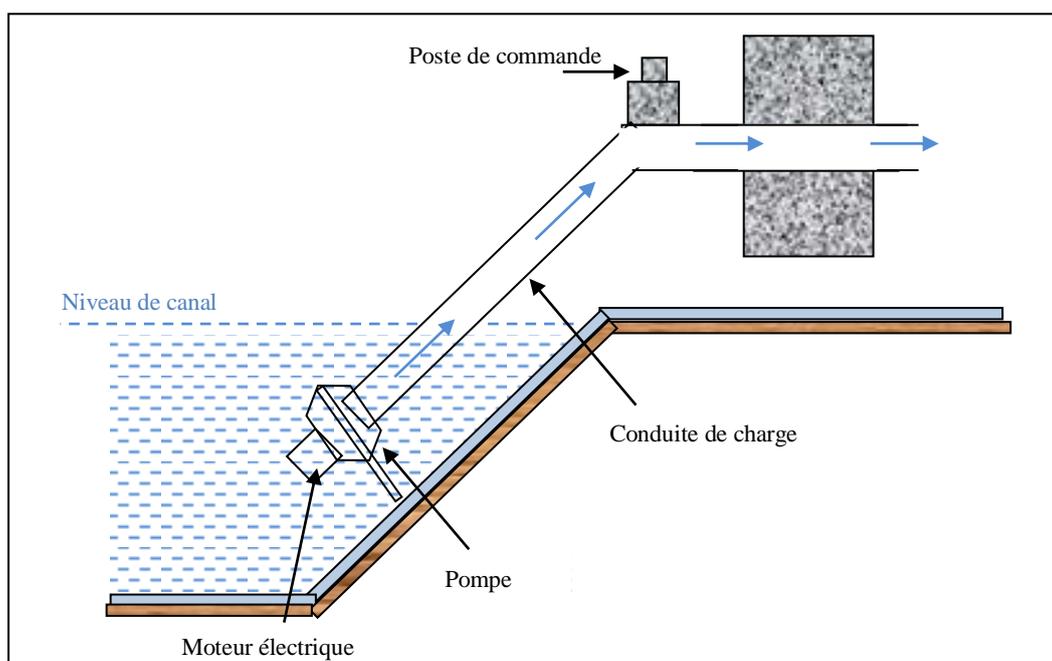


Figure .15. Prélèvement à partir du canal à l'aide d'une pompe électrique émergée.

d/ Installation pour la réception d'eau à partir des réservoirs naturels et artificiels :

Les réservoirs naturels et artificiels se caractérisent souvent par les mêmes paramètres qui influent sur l'emplacement du schéma et la construction de la prise d'eau.

Les lacs les plus favorables pour le prélèvement d'eau sont les lacs grands et profonds avec les variations faibles de niveau et la fleuraison non considérable, on utilise le plus souvent les prises d'eau de type de lit se trouvant à la profondeur suffisante avec la pollution minimale.

Comme règle c'est une tête sous forme d'un raccord conique liée au puits de prélèvement d'eau ou à la station de pompe par la conduite d'écoulement libre ou d'aspiration.

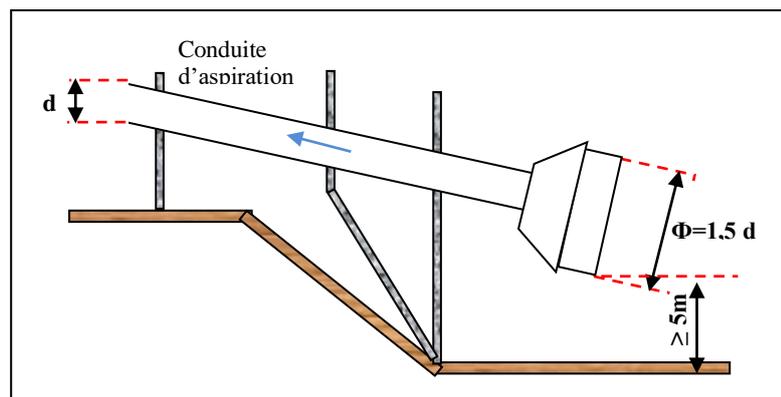


Figure .16.Raccord conique

Pour les grands lacs, même peu profonds une prise d'eau de type de lit est aussi la plus rationnelle, pour ces lacs la fleuraison et l'envahissement pendant les agitations sont caractéristiques c'est pourquoi les têtes inondées constamment et non inondées sont déposées à la distance considérable du rivage.

La constitution de la prise d'eau est la même comme pour les rivières.

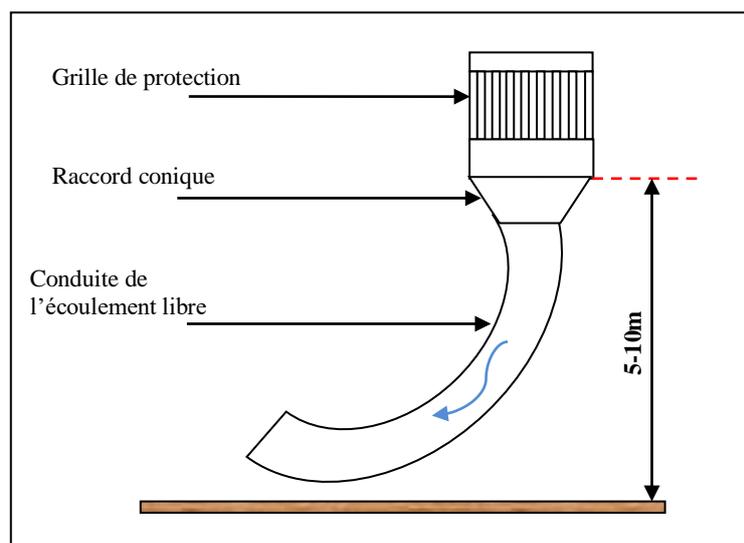


Figure .17. Prise d'eau de type de lit

Pour les petits lacs et peu profonds on utilise les prises d'eau de type de lit et les prises d'eau plus simple comme pour les canaux.

Pour les réservoirs artificiels peuvent être utilisées :

- 1) Prise d'eau de type de lit séparé.
- 2) Prise d'eau de type d'île.
- 3) Prise d'eau de type combiné avec le prélèvement d'eau près du rivage et à la grande profondeur.
- 4) Prise d'eau réunie avec les constructions hydrotechniques.

Chapitre III :**Puits - sondages tubulaires****III.1. Mode du forage des puits tubulaires :**

Les puits tubulaires sont les excavations-sondages minières cylindriques ayant une grande profondeur et un diamètre relativement petit, le plus souvent on fore les sondages de 100-150 m de profondeur, plus rarement de 200-300 m de profondeur et encore plus rarement de 300-1000 m et plus.

Les puits tubulaires possèdent plusieurs avantages par rapport à d'autres types de prises d'eau c'est pourquoi on les construit les plus souvent.

Actuellement on fore les sondages d'eau en utilisant deux méthodes les plus répandues :

- Forage rotary.
- Forage par battage.

On utilise aussi forage à carottage, forage hydraulique, forage à vis et forage à percussions, portant on les utilise assez rarement par les causes suivantes :

- Forage à carottage : à cause de petit diamètre.
- Forage hydraulique : à cause de petite profondeur et la possibilité de forer seulement dans les roches meubles.
- Forage à vis : à cause de petite profondeur et la possibilité de forer seulement dans les roches argileuses non saturées d'eau...etc.

Le choix de mode de forage dépend des conditions hydrogéologiques locales de la profondeur et de diamètre du sondage d'après les données du tableau suivant :

Mode du forage		Conditions de l'utilisation	Avantages	Inconvénients
Forage Rotary	a/ avec boue de forage :	* Avec n'importe quelle profondeur aux conditions favorables hydrogéologiques * Bon approvisionnement par l'eau et l'argile de bonne qualité.	* Vitesse de forage relativement grande dans les roches meubles. * Economie considérable de tube de soutènement	* Nécessité de liquider l'embouage des nappes * Absence de la possibilité de faire un pompage au cours du forage
	b/ avec circulation d'eau ou d'air :	* Dans les roches dures et stables.	* Absence de l'embouage des nappes	* Faible vitesse du forage.
	c/ avec circulation inverse :	* Sondage avec la profondeur jusqu'à 300 m et le diamètre jusqu'à 1000 mm dans les roches sans galets.	* Vitesse relativement grande. * Absence de l'embouage des nappes.	* Nécessité de grande quantité de l'eau. * Possibilité de forer seulement aux roches stables.
Forage par battage		* Profondeur de 50-150m dans n'importe quelles conditions hydrogéologiques.	* Absence de la nécessité en eau et de la liquidation de l'embouage des nappes.	* Vitesse relativement petite dans les roches dures. * Grande dépense des tubes de soutènement.
Forage combiné par Battage et Rotary		* Profondeur dépassant 150m dans les conditions hydrogéologiques compliquées.	* Possibilité de forer en n'importe quelle condition hydrogéologique et n'importe quelle profondeur.	* Nécessité d'avoir deux types d'équipements.
Forage à carottage		* Forage avec diamètre ne dépassant pas 200mm dans les roches dures. * N'importe quelle profondeur de forage.	* Vitesse relativement grande. * Possibilité de recevoir les échantillons intacts.	* Besoins en eaux et en argiles. * Diamètre limité. * Embouage des nappes.

III.2. Construction des puits tubulaires :

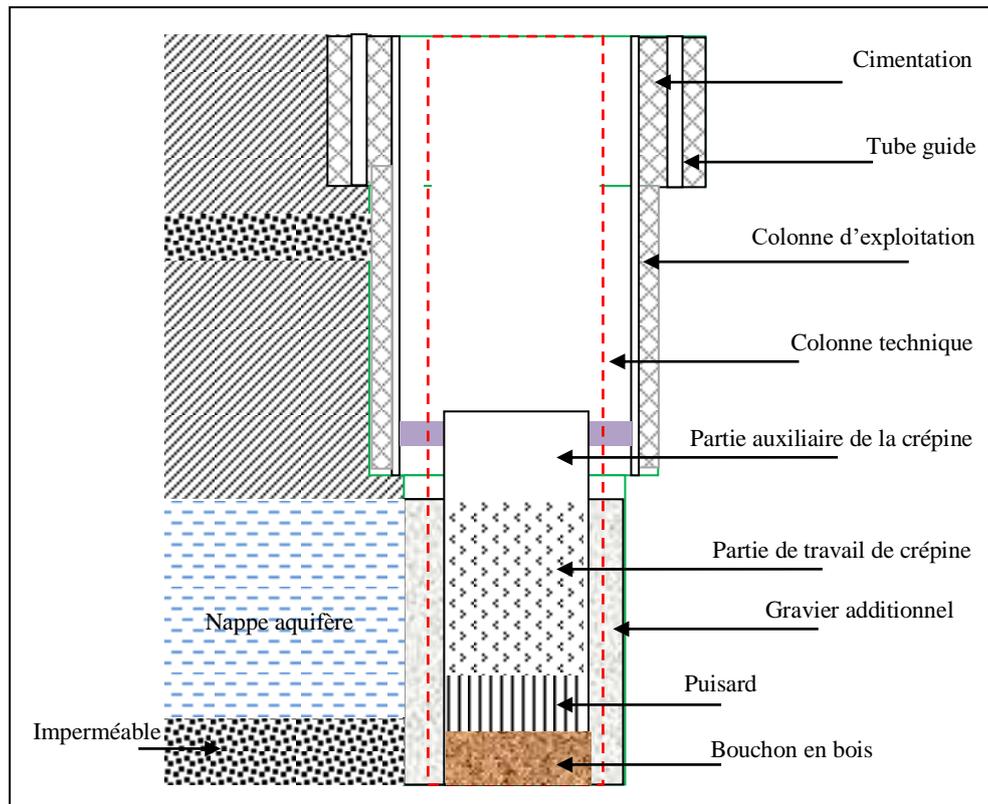


Figure.18. Schéma d'un puits tubulaire

On fore des sondages isolés et les groupes de sondage pour le prélèvement des eaux souterraines. C'est pourquoi on distingue les prises d'eau souterraines isolées et groupées.

Les dernières sont constituées des sondages d'interférence fonctionnés simultanément, on les fore après la prospection détaillée des nappes aquifères par les sondages d'essai.

Les éléments d'un sondage (tube guide ...etc.) (fig18), sont choisis en fonction de mode de forage, de la profondeur du sondage des conditions hydrogéologiques ...etc.

La profondeur du sondage est déterminé d'après la profondeur du toit et du mur de la nappe aquifère à exploiter, de débit calculé et du rabattement possible du niveau, de la profondeur nécessaire de l'approfondissement de tube d'écoulement (tube de montée) le diamètre d'exploitation (inférieur) de la colonne des tubes destinés à l'installation de corps de la pompe et le diamètre final du sondage dépendent des gabarits de la pompe utilisée de la profondeur de sa descente du type de la crépine ainsi que de la nécessité du nettoyage des sondages et de l'installation d'un dispositif pour mesurer la position du niveau au cours de l'exploitation.

Au cours du forage les sondages sont soutenus complètement ou partiellement par les tubes métalliques ou plastiques. Le diamètre final d'une colonne de soutènement pour le forage par

battage doit être plus grand par rapport au diamètre extérieur de la crépine à 50-100 mm et plus.

Pour le forage à Rotary sans soutènement des parois le diamètre final des sondages doit être plus grand de 100 mm et plus par rapport au diamètre extérieur de la crépine.

La colonne axillaire doit être plus haute par rapport au sabot de tubage par moins que 3 m pour les sondages jusqu'à 30 m de profondeur et 5 m pour les sondages plus profonds.

Le puisard possède une longueur moins que 2 m pour les sondages ne dépassant pas 15 m (de profondeur) plus que 3 m pour les sondages de 16-30 m de profondeur ≥ 5 m pour les sondages de 31-90 m de profondeur et ≥ 10 m pour les sondages plus profonds.

III.3. Choix et calcul des crépines :

La partie de puits tubulaire destinée au prélèvement d'eau peut être avec ou sans crépine en fonction de la composition des nappes aquifères. Les sondages sans crépines sont arrangés dans les roches dures fissurées stables ainsi que dans les sables limoneux ou argileux.

Dans ces derniers cas on fore le sondage jusqu'au toit de la nappe intéressée et après on forme une cavité à l'aide d'un pompage intensif.

Les sondages avec crépines sont arrangés dans les roches meubles et instables. Le type de la crépine et sa construction sont choisis en fonction des conditions hydrogéologiques du débit nécessaire de la composition des nappes de la profondeur du sondage de l'agressivité de l'eau ainsi que d'après les exigences suivantes :

- a) La crépine doit avoir une solidité mécanique suffisante avec la capacité maximale de filtration et des dimensions maximales admissibles des trous d'entrée.
- b) La crépine doit avoir une stabilité contre la corrosion chimique et mécanique de l'eau.

On utilise le plus souvent pour les roches graveleuses et sableuses les crépines tubulaires avec les trous sondes et en fentes ainsi que les crépines avec toiles. Une crépine trouée est un tube métallique ou plastique sans ou avec boucle de fil métallique.

La surface totale des trous (ouverture de la crépine) doit composer au moins 15 % de surface de la partie de travail d'une crépine, l'ouverture optimale pour les crépines avec les trous ronds est égale à 19-31 % avec les trous en fentes 17 - 20 % .

Pour fabriquer les crépines avec toiles on utilise les toiles en acier, en laiton et plastique, la toile doit laisser passer 40-80 % de la masse de sable aquifère.

