

## Chapitre 1 – Les ressources en eau disponibles

### 1.1 Introduction

On recherche toujours la meilleure qualité disponible et ce, en fonction du coût de revient, par exemple : si l'acheminement d'une eau éloignée de très bonne qualité coûte plus cher que le traitement d'une eau de moins bonne qualité à proximité, on choisit cette dernière solution.

1

Les qualités essentielles d'une eau de consommation sont celles d'une eau:

- Salubre : c'est-à-dire saine et qui contribue à la santé.
- Potable : soit propre à être bue, fraîche, incolore, inodore, aérée, légèrement minéralisée et exempte de matières organiques.

Au Maroc, les normes et objectifs de l'eau potable sont édictées par le Ministère de la Santé.

#### 1.1.1 Fiabilité des sources d'approvisionnement par ordre décroissant:

En fonction de la stabilité de la source d'approvisionnement et de la fiabilité du système de captage, on peut classer les sources d'approvisionnement :

1. Gravité souterrain, permanent, sure
2. Gravité, réservoir
3. Pompage, permanent, sure (fleuve)
4. Pompage, réservoir
5. Pompage, nappe

### 1.2 Les eaux souterraines

#### 1.2.1 Types de nappes

Les surfaces libres de la table d'eau définissent des nappes libres.

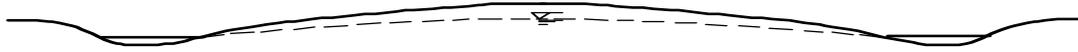


Fig. 1.1 - Nappe libre entre deux vallées

Les nappes libres ont les caractéristiques suivantes :

- Circulation en terrain perméable
- Sans contrainte volumique
- Liberté de forme

2

Par exemple l'alimentation à partir de la surface par forage d'un puits sans traverser des couches de sol imperméable et donc le niveau d'eau dans le puits se stabilise au même niveau que la surface libre.

Les nappes captives sont, selon la configuration de la perméabilité du sol, caractérisé par la présence d'une couche de sol perméable entre deux couches imperméables. L'eau emprisonnée dans la couche perméable est en général sous pression. et peut jaillir si l'on pratique un forage. C'est le cas du puits artésien.

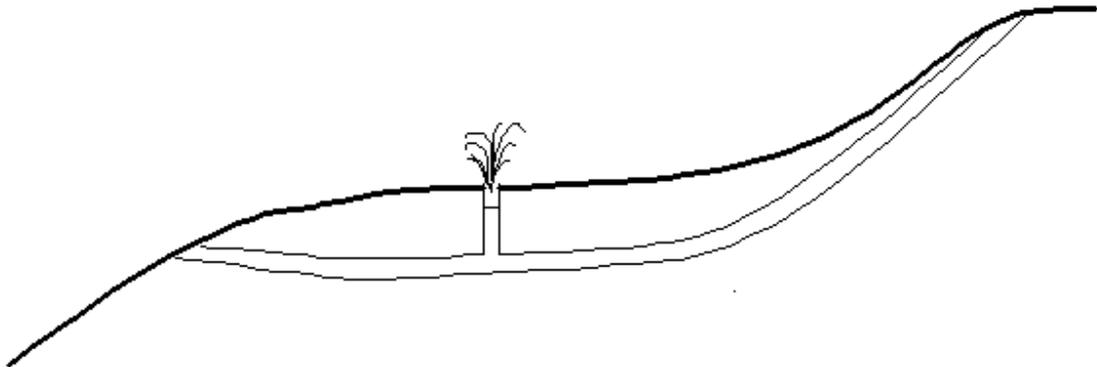


Fig. 1.2 - Puits artésien

Il existe aussi des cas particuliers. À proximité de la mer, il faut tenir compte de l'interface eau douce - eau salée dans le milieu perméable.