Les dimensions des trous d'entrée pour les crépines sans graviers additionnés sont déterminées d'après le tableau suivant (tableau 5) :

Type de la partie de travail de la crépine	Coefficient de non homogénéité des roches de la nappe aquifère	
	$\eta \leq 2$	$\eta > 2$
Carcasse avec trous ronds	(2,5 ... 3) d_{50}	(3 ... 4) d_{50}
Carcasse avec trous en fentes	(1,25 ... 1,5) d_{50}	(1,5 ... 2) d_{50}
Toiles	(1,5 ... 2) d_{50}	(2... 2,5) d_{50}

Remarque :

- Coefficient de non homogénéité (η) est déterminé d'après la formule : $\eta = d_{60}/d_{10}$
- Valeur plus faible des trous pour les sables à grains fins et plus grandes pour les sables à gros grains.

Pour les crépines avec graviers additionnels les dimensions des trous sont acceptées égales aux diamètres moyens des particules de graviers additionnels qui entoure les parois des filtres.

Le gravier additionnel est choisi d'après la relation :

$$D_{50}/d_{50} = 8 \dots 12 \text{ Ou } D_{50} : \text{ pour le gravier additionnel et } d_{50} : \text{ pour le sable de la nappe.}$$

En pratique la formation du gravier additionnel en 1,2 et 3 strates :

$$D'_{50}/d_{50} = 8 \dots 12$$

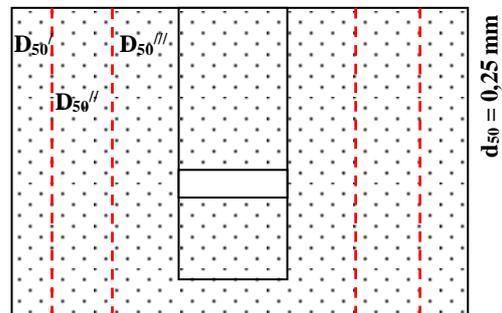
$$D_{50}^{max}/D_{50}^n = 4 \dots 6$$

$$\text{Exemple : } d_{50} = 0,25 \text{ mm}$$

$$D'_{50}/d_{50} = 10 \quad , \quad D'_{50} = 0,25 \cdot 10 = 2,5 \text{ mm}$$

$$D''_{50}/D'_{50} = 5 \quad , \quad D''_{50} = 5 \cdot 0,25 = 12,5 \text{ mm}$$

$$D'''_{50}/D''_{50} = 5 \quad , \quad D'''_{50} = 5 \cdot 12,5 = 62,5 \text{ mm}$$



L'épaisseur de chaque strate ne doit pas être moins que 50 mm.

La partie de travail de la crépine est installée à la distance supérieure ou égale à 0,5 m du toit et d'un mur de la nappe.

En cas de l'utilisation de quelques nappes simultanément on installe les crépines à chaque nappe.

III.4. Longueur et position des crépines :

a) Nappe captive en terrain homogène :

- La crépine doit être placée toujours à la base de la couche aquifère.
- Si l'épaisseur de la couche ne dépasse pas 7,5 m ; 70% de la couche doit être crépinée.
- Si l'épaisseur de la couche $m=7,5 \dots 15$ m ; 75 % de la nappe doit être crépinée.
- Si l'épaisseur de la couche $m=15$ m ; 80 % doit être crépinée.

b) Nappe captive à terrain hétérogène :

Il faut crépiner à 70 - 80 % la couche la plus perméable.

c) Nappe libre en terrain homogène :

- Il faut crépiner le 1/3 - 1/2 de l'épaisseur (30 – 50%) puis poser une longueur crépine pour réduire la vitesse d'eau a l'entrée.
- Ou poser une crépine courte vers le bas de l'aquifère pour augmenter le rabattement du débit.
- Exploitation de 1/3 inférieur donne une eau moins chère en m³ pompé.

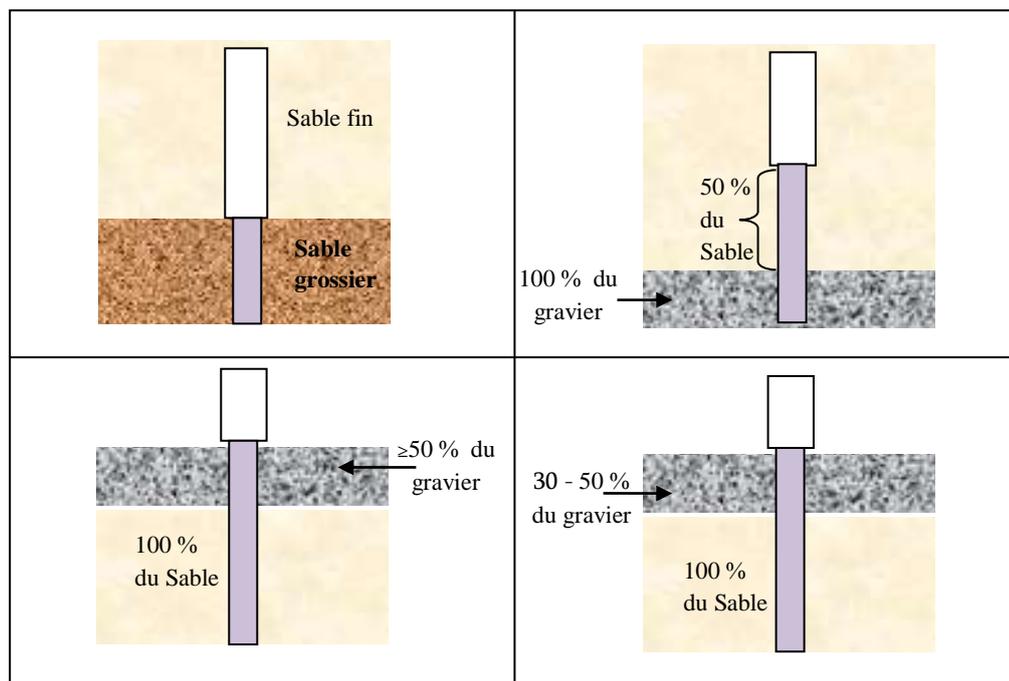
d) Nappe libre en terrain hétérogène :

Figure.19. Longueur et position des crépines

La capacité d'une crépine peut être déterminée d'après la formule :

$$Q = \pi . d . C . L . V . 3600 \quad (m^3/h)$$

Où π : 3,14

d : diamètre de la crépine.

L : longueur de la crépine.

C : coefficient d'ouverture (0,2-0,3)

V : vitesse d'entrer admissible (0,03 m/s)

III.5. Calcul des puits tubulaires :

D'habitude on fait les calculs hydrogéologiques pour quelques variantes de la disposition des puits dans une prise d'eau, et quelques variantes de la disposition des prises d'eau dans un terrain et on choisit un schéma optimal de la prise d'eau.

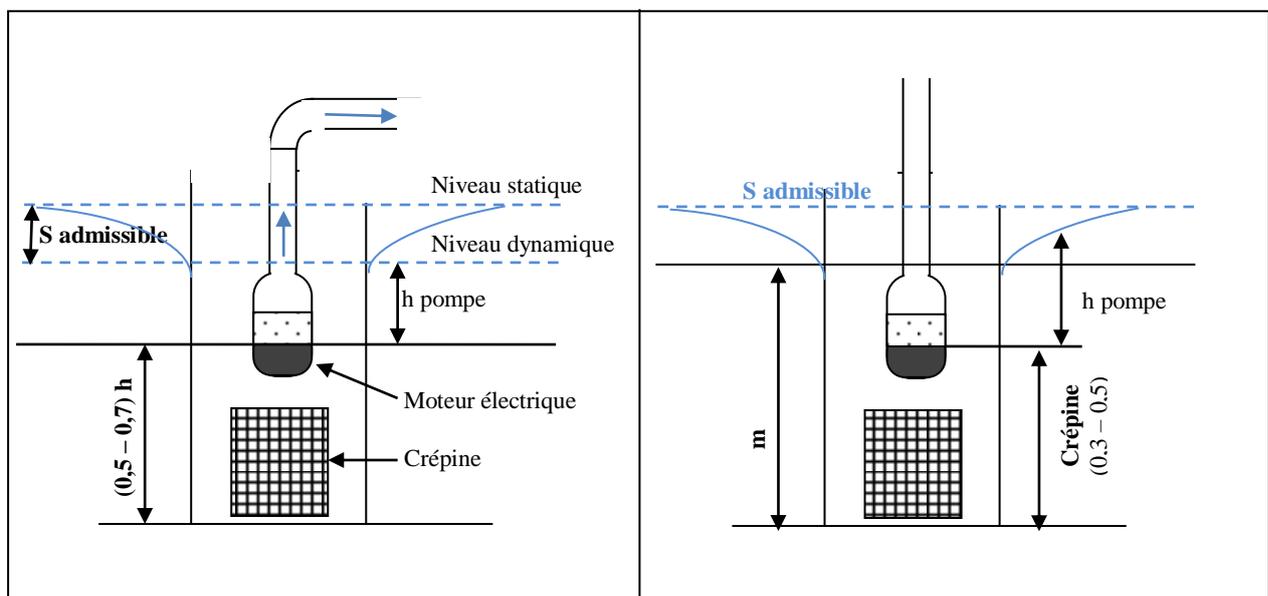
Pour toutes les variantes on compare le rabattement calculé avec le rabattement admissible en cas où S calculé $>$ S admissible il est nécessaire d'augmenter le nombre des puits, en cas contraire on peut augmenter le débit d'une prise d'eau ou réduire le nombre des puits et la distance entre les puits

D'après l'expérience :

- Nappe libre : $S_{admissible} \approx (0,5 \dots 0,7)h - h_{pompe}$
- Nappe captive : $S_{admissible} \approx h - (0,3 \dots 0,5)m - h_{pompe}$

Où : h_{pompe} : profondeur maximale de la descente du bas de la pompe au dessous du niveau dynamique.

m : épaisseur de la nappe aquifère.



Les calculs hydrogéologiques des prises d'eau sont exécutés d'après les lois de filtration en tenant compte des conditions hydrauliques du courant souterrain et de degré de la schématisation des conditions hydrogéologiques.

	Nappe libre	Nappe captive
Puits isolé parfait	$Q = \frac{1,36 \cdot K \cdot (2h - S)S}{\log \frac{R}{r}}$	$Q = \frac{2,73 \cdot K \cdot m \cdot S}{\log \frac{R}{r}}$
Puits isolé imparfait	$Q = \frac{1,36 \cdot K \cdot (2h - S)S}{\log \frac{R}{r} + 0,43}$	$Q = \frac{2,73 \cdot K \cdot m \cdot S}{\log \frac{R}{r} + 0,43}$
Groupe des puits parfaits	$m = b - \frac{2h + h_0}{3}$	$Q = \frac{2,73 \cdot K \cdot m \cdot S}{\log \frac{R}{r_0} + \frac{1}{h} \log \frac{\sigma}{\pi r_0}}$
Un range linéaire des puits parfaits	$Q_\varepsilon = \frac{2 \pi \cdot K \cdot m \cdot S}{\ln \sqrt{l + \frac{2L}{l}} + \frac{2L}{l} \arctan \frac{l}{2L} + \frac{\sigma}{l} (\ln \frac{\sigma}{\pi r_0} + \varepsilon)}$	

r : rayon réduit d'un système des puits

$$r_0 = \sqrt{\frac{F}{\pi}} \quad , \quad r_0 = \frac{P}{2\pi} \quad , \quad r_0 = 0,37 \cdot l$$

Ou l : moitié de la longueur d'un range de sondage

Pour le système circulaire $r_0 = R_0$

R_0 : Rayon d'un cercle de sondage

ε : Le même coefficient pour les puits isolés.

σ : Coefficient qui tient compte de la résistance de filtration on le trouve d'après le graphique spécial.

Les distances entre les puits d'un système de sondage peuvent être déterminées d'après le tableau :

Roche		Productivité des puits m ³ /h		
		< 20	20 - 100	100 - 500
Sable	Fin	50	50 - 70	70 - 100
	Moyen	70 - 100	100 - 150	120 - 150
	Gros	100 - 120	120 - 150	150 - 200
Gravier et roches fissurés		120 - 150	150 - 200	200 - 250

III.6. Type de crépinage des nappes aquifères :

Voir le tableau suivant :

Roche aquifère		Diamètre des particules (mm)	R (m)	K (m/j)	μ	Crépine recommandée
1- Limons		0,01-0,1	≤ 15	$\leq 0,1$	$\leq 0,05$	-
2- Limons sableux		-	15 - 50	0,1 - 1	0,10 - 0,25	-
3-Sables	Fins (0,1 -0,25 mm>50 %)	0,1 – 0,25	50 – 100	1 – 5	0,14 – 0,18	*crépine tubulaire trouée avec gravier additionnel ou crépine avec béton poreux
	Moyens (0,25–0, 5 mm>50 %)	0,25 – 0,5	100 – 300	5 – 15	1,17 – 0,21	*crépine tubulaire trouée en range avec toile.
	Gros (0,5- 1mm>50 %)	0,5 – 1	300 – 400	15 – 20	0,19 – 0,23	*crépine tubulaire trouée en fente avec ou sans toile.
	Graveleux (1 -2 mm>50 %)	1 - 2	400 - 500	20 - 30	0,21 – 0,25	*crépine tubulaire trouée en fente
4- Graviers (2 -5 mm>50 %)	Fins	2 – 3	400 – 600	30 – 50	0,24 – 0,25	*crépine tubulaire trouée en fente ou en range.
	Moyens	3 – 5	600 – 1500	50 – 70	-	*crépine tubulaire trouée en fente ou en range.
	Gros	5 - 10	1500 - 3000	70 - 100	-	*crépine tubulaire trouée en fente ou en range.
5-Galets		>10	>3000	>100	0,22 – 0,25	*crépine tubulaire trouée en fente ou en range.
6-roches Karstifiés		-	250 – 350 et plus	40 – 100	0,005 - 0,25	*Sans crépine
7-Roches fissurées		-	100 - 250	1 - 25	0,01 – 0,1	*Sans crépine

Chapitre VI : Réception des eaux souterraines

VI.1. Constitution d'une prise d'eau :

En général une prise d'eau souterraine se compose des éléments suivants :

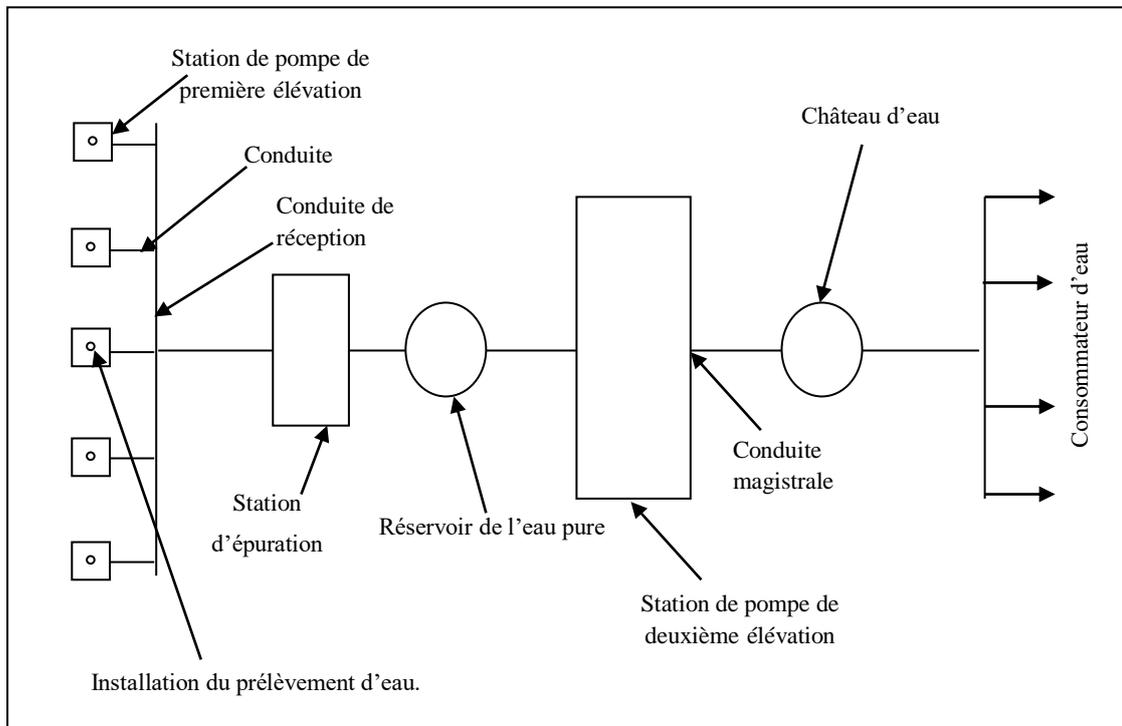


Figure.20. Constitution d'une prise d'eau

La constitution de la prise d'eau et la disposition des éléments peuvent être changées en fonction des conditions naturelles locales, en fonction de type des eaux souterraines, de la qualité d'eau, de nombre de consommateur ...etc.

VI.2. Type et schéma des prises d'eau souterraines :

En fonction des conditions concrètes on utilise les prises d'eau des types principaux suivants :

A. Prises d'eau verticales :

- a) Puits (sondages) tubulaire : pour les nappes libres et captives avec le gisement profond (>10 m) et l'épaisseur considérable.
- b) Puits de mine : pour les nappes libres et semi captives de faible profondeur (< 20 m).

B. Prises d'eau horizontales :

- a) Galerie : pour les nappes libres de faible profondeur (< 8 m)
- b) Tranchées à ciel ouvert et tranchées remplies des presses et des galets : pour les nappes suspendues de la zone d'aération
- c) Drains tubulaires : pour le drainage du courant souterrain des cours d'eau superficiels

C. Prises d'eau combinées (galeries horizontales avec les sondages verticaux ou puits de mine avec les drains horizontaux tubulaires) :

Pour les prélèvements des eaux à partir des nappes et par prélèvements des eaux salées

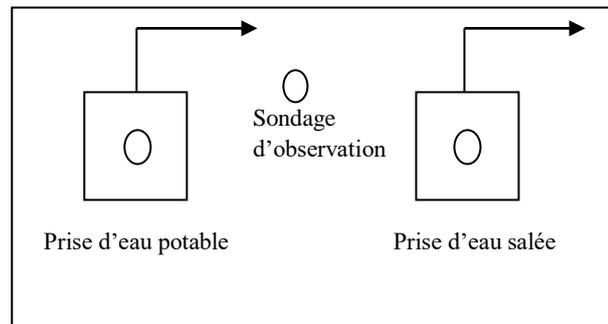


Figure.21. Prise d'eau combinée

Les types des prises d'eau doivent être acceptés en fonction de la profondeur et de la puissance des nappes aquifères ainsi que de la catégorie nécessaire de la fiabilité de la distribution d'eau (Tableau 4)

La réserve des pompes emmagasinée est acceptée d'après la règle : une pompe pour le nombre des pompes en activité ≤ 10 et 10% si le nombre dépasse 10.

Nombre des puits en activité	Catégorie de la fiabilité		
	I	II	III
1	1 puits	1 puits	/
2 - 10	2 puits	1 puits	/
>11	20 % de nombre	10 % de nombre	/

VI.3. Elaboration du projet d'une prise d'eau souterraine:

Les prises d'eau souterraine sont projetées à la base des demandes techniques présentées par les consommateurs on indique a cette demande les données suivantes :

- a) Type de la consommation d'eau (domestique, industrielle ...etc.)
- b) Débit de la consommation (total et devisé par les délais du temps).
- c) Qualité d'eau exigée.
- d) Date de début de l'exploitation

Les taches principales (choix du type et de schéma de la prise d'eau, sa construction ...) peuvent être résolues d'après les études hydrogéologiques.

Le composé de ces études dépend de degré de la complexité des conditions naturelles concrètes de la région à étudier.

Une notice explicative de projet doit contenir :

- a) Argumentation du choix de la source d'alimentation en eau avec les calculs technico-économiques correspondant.
- b) Argumentation de l'emplacement d'une prise d'eau.
- c) Argumentation du schéma d'un bloc de la prise d'eau du type et de la construction d'une prise d'eau.
- d) Calcul hydraulique des installations de prélèvements et de distribution d'eau avec les recommandations des paramètres concrets.
- e) Argumentation du nombre des prises d'eau en activité et des réserves d'après la fiabilité nécessaire.
- f) Choix et description des objets auxiliaires.
- g) Argumentation de la dimension des zones de la protection sanitaire.

La notice explicative est suivie par :

- a) Plan de situation de la région à l'échelle 1/10000 – 1/50000.
 - Consommateurs d'eau.
 - Localités et entreprises voisines.
 - Terrains de la prise existante et projetée avec les zones de protection.
 - Conduite magistrale.
 - Station de pompe.
 - Station de traitement.
 - Château d'eau
 - Terminal de la canalisation (ainsi que les routes, les ponts, les barrages ...etc.)
- b) Plan du bloc des prises d'eau à l'échelle 1/500 – 1/1000 : avec la position des éléments de la prise d'eau.
- c) Coupe des sondages et d'autres prises d'eau utilisées.
- d) Dessin en détail de tous les éléments de la prise d'eau.

VI.4. Zones de protection sanitaire des prises d'eau souterraines :

On élabore un projet des zones de protection sanitaire d'après les études sanitaire et hydrogéologiques permettant d'établir les aires d'alimentation des nappes aquifères.

La direction et la vitesse du courant souterrain, la composition des imperméable et les sources de pollution ; ce projet doit contenir les dimensions et les limites de la zone sanitaire et les mesures de protection de son territoire.

On distingue à ici deux sous-zones comme pour les sources superficielles :

- **La première sous-zone** : (la sous-zone du régime sévère)

Protège le territoire d'une prise d'eau avec tous ses éléments contre la pollution des eaux souterraine immédiatement sur le terrain de la prise d'eau en fonction du relief, de la direction du courant,...etc. On trace des limites de cette sous-zone à la distance par moins que 30 – 50 m de la prise d'eau.

Pour les prises d'eau d'infiltration le territoire entre prise d'eau et la rivière doit se trouver à l'intérieur de cette sous-zone. Pour les prises d'eau isolées sur le territoire sans pollution du sol on trace les limites de cette sous-zone à la distance de 15 – 25 m de la prise d'eau.

Le territoire de cette sous-zone doit être aplani pour dévier l'écoulement superficiel en dehors de ses limites et protéger par un mûr à la limite de cette sous-zone où s'interdire toutes activités anthropiques ainsi que l'utilisation des engrais chimiques.

- **La deuxième sous-zone** : (la sous-zone de limitation)

Est un territoire, où son utilisation est limitée pour exclure l'apparition des sources de pollution de la nappe aquifère exploitée. Il est interdit de construire les objets dangereux au point de vue de la pollution et de l'exploitation normale des prises d'eau. Les limites de cette sous-zone sont tracées à telle distance de la prise d'eau pour que les matières de pollution ne puissent pas atteindre la prise d'eau.

Pour les prises d'eau avec la durée de vie limitée (25 – 50 ans) cette distance doit dépasser la distance de mouvement des matières de pollution pendant (25 – 50 ans)

En pratique les observations sanitaires des sources de pollution possibles pour exercer les mesures de protection

Exemple :

Les prises non exploitables ou exploitées incorrectement doivent être liquidées.

Le territoire de localité doit être aménagé pour protéger les nappes aquifères contre la pollution à partir de la surface.

Le forage des nouveaux sondages doit être contrôlé.

Chapitre V : Autre types des prises d'eau souterraines

V.1. Prises d'eau horizontales :

Les prises d'eau horizontales sont les tranchées ou les galeries à l'intérieur des nappes aquifères perpendiculairement par rapport à la direction d'un courant d'eau souterrain, l'eau prélevée par ces prises d'eau coule librement vers un puits de prélèvement d'eau et après à l'aide des pompes vers une station de traitement ou vers un réseau de distribution d'eau. En général les prises d'eau horizontales se composent de la partie de prélèvement d'eau :

(Tranchées, galeries de la partie des conduites d'eau, des puits de prélèvement d'eau et des puits de ventilation (observation)).

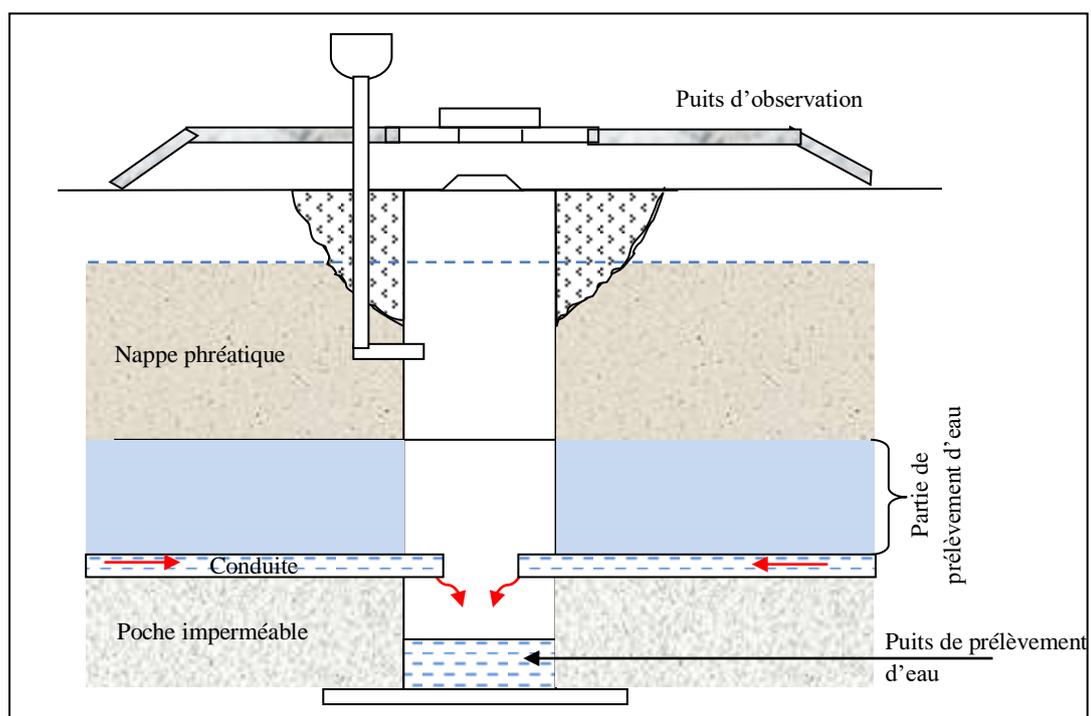


Figure.22. Schéma d'une prise d'eau horizontale

Les prises d'eau sous forme des tranchées sont construites à ciel ouvert par les nappes aquifères de profondeur inférieure à 8 m.

Pour les nappes plus profondes on utilise les galeries creusées à l'aide des méthodes souterraines, la partie de prélèvement des prises d'eau des tranchées peut avoir les constructions différentes :

- a) **A pierraille** : un dispositif composé de pierre et de gravillons de 0,3 -0,5 m de diamètre entourés des couches de sable et de gravier. On utilise ce type de prise d'eau pour le prélèvement à partir des nappes suspendues de la zone d'aération.

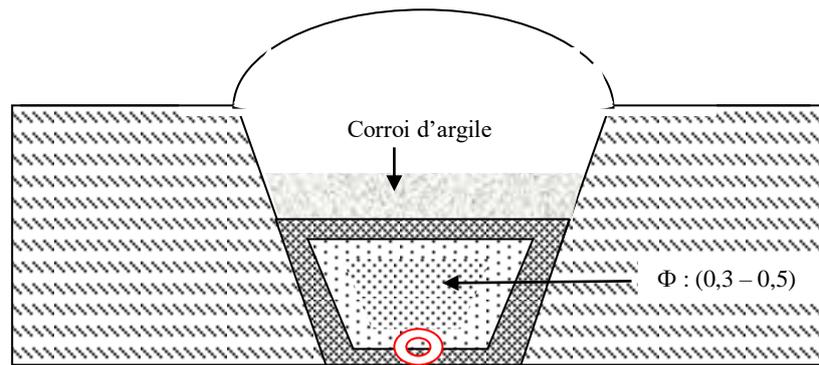


Figure.23. Prises d'eau des tranchées à pierraille

- b) **Tubulaire** : sous forme des conduites avec les trous ronds ou en fentes avec un gravier additionnel en deux ou trois couches ≥ 150 m d'épaisseur. Les conduites possèdent une certaine pente ($i=0,001-0,007$). Pour prévenir la formation des dépôts le diamètre des conduites dépasse aussi 150 m, les trous sont déposés à la partie supérieure ($\approx 2/3$ de diamètre).

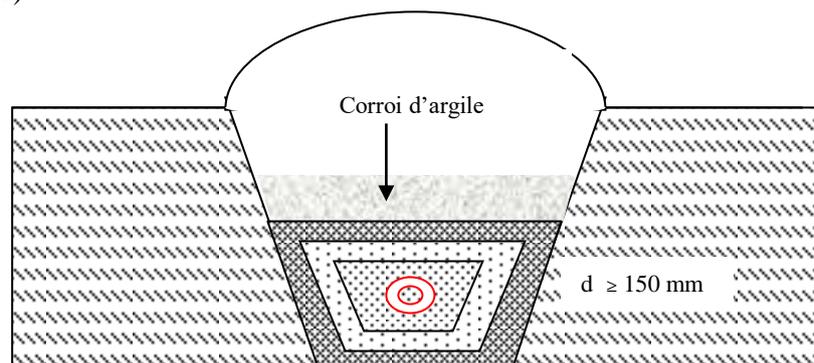


Figure.24. Prises d'eau des tranchées tubulaire

- c) **Galeries** : construite du béton armé avec les trous spéciaux pour le prélèvement d'eau avec une rigole de transport d'eau vers le puits de prélèvement, les galeries sont entrainées aussi par les couches de gravier additionnel. Les dimensions des galeries doivent être suffisantes pour le passage des personnes.

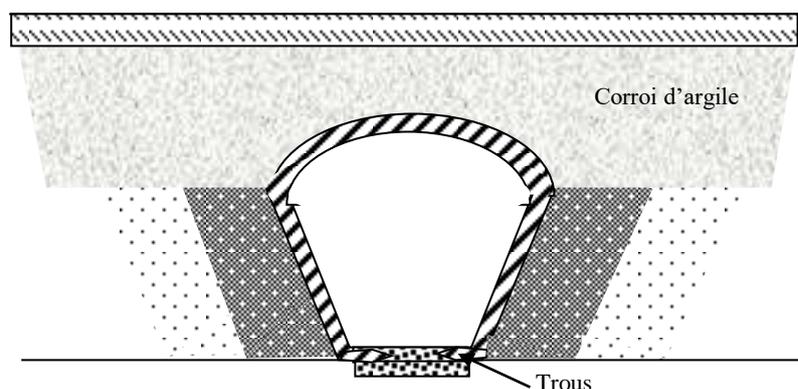


Figure.25. Prises d'eau des tranchées tubulaire

Les puits d'observation servent pour la ventilation, l'observation et la répartition des prises d'eau. On les dépose avec l'intervalle de 50-100 m et fabrique des anneaux du béton armé de 0,75 - 1 m de diamètre.

Les puits de prélèvement d'eau se trouvent d'habitude au centre de prise d'eau et servent comme réservoir d'accumulation pour assurer le fonctionnement normal des pompes passant l'eau au consommateur ou à la station de traitement.

Pour les grandes prises d'eau on construit quelques puits de prélèvement de section ronde ou rectangulaire, leur volume total doit assurer le débit calculé pendant 100-200 secondes.

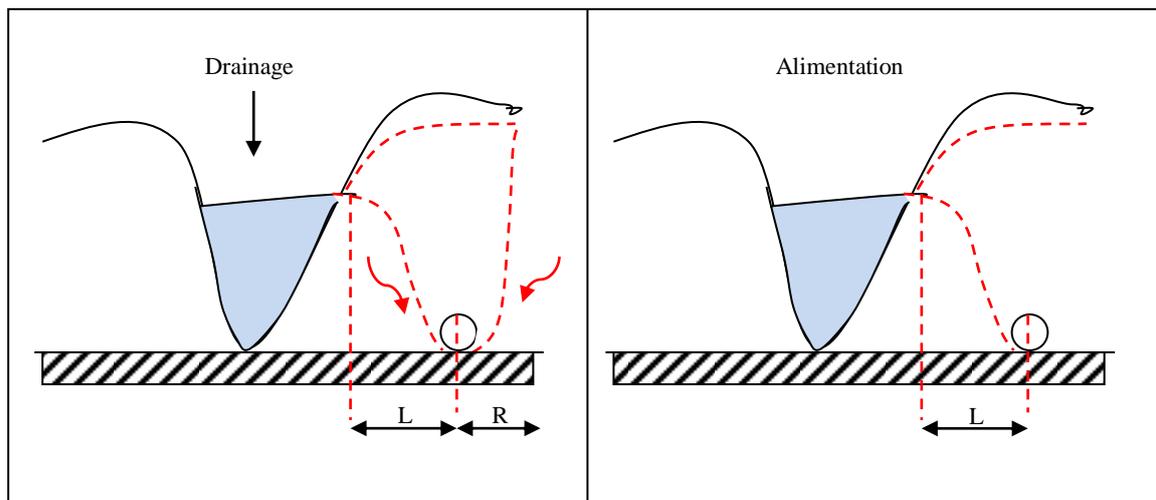


Figure.26. Prises d'eaux parfaites

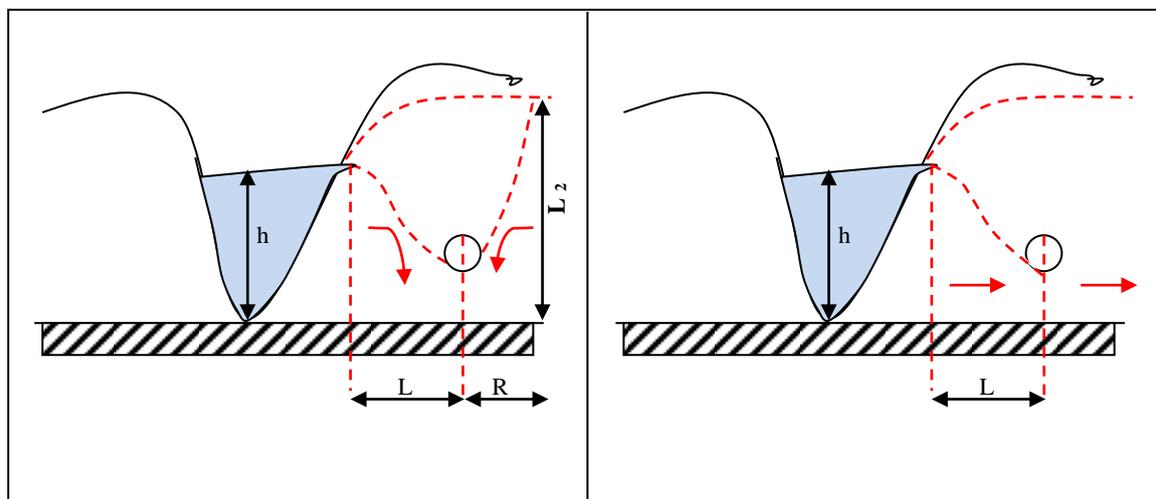


Figure.27. Prises d'eaux imparfaites

Le calcul des prises d'eau horizontales consiste à la détermination de la largeur nécessaire de la prise d'eau pour assurer le débit calculé d'eau et les dimensions des conduites des galeries et du gravier additionnel. En cas général pour une prise d'eau largeur ($2L \gg R$)

Où $2L$: longueur de prise d'eau.

Dans une nappe avec la région d'alimentation éloignée on peut utiliser la formule

$$Q = \frac{2L.K.m.s}{R + \sum f}$$

m: épaisseur d'une nappe captive.

- Pour une nappe libre $m = h_s + h_d/2$
 h_s : épaisseur de la nappe avant le prélèvement.
 h_d : épaisseur de la nappe au cours de prélèvement.

R : largeur de la zone d'influence.

- Pour les prises d'eau déposées le long de la rivière $-R = L$
- Pour le régime transitoire on calcule R d'après la formule $R = 0,25 \sqrt{at}$
 a : coefficient de piezo- conductibilité.
 t : durée de fonctionnement de la prise d'eau.

$\sum f$: c'est une résistance de filtrat d'une prise d'eau imparfaite

$$\sum f = 0,37 \cdot \pi \cdot \log \left(h_m / 2\pi r \sin \frac{\pi r}{h_m} \right)$$

h_m : (0,7-0,8) h c'est l'épaisseur entre le centre du drain et le niveau stratifié.

r : rayon d'un drain rond .Pour une galerie $r = 0,5(b_1 + 0,5b_2)$ ou b_1 et b_2 largeur et hauteur de la galerie.

La section transversale des prises d'eau est déterminée par une expression suivante :

$$Q = K.S.\sqrt{i}$$

Donc : $S = \frac{Q}{K\sqrt{i}}$ ou : S : section transversale en m².

Exemple: K = 0, 25 m/s, d = 100 mm.

K = 0, 40 m/s, d = 200 mm.

K = 0, 50 m/s, d = 300 mm.

K = 0,60 m/s, d = 500 mm.

V.2. Prise d'eau en rayon :

Les prises d'eau en rayon se composent d'un système des sondages horizontaux forés à partir d'un puits il est préférable de les utiliser pour les nappes de petite épaisseur (≤ 5 m) se trouvant à la profondeur de 25-50 m de la surface ou pour les nappes à épaisseur de 15-25 m et plus avec les petits coefficients de filtration se trouvant à la même profondeur. On peut les utiliser pour les conditions ordinaires et pour les courants d'infiltration, pour les rivières disparues en été et pour les rivières fortement troublées ou polluées ces prises d'eau sont les plus rationnelles et économiques. Les prises d'eau en rayon sont souvent plus économiques par rapport aux prises d'eau tubulaires ou puits de mine et aux galeries d'infiltration. Pour leur construction il est nécessaire de disposer d'un territoire limité. Tout l'équipement se trouve dans un bâtiment avec les pompes de grand rendement, les sondages rayon peuvent être déposés à une profondeur pour quelques étages. Le nombre des rayons dans un étage d'habitation ne dépasse pas 6, pour les calculs approximatifs on utilise la formule suivante

$$Q = \alpha \cdot \varepsilon \cdot L \cdot S \cdot K \quad (m^3/j)$$

α : Coefficient qui tient compte des conditions de disposition de rayon à la nappe (1-1, 25).

ε : Coefficient qui tient compte de la composition granulométrique de la roche aquifère et la longueur du rayon $\varepsilon = (1-2,6)$.

L : longueur de rayon

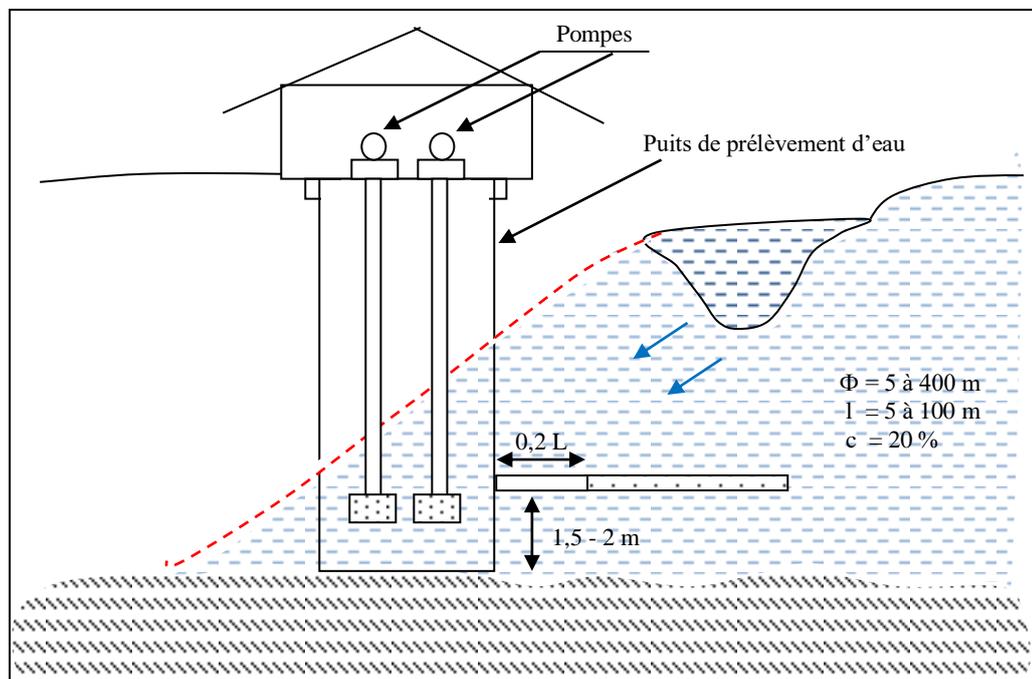


Figure.28. Prise d'eau en rayon

V.3. Puits de mine :

Les puits de mine sont les excavations verticales de grand diamètre (1-3m) et de profondeur relativement petite (< 30 m).

On les utilise pour le prélèvement d'eau dans les nappes libre et semi captive plus rarement dans les nappes captive surtout pour les petites localités (entreprise ou consommateurs individuels).

Un puits de mine se compose de la partie de prélèvement d'eau de puits et de la tête. Assez souvent ils peuvent avoir un puisard et un tube de ventilation en fonction des paramètres de la nappe (m,k) la partie de prélèvement d'eau se dépose au fond de puits ou a sa partie latérale ou au fond et la partie latérale simultanément.

On creuse les puits de mine à l'aide de soutènement descendant ou avec une méthode mécanisée.

En cas de plusieurs puits ils peuvent être réunis par les conduites à siphon, le débit d'un puits imparfait avec le filtre au fond peut être calculé d'après la formule :

$$Q = \frac{2\pi \cdot K \cdot r \cdot S}{\frac{\pi}{2} + \frac{r}{h_1} (1 + 1,18 \log \frac{R}{4h})}$$

r : rayon intérieur de puits.

S≈0,5 h (rabattement).

Pour le puits avec la partie latérale de prélèvement d'eau on peut utiliser les formules des sondages tubulaires.

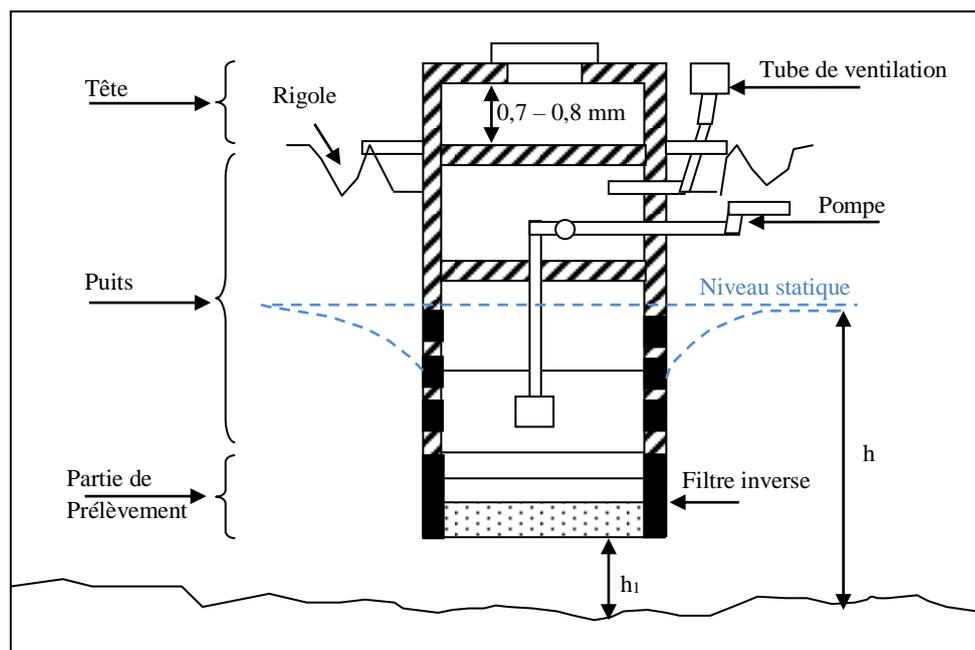


Figure.29. Puits de mine

V.4. Le captage :

Les captages sont destinés pour les prélèvements de l'eau de sources. Ils donnent la possibilité de créer un volume nécessaire pour l'alimentation de petits consommateurs.

Le fond des chambres de captage est construit sous forme d'un filtre inverse. En cas des sources éloignées l'une de l'autre on construit les chambres de captage pour chaque source et on les lie par les conduites à écoulement libre ou à siphon. Une chambre de captage de plus grande source sert comme un puits réservoir général.

Les captages des sources descendantes sont les chambres avec la surface latérale trouvée et fournie de filtre inverse, ils peuvent être parfaits ou imparfaits. Les chambres de captages sont équipées par les conduites pour le déversement de surplus d'eau par les appareils de mesure par l'équipement de pompe et les conduites de transport de l'eau aux réservoirs de collecte ou réservoir de distribution d'eau.

Les chambres sont aussi équipées par les tubes de ventilation, elles doivent être bien protégées de la pollution comme pour toutes les prises d'eau souterraines elles doivent être limitées par les zones sanitaires de protection.

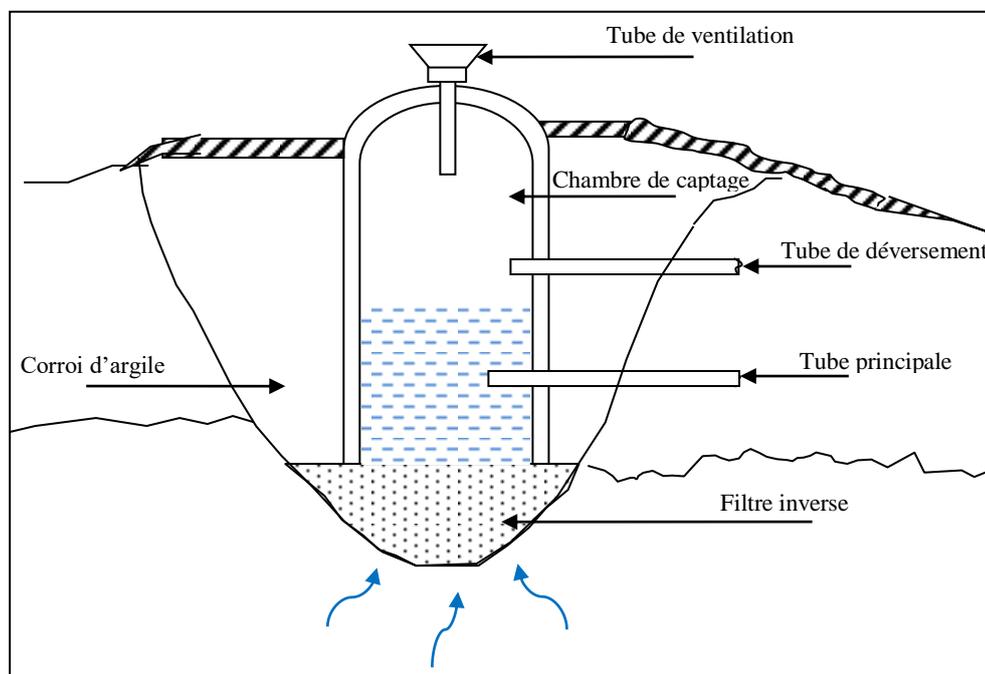


Figure.30. Captage des sources ascendantes

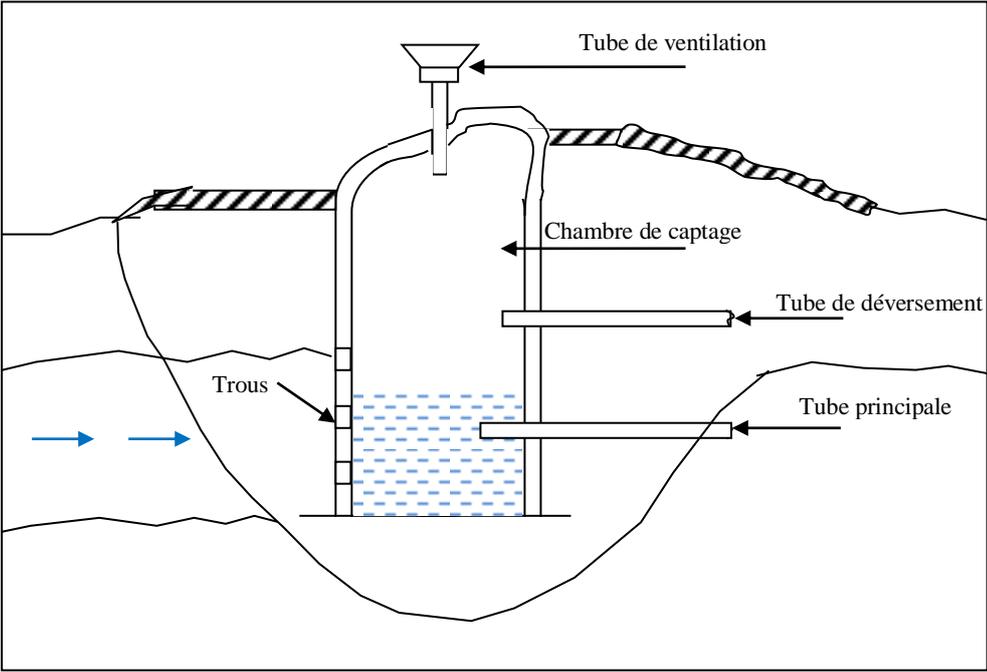


Figure.31. Captage parfait d'une source descendante

Travaux dirigé

TD N °1

Détermination des besoins en eau

Une consommation d'eau calculée est déterminée en fonction :

- De nombre d'habitants d'une localité.
- La quantité de production des entreprises industrielles et des normes de consommation de l'eau.

Une norme de consommation domestique d'eau dans une localité est une quantité d'eau en litre consommée par un habitant en une journée pour les besoins domestiques, cette norme dépend de degré de l'aménagement de territoire et des conditions climatiques (Tableau 1)

Degré de L'aménagement des quartiers d'habitation	Norme pour 1 habitant en l/jour		Coefficient de variation de consommation d'une heure.
	Moyenne journalière par année	Au jour de consommation maximale	
1- bâtiment sans conduite d'eau et sans canalisation, consommation d'eau avec bâches à eau.	30 – 50	40 – 60	2 – 1,8
2- bâtiment avec conduite d'eau et canalisation, sans bain.	125 – 150	140 - 170	1,5 – 1,4
3- bâtiment avec conduite d'eau, canalisation et système centralisé de distribution d'eau chaude.	275 - 400	300 - 420	1,25 – 1,20

Tableau.1. Normes de consommation d'eau d'une localité

Remarque :

- 1- Valeurs plus petites pour les régions à climat froid, celles plus grandes pour les régions à climat chaud.
- 2- Ces normes ne prennent pas en considération la consommation pour l'arrosage des rues, des places et des forêts ainsi que la consommation pour l'extinction des incendies.

La quantité d'eau en m^3 consommée pour la fabrication d'une unité de production établie une norme de consommation industrielle. On détermine ces normes d'après les calculs technologiques ou à la base des expériences des entreprises analogues.

On consomme irrégulièrement l'eau au cours d'une année ou d'une journée cette irrégularité de consommation domestique de l'eau au cours d'une année et caractérisée par le coefficient de variation d'une journée :

$$K_{\text{jour}} = \frac{\varphi_{\text{journalier maximal}}}{\varphi_{\text{journalier moyen}}}$$

On calcule ce coefficient d'après les données du tableau (N°1).

- L'irrégularité de consommation domestique et industrielle au cours d'une journée ou d'un poste de travail est caractérisée par le coefficient de variation d'une heure.

$$K_{\text{heure}} = \frac{\varphi_{\text{maximal d'une heure}}}{\varphi_{\text{moyen d'une heure}}}$$

Les valeurs de ce coefficient sont montrées au tableau (N°1).

- Une consommation calculée pour les besoins domestique peut être calculée d'après les formules :

- a) Consommation journalière :

$$\varphi_{\text{jour}} = \frac{N \times n}{1000} \quad (\text{m}^3/\text{jour})$$

N : nombre d'habitants.

n : norme de consommation domestique en (l/jour).

- b) Consommation maximale pour une seconde :

$$q_{\text{max}_{\text{sec}}} = \frac{N \times n}{24 \times 3600} \times K_{\text{jour}} \times K_{\text{heure}} \quad (\text{l/s})$$

- Une consommation calculée pour ces besoins industriels peut être calculée par

- a) Consommation journalière :

$$\varphi_{\text{jour}} = M \times m \quad (\text{m}^3/\text{jour})$$

M : quantité de production pour une journée dans les différentes unités.

m: norme de consommation industrielle ($\text{m}^3/\text{unité de production}$).

- b) Consommation maximale d'une seconde :

$$q_{\text{max}_{\text{sec}}} = \frac{M_p \times m \times 1000}{T \times 3600} \times K_{\text{heure}} \quad (\text{l/s})$$

M_p : Quantité de production d'un poste de travail.

T : Durée d'un poste ou d'une journée en heure.

- Une consommation d'eau pour l'extinction des incendies est épisodique. Les normes de consommation d'eau dans ce cas sont établies d'après l'expérience pratique en fonction de dimensions de localité (Tableau 2)

➤

Nombre d'habitants d'une localité	Nombre d'incendies simultanés	Consommation d'eau pour un incendie pour bâtiments (l/s)	
		Bâtiments à 1 - 2 étages	Bâtiments à 3 étages et plus
5000	1	5	10
10000	1	10	15
25000	2	10	15
50000	2	15 - 20	25
100000	2	25	35
200000	3	-	40
500000	3	-	80

Tableau.2. Normes de consommation d'eau pour un incendie

Remarque : la durée calculée de l'extinction d'un incendie est estimée à 3 heures.

Exemple N°1 :

Il faut calculer la quantité d'eau nécessaire pour une localité en ($m^3/jour$) et en (l/s) pour les conditions suivantes :

1 : Nombre d'habitants $N=1000$.

2 : Bâtiments de 3 – 4 étages sont fournis de l'eau chaude, froide et canalisation.

3- Production d'une entreprise pour la fabrication de papier = 20 T pour 2 postes.

4-Surface de la localité = $1,5 Km^2$ surface des rues des places et des forêts consiste 70% de la surface totale.

Norme d'arrosage = $0.001 m^3/1m^2$

5- Climat de la région est chaud.

Solution :

1 : D'après les données du tableau 1 :

➤ Norme de consommation moyenne journalière :

$$n = 400 \text{ l/jour}$$

➤ Norme de consommation maximale journalière :

$$n = 420 \text{ l/jour}$$

2 : D'après ces normes, le coefficient de variation pour une journée :

$$K_{\text{jour}} = \frac{420}{400} = 1,05$$

$$K_{\text{heur}} = 1,2$$

$$\varphi_{\text{jour}} = \frac{10000 \times 400}{1000} = 4000 \text{ m}^3/\text{jour}$$

$$q_{\max \text{ sec}} = \frac{10000 \times 100}{24 \times 3600} \times 1,05 \times 1,2 = 62 \text{ l/s}$$

Consommation calculée industrielle journalière

$$\varphi_{\text{jour}} = M \times m = 20000 \text{ kg/jour} \times 0,2 \text{ m}^3/\text{kg} = 4000 \text{ m}^3/\text{jour}$$

(0,2) norme de consommation d'eau d'après la pratique

$$\varphi_{\max.\text{sec}} = \frac{M_p \times m \times 1000}{T \times 3600} \times K_{\text{heure}} = \frac{10000 \times 0,2 \times 100}{8 \times 3600} \times 1,2 = 84 \text{ (l/s)}$$

3) d'après les données du tableau 2, le nombre calculé des incendies simultanés = 1

Consommation d'eau pour l'extinction d'un incendie = 15 l/s ou 0.015 m³/s

Durée de l'extinction = 3 heures.

Consommation d'eau pour l'extinction d'un incendie on a :

$$\varphi_{\text{jour}} = 0,015 \times 3600 \times 3 = 162 \text{ (m}^3/\text{jour)} \text{ ou } \frac{162 \times 1000}{24 \times 3600} = 2 \text{ (l/s)}$$

Consommation d'eau pour arrosage des rues :

$$\varphi_{\text{jour}} = 0,001 \times 1500 \times 0,7 = 1050 \text{ (m}^3/\text{jour)} \text{ ou } \frac{1050 \times 1000}{24 \times 3600} = 12 \text{ (l/s)}$$

5) consommation d'eau totale :

$$4000 + 4000 + 162 + 1050 = 9212 \text{ (m}^3/\text{jour)}$$

$$62 + 84 + 2 + 12 = 160 \text{ (l/s)}$$

Exemple N°2 :

1) Nombre d'habitants N=50000

50% de population dans les bâtiments de 1-2 étages sans conduite d'eau et sans canalisation.

20% de population dans les bâtiments de 3-4 étages avec l'eau froide et canalisation mais sans baignoires.

30% de population de 5-9 étages avec tout le confort

2) Une entreprise fabrique l'acier avec production 1000 T/jour à 3 postes de travail et une norme de consommation d'eau = 20 m³/t (norme de production).

- 3) Une autre entreprise fabrique le tissu 200kg/jour à deux postes avec norme de consommation = 600l/kg
- 4) Surface de localité 5km^2 y compris 50% des forets et des rues $0,0005\text{m}^3$ /jour pour une surface de 1m^2 .
- 5) Climat de région est temporel.

TD N°2 : Calcul de certains paramètres du système de l'alimentation en eau.

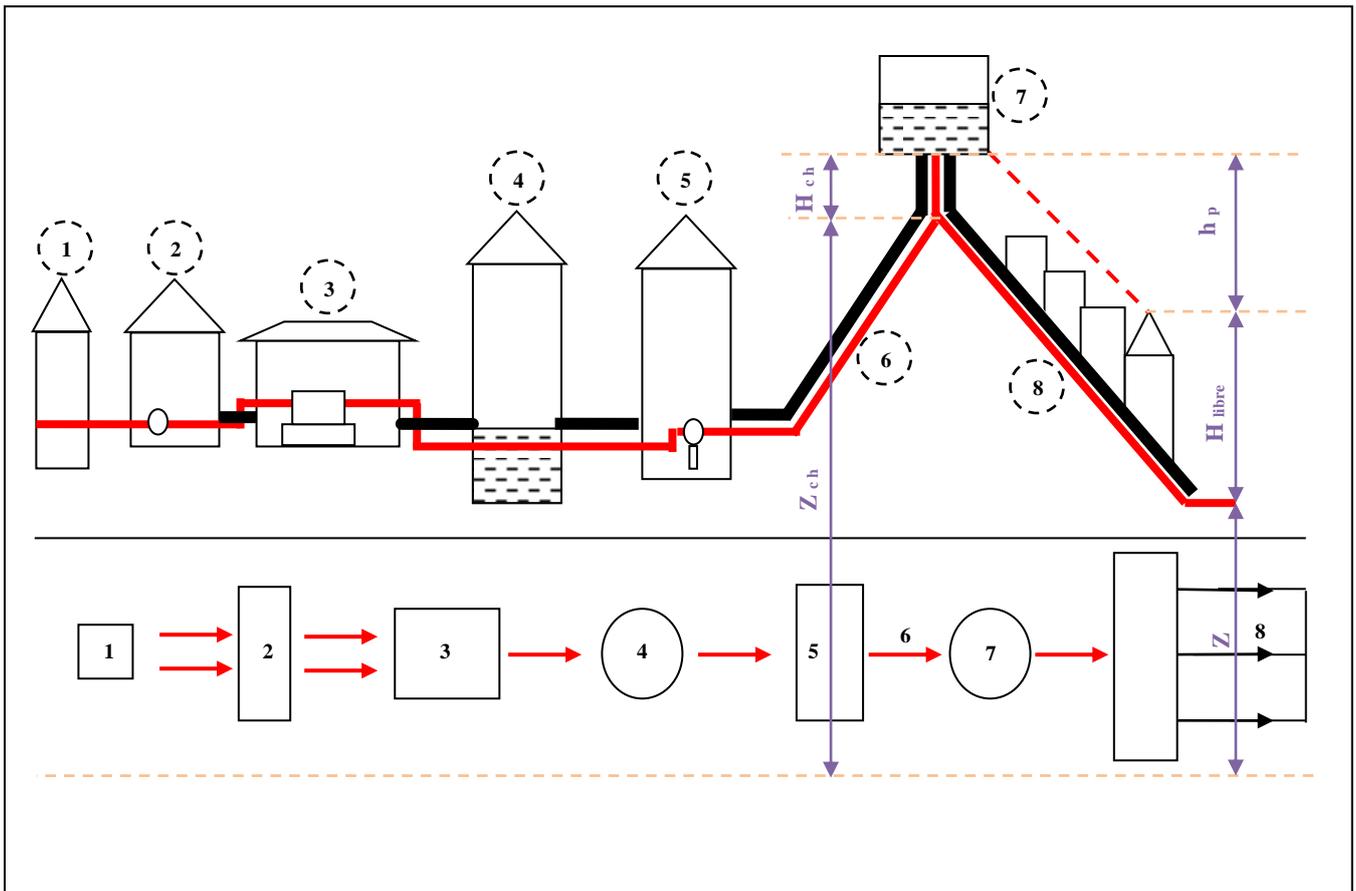


Figure. 1. schéma de l'adduction d'eau avec une source superficielle

- 1) prise d'eau.
- 2) station de pompe de première élévation.
- 3) installation d'épuration.
- 4) réservoir d'eau pure.
- 5) station de pompe de deuxième élévation.
- 6) conduite d'eau.
- 7) château d'eau.
- 8) réseau magistral de distribution d'eau.

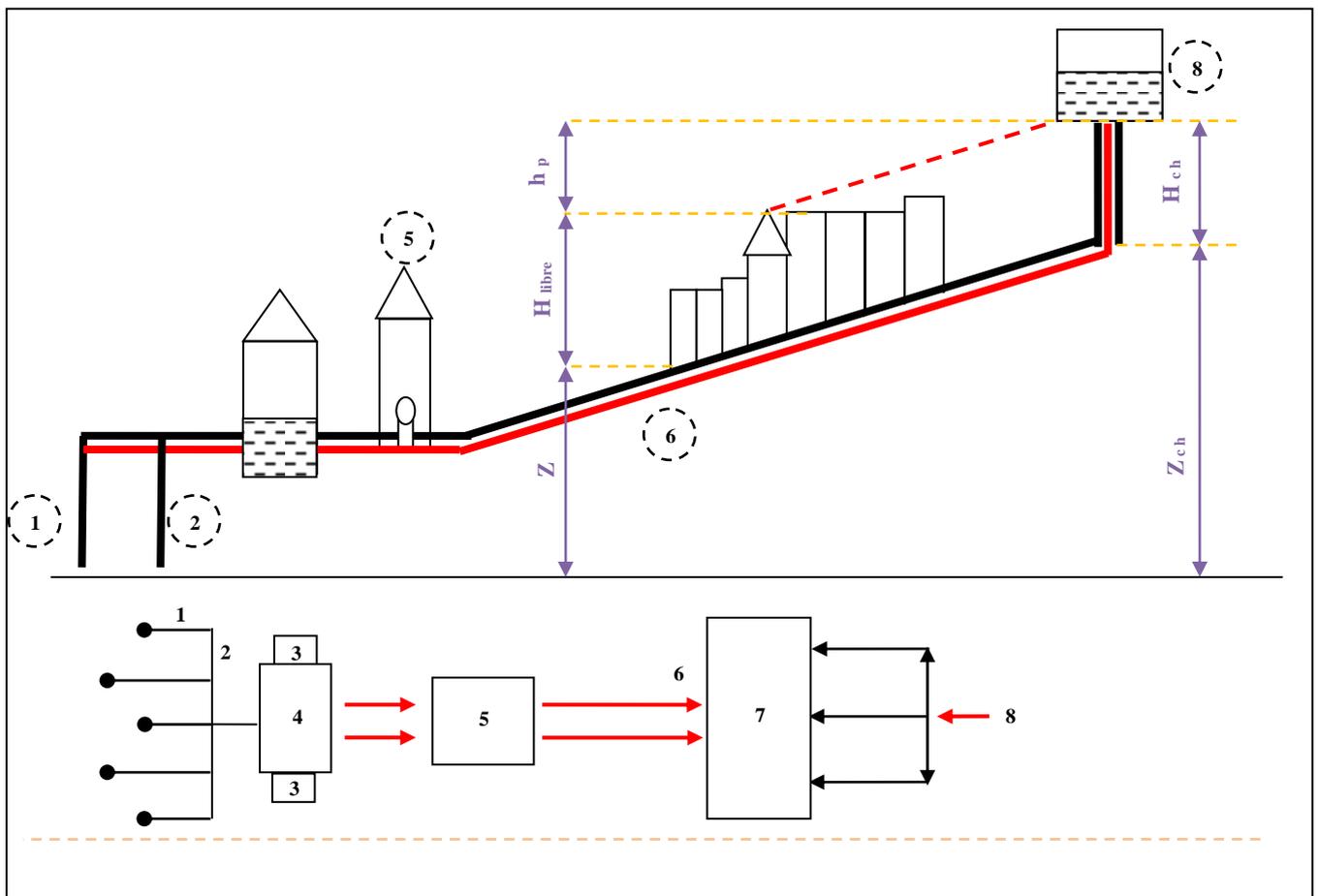


Figure. 2. schéma de l'adduction avec une source souterraine.

- 1) prise d'eau souterraine réunie avec une station de pompe de première élévation.
- 2) conduite d'eau.
- 3) réservoir de l'eau pure.
- 4) conduite d'aspiration.
- 5) station de pompe de deuxième élévation.
- 6) conduite d'eau.
- 7) réseau magistral de la distribution d'eau.
- 8) château d'eau.

Un système de l'alimentation en eau d'une ville ou d'une entreprise industrielle se compose des éléments principaux suivants :

- 1 : prise d'eau utilisant sources superficielles ou souterraines.
- 2 : installation pour élever l'eau vers les installations d'épuration ou vers les consommateurs.
- 3 : installation d'épuration.

4 : château d'eau et réservoir qui accumule l'eau pour régulariser les charges hydrauliques et la consommation d'eau.

5 : conduite de réseau de distribution d'eau.

- L'eau doit être distribuée en qualité nécessaire avec une charge hydraulique définie appelée charge libre.
- Cette charge peut être assurée par une station de pompage de deuxième élévation et par un château d'eau déposé en amont du réseau (fig.1) ou à sa fin (fig.2).

La hauteur du château d'eau au-dessus de la surface ($H_{\text{château}}$) est égale à :

$$H_{\text{libre}} + \sum h_p - (Z_{\text{ch}} - Z)$$

$\sum h_p$: Perte de charge à la conduite et au réseau de distribution.

Z et Z_{ch} : Côtes absolues de la surface au point principal du réseau (d) et au point de château d'eau.

La valeur de la charge libre peut être calculée par les formules spéciales ou elle peut être acceptée par l'expérience pratique en fonction de nombre d'étage pour un bâtiment :

- Au premier étage : $H_{\text{libre}} = 10 \text{ m}$
- Au deuxième étage : $H_{\text{libre}} = 12 \text{ m}$
- Au troisième étage : $H_{\text{libre}} = 16 \text{ m}$

Après le troisième étage on ajoute 4 m à chaque étage.

Les pertes des charges à la conduite peuvent être déterminées d'après la formule suivante :

$$\sum h_p = i \times l$$

Ou

l : longueur de la conduite.

i : Perte de charge pour unité de la longueur de la conduite.

On détermine la valeur i en fonction de la vitesse du mouvement d'eau a la conduite.

Pour la vitesse $v \geq 1,2 \text{ m/s} \rightarrow i = 0,00107 \cdot \frac{v^2}{d^{1,3}}$

Pour $v \leq 1,2 \text{ m/s} \rightarrow i = 0,000912 \cdot \frac{v^2}{d^{1,3}} \left(1 + \frac{0,867}{v}\right)^{0,3}$

v : Est acceptée :

- Pour les conduites des petits diamètres égaux a 0.6 ... 0.9 m/s.
- Pour les conduites de grands diamètres 0.9 ... 1.5 m/s

d : diamètre de conduite magistrale on ce détermine d'après la formule

$$d = \sqrt{\frac{4\varphi}{\pi v}}$$

φ : Consommation calculée d'eau m^3/s

Exemple :

Il faut calculer la hauteur de château d'eau pour les conditions suivantes :

$Z = 280m$ $Z_{ch} = 300m$

Bâtiment 5-9 étages vitesse acceptée du mouvement 1m/s.

Longueur de conduite $l = 3000m$.

Consommation d'eau d'après le TD N°1.

TD N°3 : Techniques de captage

Choix de la source de l'adduction d'eau de l'emplacement et du schéma technologique d'un bloc de la prise d'eau.

Exemple 1 : données de départ :

- a) Nombre d'habitant 520000.
- b) Consommation totale domestique et industrielle $140 - 300\text{m}^3/\text{jour}$
- c) Ressources des eaux souterraines de territoire sont non considérables et ne peuvent pas servir comme une source de l'alimentation en eau.
- d) Il existe une rivière au voisinage de la localité.
- e) Le lit et les rivages de rivière sont stables et composés des argiles et des sables fins argileux. La quantité des dépôts en suspension $a < 1,2\text{kg}/\text{m}^3$ ou à turbidité du courant d'eau.
- f) Le rivage droit de rivière est inondé pendant les crues. Le rivage gauche de la rivière près du territoire de la localité est abrupt et traversé par les rivières.
Sur le reste du rivage gauche de rivière la pente est douce avec le relief tranquille l'affluent gauche possède des rives avec une forte pente.
Pendant les crues il transporte une grande quantité de déport (turbidité dépasse 5kg de dépôt $/\text{m}^3$).
- g) Il existe un lac de $0-57\text{ km}^2$ de superficie sur le rivage droit de rivière sa profondeur minimale est de deux mètre .la variation de niveau est de 10 m l'alimentation de lac est souterraine et superficielle.
La quantité d'eau est la même comme pour la rivière.

1/ Choix de la source de l'adduction en eau :

Il est possible d'accepter en qualité d'une source d'alimentation en eau la rivière parce que le lac est situé dans la distance considérable de la localité sur le territoire marécageux difficilement utilisable, inondable sur le rivage opposé c'est ce qui complique la construction de prise d'eau, l'épuration et le transport de l'eau.

2/ choix de l'emplacement des prises d'eau :

Le bloc de prises d'eau peut être déposé seulement sur le rivage gauche de la rivière au-dessus de la limite de la localité.

- projetée, parce que le rivage droit est inondé
- la partie de la rivière en amont par rapport à la localité jusqu'à l'affluent gauche ne peut pas être aussi utilisé pour le prélèvement d'eau parce qu'il est abrupt et traversé par le ravin et

déposé ou dessus de l'affluent qui transporte une grande quantité de dépôt. L'endroit le plus favorable est une partie de rivage concave derrière l'affluent gauche, cette partie est composée des roches stables.

3/ Choix du schème technologique :

Une prise d'eau pour la localité de 520.000 habitants doit avoir d'après les règles de construction, première catégorie de la fiabilité de distribution d'eau (voir tableau N° 3)

Pour cette catégorie de la fiabilité on détermine d'après le tableau N°1 la fréquence de débits des niveaux moyens mensuels.

Pour le débit nous avons $Q_{min} = 95\%$ ce qui correspond d'après la figure 2 à $75\text{m}^3/\text{s}$. Pour le niveau nous avons : $H_{max} = 1\% \rightarrow 5\text{ m}$

$$H_{min} = 97\% \rightarrow 4,2\text{ m}$$

La productivité totale de la prise d'eau en tenant compte de la consommation d'eau pour les besoins propres du réseau de distribution d'eau est égale à :

$$Q_t = \alpha \times Q$$

$$Q_t = 1,05 \times 140300 = 147315\text{ m}^3/\text{jour} \approx 1,8\text{ m}^3/\text{s}$$

C'est moins que 2,5 % du débit minimal de la rivière pour la fréquence calculée (95 %) et donne la possibilité de prélever la quantité nécessaire d'eau sans mesure supplémentaire pour la création des réserves d'eau.

La première catégorie de la fiabilité de distribution d'eau pour les conditions naturelles moyennes peut être assurée d'après le tableau 4 par première et deuxième degré de la fiabilité du prélèvement d'eau.

- Pour le premier degré c'est une prise d'eau de rivage non inondable avec les trous toujours accessibles.
- Pour le deuxième degré c'est une prise d'eau inondée du type de lit avec deux têtes et plus déposées séparément ou à deux alignements, les conditions géologiques du lit et du rivage donnent la possibilité de réunir le puits de prélèvement d'eau et la station de pompage, ainsi le schéma le plus rationnel de la prise d'eau pour les conditions données est la prise d'eau du type de rivage avec la disposition réunie.

Exemple1 : Il faut choisir un schéma technologique d'une prise d'eau pour les consommations industrielles avec le débit maximal nécessaire égale à $26000\text{ m}^3/\text{jour}$.

Exemple2 : La même chose pour une localité avec la population 1,5 millions d'habitants. La consommation totale est égale à $600000\text{ m}^3/\text{jour}$.

TD N° 4 :

Tracé des limites des sous zones sanitaires

Il faut tracer les limites de la première sous-zone et la deuxième sous-zone de protection sanitaire d'une source superficielle d'alimentation en eau et de prise d'eau d'après les données de TP N° 3.

Solution :

➤ Les limites de la première sous-zone de protection sanitaire pour une prise d'eau du type de rivage avec la disposition réunie du puits de prélèvement d'eau et de la station de pompe de première élévation peuvent être tracées :

- En amont du courant d'eau à 200 m à partir de la prise d'eau.
- En aval du courant d'eau à 100 m à partir de la prise d'eau.
- Pour le rivage gauche de la rivière à 100 m à partir du niveau maximal avec une fréquence de 1% ($H_{1\%}=16,5$ m). ; c'est-à-dire à partir de la côte absolue égale à 108m ($91,5+16,5=108$ m).
- Pour la rivière à 100 m à partir du rivage gauche parce que la rivière possède une largeur dépassant 100 m (400 m environ) pour la fréquence ($H_{1\%}$) pour $H_{97\%}$ (200 m environ).

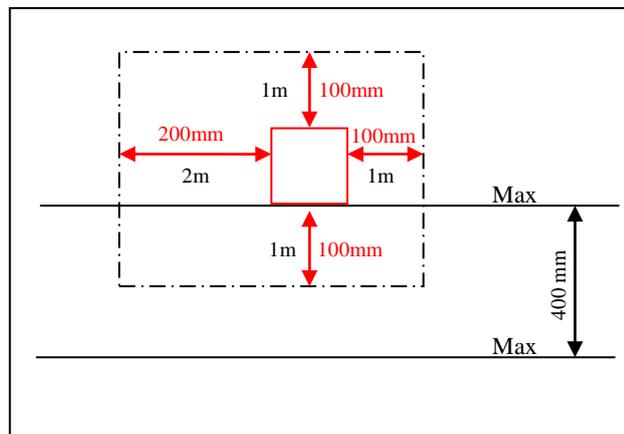


Figure.3. Limite de la première sous-zone

➤ Les limites de la deuxième sous-zone peuvent être tracées :

- Limite latérale par les interfluves.
- En aval du courant d'eau à 250 m à partir de la prise d'eau.
- En amont du courant d'eau par la distance (l) égale au parcours de l'eau pendant 5 jours pour 95 % de fréquence de débit et de niveau :

$$H_{95\%} = 4,2 \text{ m}$$

$$Q_{95\%} = 75 \text{ m}^3/\text{s}$$

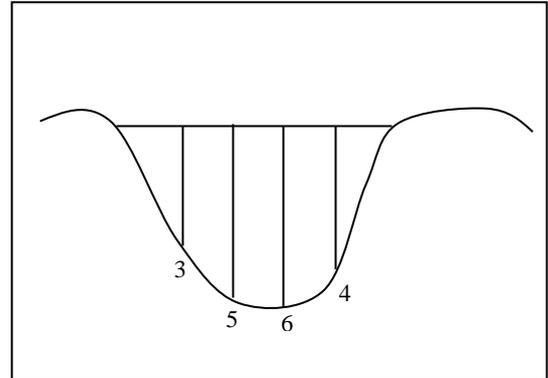
En acceptant approximativement la section transversale du courant d'eau égale à

$$l = \frac{5 \times 86400 \times 75}{630 \times 1000} = 5142 \text{ Km}$$

$$\frac{3 + 5 + 6 + 4}{4} = \frac{18}{4} = 4,5 \text{ mm}$$

$$4,5 \text{ mm} \times 0,7 = 3,15$$

$$W = 200 \times 3,15 = 630 \text{ m}^2$$



TD N° 5 : Choix de la source souterraine de l'adduction d'eau

Exemple 1 :

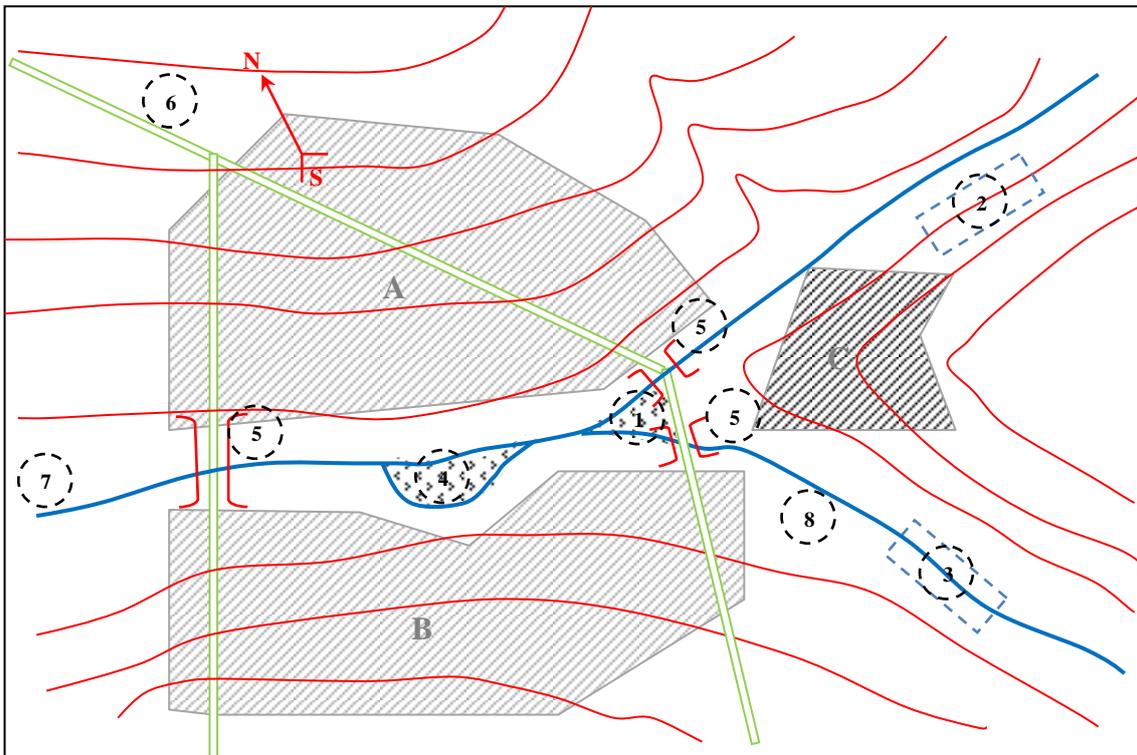


Figure.4. Coupe Schématique de l'emplacement possible des prises d'eau

A, B, C : Quartiers de localité,

(1) (2) (3) : Emplacement possible de la prise d'eau,

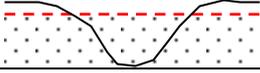
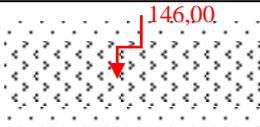
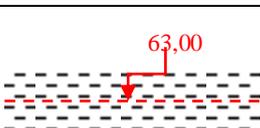
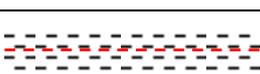
(4) : Marée,

(5) : Pont,

(6) : Autoroute,

(7) : Rivière,

(8) : Affluent gauche de la rivière.

N ^o	Description géologique de la roche	Coupe géologique	Puissance de la couche	Profondeur du mur	Cote absolue (m)
1	Sable à gros grain		5 m	5 m	159,50 155,00
2	Argile grise compacte		45 m	50 m	150,00
3	Sable à grains moyens et à gros grains		32 m	82 m	118,00
4	Grants compacts imperméable		80 m	162 m	38,00
5	Graviers sableux		30 m	192 m	8,00
6	Argile		120 m	312 m	

Il faut choisir une source d'alimentation en eau pour une localité de 125000 habitants et les entreprises industrielles.

La consommation maximale journalière de la localité est égale à $47500 \text{ m}^3 / \text{jour}$.

La situation :

- La rivière possède un débit minimal ne dépassant pas $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$ (pour 95% de fréquence) et une profondeur de 1,3 m sans affluent gauche et de $0,9 \text{ m}^3/\text{s}$ et 1,4 m avec affluent gauche. L'affluent à un débit min de $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ et une profondeur de 0.8 m
- La rive gauche de la rivière possède un relief plat avec la pente douce.
- La rive droite est abrupte.
- L'interfluve possède un relief presque plat non inondé pendant les crues.
- Les vallées et leurs lits sont composés jusqu'à 5 m de profondeur par le sable à gros grains on trouve les argiles sous les sables jusqu'à 50 m de profondeur et après une nappe libre de 30 m d'épaisseur composée des sables à grains gros et moyens.

- L'épaisseur de la nappe captive qui se trouve au-dessous des granites est égale à 30 m elle est composée des graviers sableux et possède une charge hydraulique égale à 55 m.
- L'eau de la nappe libre correspond à toutes les exigences de l'eau potable mais la teneur en fin est élevée (0,5 mg/L)
- L'eau de la nappe captive et de la nappe d'infiltration correspond à toutes les exigences de l'eau potable.

1/ Choix de la source de l'alimentation en eau :

D'après les données de départ on a en qualité de la source d'adduction en eau :

- L'eau de la rivière.
- L'eau souterraine du courant souterrain de la rivière.
- L'eau de la nappe libre.
- L'eau de la nappe captive.

Considérons chaque source possible séparément en tenant compte de la consommation totale qui est égale à : $Q^* = K \times Q$

K: coefficient qui tient compte des besoins propres de la station d'épuration

$$(K = 1,05 \dots 1,1)$$

$$Q^* = K \times Q = 1,1 \times 47500 = 52250 \text{ m}^3/\text{jour} \approx 0,6 \text{ m}^3/\text{s}$$

D'après les règles de construction une localité de 125000 habitants ; doit avoir première catégorie de la distribution d'eau.

Tableau .4. Catégorie de la fiabilité de distribution d'eau par les prises d'eaux souterraines :

Types des prises d'eau		Profondeur de la nappe aquifère de la surface					
		< 5m	5-10m	10-30m	>30m		
		Puissance de la nappe à la profondeur du courant sortie					
		< 4	4-8	≤10	10-20	≤20	>20
Verticales	Puits tubulaire	-	-	II	II	I	I
	Puits de mine	III	II	II	-	-	-
Horizontales	A pierraille	II	-	-	-	-	-
	Tubulaire	III	II	-	-	-	-
	Galeries	II	I	-	-	-	-
A rayon		-	-	-	I	I	-

- a) **La rivière** : avec le débit $0.9 \text{ m}^3/\text{s}$ et la profondeur de 1,4 m ne peut pas être utilisé en qualité de la source d'alimentation en eau sans régularisation d'écoulement ; il faut construire un barrage et un réservoir artificiel.
- Portant les conditions de relief local (rivage bas) ne sont pas favorables près de la localité. L'éloignement du réservoir et la construction d'une station d'épuration peut augmenter considérablement les frais pour le système de la distribution d'eau de la localité.
- b) **Les eaux d'infiltration : du courant souterrain** : peuvent être utilisées pour l'alimentation en eau sans traitement préalable en cas de la disposition des prises d'eau assez loin de la rivière.
- Portant la profondeur de leur gisement et l'épaisseur de la nappe (moins que 5m) il est possible de prendre l'eau à l'aide des puits de mine, des galeries tubulaires et à pierraille qui ne peuvent pas assurer la première catégorie de la fiabilité de distribution d'eau.
- c) **Les eaux de la nappe libre** : peuvent assurer les besoins en eau de la localité portant les eaux de cette nappe exigent la construction d'une station des traitements pour diminuer la teneur en fer.
- d) **La qualité de l'eau de la nappe captive** : n'exige pas des traitements préalable (sauf traitement sanitaires) la puissance de la nappe 30 m et la charge hydraulique (25 m au-dessus du toit) permettent de dire qu'à ces conditions la nappe captive est une source d'alimentation préférable.

2/ Choix de l'emplacement de la nappe d'eau :

L'emplacement possible des prises d'eau utilisant la nappe captive peut être comme suit:

- Une partie d'interfluve (chantier N° 1)
- Une partie de rive gauche de la rivière en amont de la localité (chantier N° 2)
- Une partie des rives gauches et droites de l'affluent (Chantier N° 3)

Il est préférable d'utiliser le chantier N°1 parce qu'il est le plus proche de la localité

Les deux autres chantiers 2 et 3 sont de même valeur, ils sont éloignés à la même distance de la localité déposés aux mêmes conditions de relief non inondé et peuvent être utilisés par la construction des prises d'eau isolées ou groupées.

3/ choix de type de la prise d'eau :

Le type de la prise d'eau est déterminé d'après la source de l'alimentation en eau et par la profondeur de la nappe aquifère (162-192 m).

Dans ces conditions la 1^{ère} catégorie de la fiabilité de distribution d'eau peut être assurée seulement par les puits tubulaires.

Exemple 2 :

Il faut choisir une source d'adduction d'eau pour les conditions de l'exemple N⁰1 en cas de la nappe captive minéralisée (>10 g/L).

Exemple 3 :

Il faut choisir une source d'adduction d'eau pour les conditions de l'exemple 1 en cas de l'absence de la nappe captive la nappe d'infiltration possède une épaisseur de (6m) et profondeur de mûr imperméable égale à (9m de la surface).

TD N°6

Calcul d'un air lift

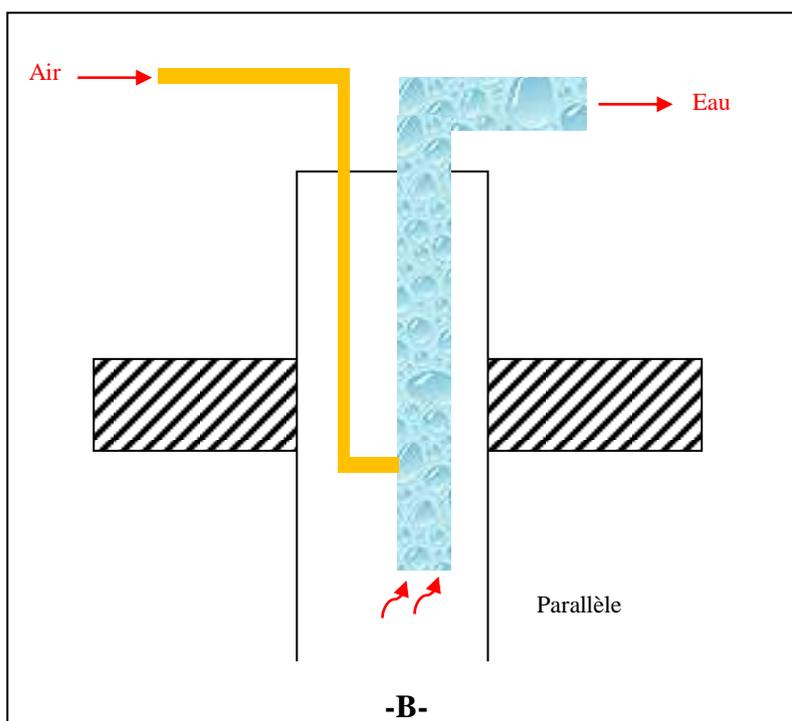
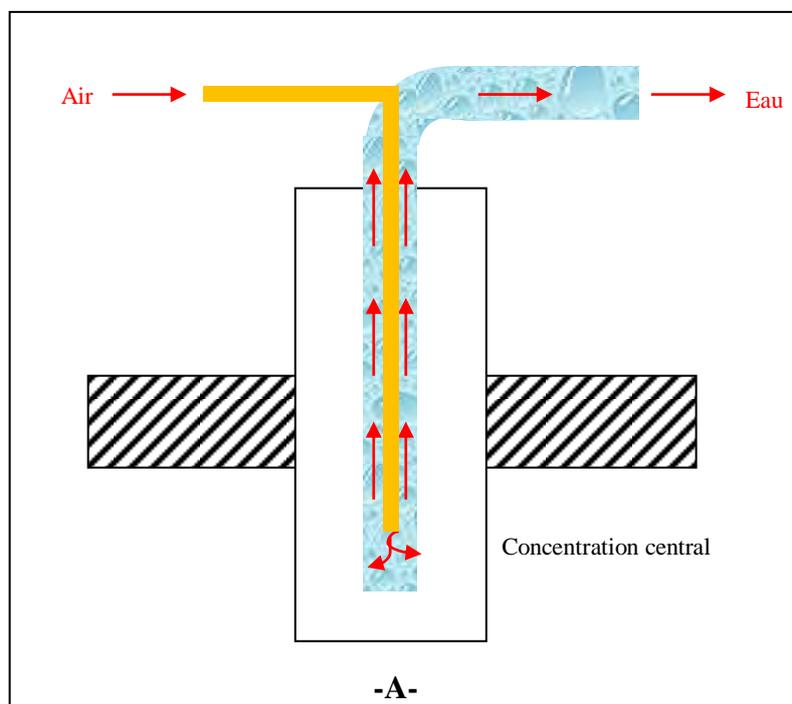
L'avantage des air lifts par rapport aux autres types des pompes consiste à l'absence des parties de travail au sondage ; c'est pourquoi il est fiable.

La fiabilité de l'alimentation en eau est assurée à l'aide d'un compresseur de réserve.

L'air lift peut donner une quantité d'eau considérable même pour un diamètre assez petit de sondage il est possible d'utiliser l'air lift pour le pompage de l'eau enrichi de sable.

L'inconvénient de l'air lift consiste à un rendement bas ainsi que à la nécessité d'une haute colonne d'eau au sondage.

On utilise trois schémas de la disposition des tubes : schéma parallèle et deux schémas concentriques.



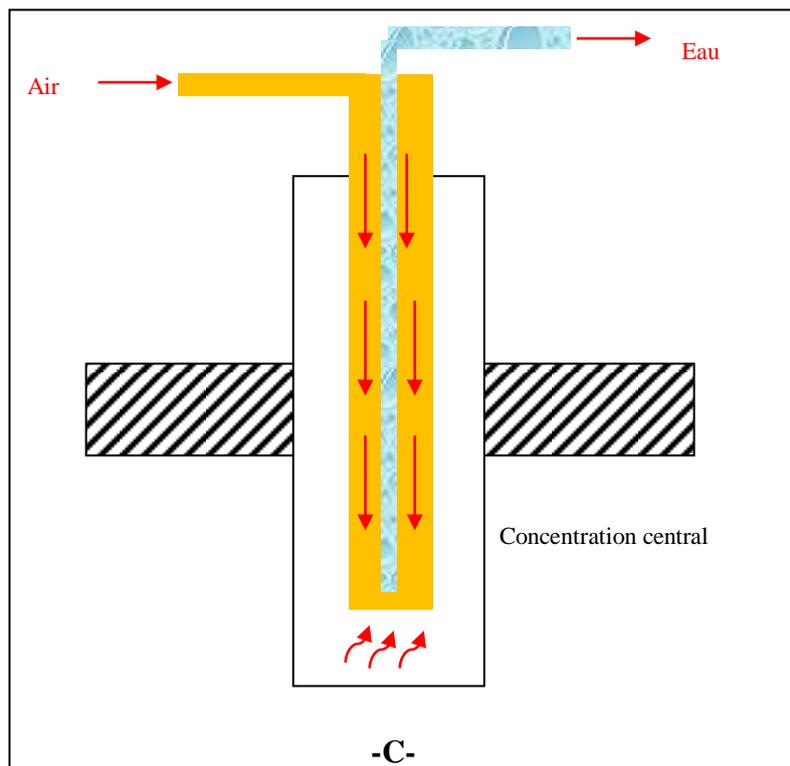


Figure.5. Schémas de la disposition des tubes ; (A) schéma parallèle (B, C) schémas concentriques.

On recommande d'utiliser le schéma parallèle quand le diamètre d'un sondage est suffisamment grand.

On utilise trois types de sondage pour installer les air lifts :

1. L'extrémité inférieure des tubes d'exploitation est située au-dessus de la nappe souterraine.
2. Elle est située au niveau de la nappe aquifère.
3. Elle est située au-dessous de la nappe aquifère.

Une utilisation complète d'un air lift se compose de :

- a) Compresseur.
- b) Tube d'air.
- c) Mélangeur.
- d) Tube d'exploitation.
- e) Réservoir de réception.

Ordre de calcul :

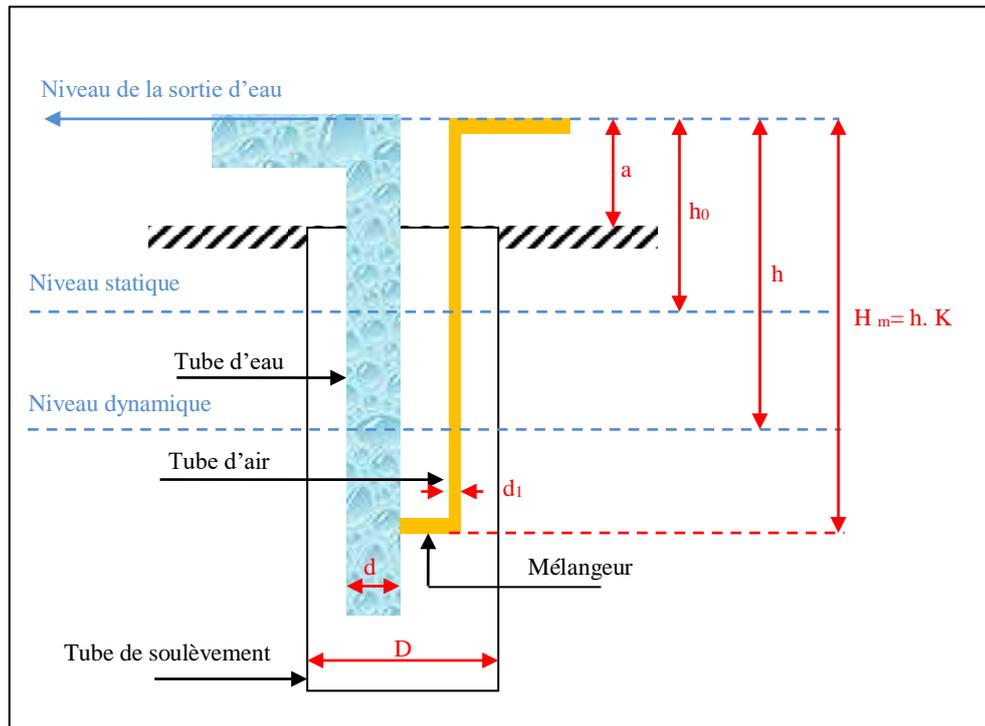


Figure.6. Schéma d'un air lift

1. Profondeur du sondage: H en (m).
2. Profondeur du niveau statique : h_0 en (m).
3. Profondeur du niveau dynamique.
4. Hauteur du niveau de la sortie d'eau.
5. Profondeur de la descente d'eau du mélangeur

$$H_m = Kh \quad \text{ou} \quad K(2 \dots 2,5)$$

6. Consommation spécifique de l'air pour 1m^3 de l'eau montée pour les schémas parallèles d'air lift.

$$7. V_0 = \frac{h}{c \log \frac{h(K-1)+10}{10}}$$

$$C = 23\mu \quad \text{ou} \quad \mu(0,4 \dots 0,6)$$

C : coefficient empirique dépendant du coefficient de descente.

8. Débit calculé de l'eau :

$$Q \left(\frac{\text{m}^3}{\text{L}} \right) , \quad Q' \left(\frac{\text{m}^3}{\text{L}} \right)$$

9. Consommation totale de l'air :

$$W = \frac{Qv_0}{60} \quad (m^3/min)$$

10. Pression de l'air au début de pompage :

$$P_0 = 0,1 \times (k h - h_0 + 2) \quad (\text{atmosphère})$$

11. Pression de travail de l'air :

$$P = 0,1 \times [h (k - 1) + 5] \quad (\text{atmosphère})$$

12. Débit du mélange immédiatement au-dessus du mélangeur :

$$q_1 = Q_1 + \frac{w}{(p - 1)60} \quad (m^3/S)$$

13. Débit du mélange a la surface :

$$q_2 = Q_1 + \frac{w}{60} \quad (m^3/S)$$

14. Section du tube d'air près du mélangeur :

$$W_1 = \frac{q_1}{v_1} \quad (m^2)$$

15. Section du tube d'eau près de la surface :

$$W_2 = \frac{q_2}{v_2} \quad (m^2)$$

16. Diamètre intérieur du tube d'eau pour le schéma parallèle :

$$d = \sqrt{\frac{4W_1}{\pi}} \quad (\text{mm})$$

17. Diamètre intérieur du tube d'eau pour le schéma central (concentrique) :

$$d = \sqrt{\frac{4W_2 + \pi d_1^2}{\pi}} \quad (\text{mm})$$

18. Productivité du compresseur :

$$W_{comp} = 1,1 - 1,2w \quad (m^3/min)$$

19. Pression du travail du compresseur :

$$P_{pompe} = p + \sum \text{perte}$$

TD N° 07 : Choix et calcul des prises d'eau tubulaires**Exemple N° 01 :**

Il faut choisir les paramètres d'une prise d'eau tubulaire et leur nombre pour assurer l'alimentation en eau d'une localité d'après les données du TDN° 05

Données du départ :

- 1) Consommation d'eau calculée : $Q_{calculée} = 52250 \text{ m}^3/\text{j}$
- 2) Nappe aquifère choisie. Nappe libre composée des sables à grains moyens et à gros grains moyens et à gros grains de 28 m d'épaisseur et du diamètre moyen des particules $d_m = 0,5 \text{ mm}$.
- 3) Diamètre des tubes de crépine : $D_f = 0,25 \text{ m}$.
- 4) On utilise forage rotary.

Ordre de calcul**1/ paramètres de la prise d'eau :**

- a- D'après les recommandations il faut crépiner : 30 – 50% de l'épaisseur de la nappe c'est à dire ; La longueur de la crépine doit être égale : $l = b \times 0,4 = 11 \text{ m}$
- b- D'après les recommandations (type de crépinage partie cours).

On accepte une crépine avec trou rond fournie d'une toile.

Le coefficient d'ouverture : $C = 0,25$,

Diamètre des trous de toile : $D = 2 \times d_{50} = 2 \times 0,25 = 0,5 \text{ mm}$

- c- Déterminant la capacité de prélèvement d'eau par la crépine choisie.

$$Q_{prélevement} = \pi \times d \times l \times c \times v_{adm} \times 3600 \times \alpha \times 24$$

$$= 3,14 \times 0,25 \times 11 \times 0,25 \times 0,03 \times 3600 \times 0,6 \times 24 = 3359 \text{ m}^3/\text{jour}$$

- d- Diamètre final du sondage :

$$Q_{sondage} = D_f + 2 \times 50 = 250 + 100 = 350 \text{ mm}$$

e- Schéma de la construction du sondage doit être le suivant :

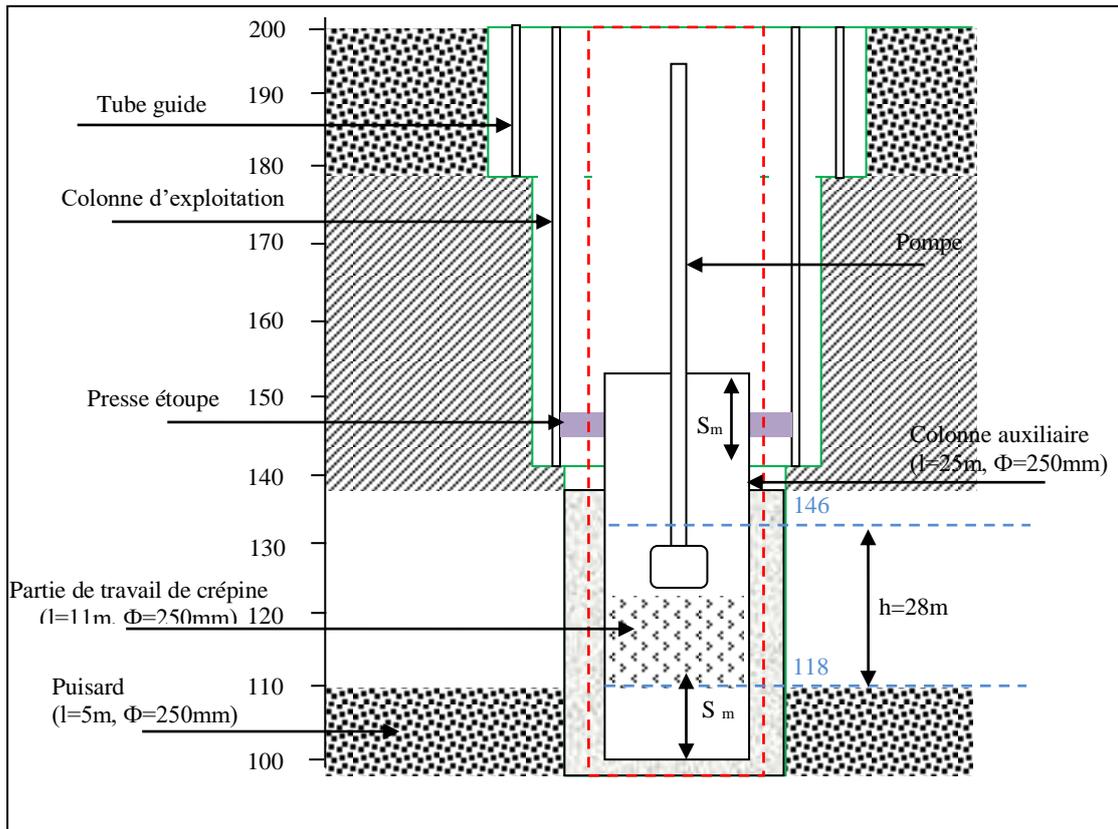


Figure.7. Schéma de la construction du sondage

2/ Calcul hydrogéologique :

- Acceptons d'après le tableau du cours : $K = 15\text{m/jr}$
et le rayon d'influence $R = 300\text{ m}$.
- Déterminons le rabattement admissible du
Niveau $S = (0.5 - 0.7) h - h_{\text{pompe}}$
 h_{pompe} : profondeur de la pompe au-dessous du niveau dynamique $h_{\text{pompe}} = 5\text{m}$.
- Débit possible d'un puits d'après les conditions hydrogéologiques

$$Q_{\text{possible}} = \frac{1.36k(2h - s)s}{\text{Log}(R/r)}$$

$$Q = \frac{1.36 \times 15 (2 \times 28 - 12)12}{\text{Log } 300/0.175} = 3335\text{m}^3 / \text{jour}$$

$Q_{\text{possible}} < q_{\text{prélèvement}}$

$$(3335 < 3359)$$

$$N = \frac{Q_{\text{calculé}}}{Q_{\text{possible d'un sondage}}} = \frac{52250}{3335} = 16 \text{ puits}$$

La réserve = $16 \times 0.2 = 3\text{ puits}$. Donc : le nombre total = $16 + 3 = 19\text{ puits}$

TD N°08 :

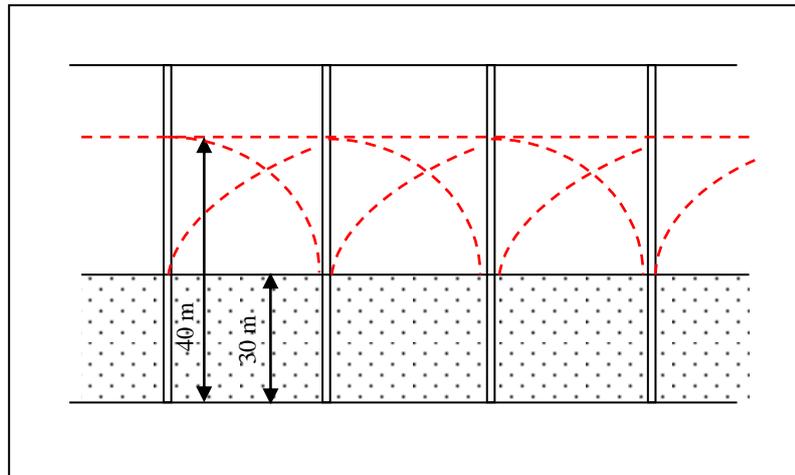
Calcul des prise d'eau

Exemple 01 :

Il faut calculer le débit total d'une prise d'eau composée de puits tubulaires parfaits disposés en une ligne avec l'intervalle $2\delta = 150m$

On exploite une nappe captive de 30 m d'épaisseur composée des sables à gros grains. Les débits des puits sont égaux, les puits sont loin du courant superficiel $D=200mm=0.2m$ charge hydraulique $h=40m$

D'après le tableau $k = 20m/jour$, $R=350m$, $R \gg 2\delta$ puits interférés :



Le rabattement admissible :

$$S = h - (0,3 \dots 0,5)m - h_{pompe} = h - 0,5m - h_{pompe} = 40 - 0,5 \times 30 - 5 = 20m$$

$$2l = 14 \times 150 = 2100m$$

Le rayon réduit de la prise d'eau linéaire :

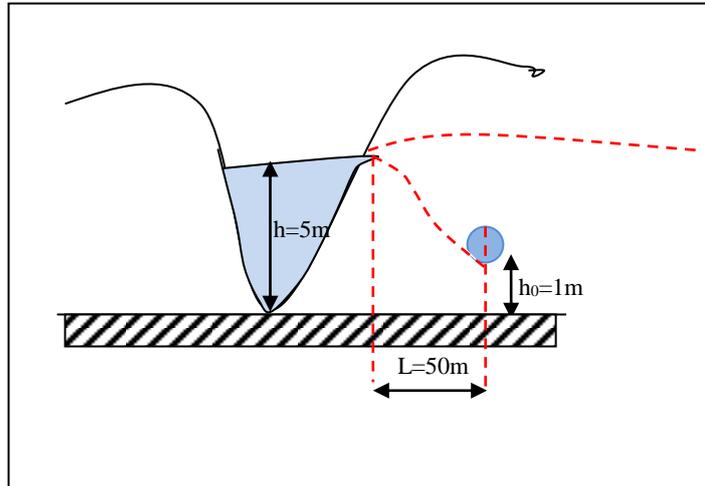
$$r_0 = 0,37l = 0,37 \times \frac{14 \times 150}{2} = 378,5m$$

Le débit total :

$$Q = \frac{2,73 \times K \times m \times S}{\log \frac{R}{r} + \frac{1}{n} \log \frac{\delta}{\pi r}} = \frac{2,73 \times 20 \times 30 \times 20}{\log \frac{350}{378,5} + \frac{1}{15} \log \frac{75}{3,14 \times 0,1}}$$

Exemple 02 :

Il faut calculer la longueur d'une prise d'eau parfaite horizontale de 1200 mm de diamètre déposée dans les sables à gros grains parallèlement à la rivière pour le prélèvement de 7000 m³/jour d'eau.



✓ $K = 20 \text{ m/jour}$

✓ $m = b = \frac{h+h_0}{2} = \frac{5+1}{2} = 3\text{m}$

✓ $S = h - h_0 = 5 - 1 = 4\text{m}$

✓ $h_m = 0,75 \times h = 0,75 \times 5 = 3,75 \text{ m}$

✓ Coefficient de la résistance de filtration :

$$\sum f = 0,74 \times h_m \times \log \frac{0,225 \times h_m}{r} = 0,74 \times 3,75 \times \log \frac{0,225 \times 3,74}{0,6} = 0,63$$

✓ Coefficient de la résistance supplémentaire du lit de la rivière :

✓

$$f = \sqrt{\frac{1}{m}} = \sqrt{\frac{1}{3}} = 0,57$$

$$Q = \frac{2l \times K \times m \times S}{L + \frac{1}{f} + \sum f}$$

Donc :

$$2l = \frac{Q \left(L + \frac{1}{f} + \sum f \right)}{K \times m \times S} = \frac{7000 \left(50 + \frac{1}{0,57} + 0,63 \right)}{20 \times 3 \times 4} = 1512\text{m}$$

Références bibliographiques

Agence de l'Eau Loire-Bretagne (1992) - « Le forage d'eau)). Actes de la journée technique 28 octobre (1992).

Bourgeois M. - ((La corrosion et l'incrustation dans les forages d'eau (choix de l'équipement adapté) ». Rap. BRGM no 76 SGN 379 AME. (1976)

Castany G. Traité pratique des eaux souterraines. Dunod Paris 657 p (1963).

Castany G. Prospection et exploitation des eaux souterraines. Dunod Paris 717 p(1968).

« Guide de bonne pratique et de contrôle des forages d'eau pour la protection de l'environnement ». BRGM. Manuels et méthodes, no 31. Ed. BRGM (1998).

Laurent J. -((Entretien et réhabilitation des ouvrages de captage : les effets du vieillissement n. Génie rural. 11'12, p. 69-72. (1988)

Lallemand-Barrès &al « Guide méthodologique d'établissement des périmètres de protection des captages d'eau souterraine destinée à la consommation humaine ». BRGM Ed. Collection manuelle et méthodes n°19, 221p (1989).

Lauga R. Pratique du forage d'eau seesam Ed., (1990).

Michel Detay. Le forage d'eau réalisation, entretient et réhabilitation, ed. masson.380p. (1993)

Mabillot A. Les forages d'eau. Guide pratique. 2ème édition. Technique et documentation. Paris.237p.(1971).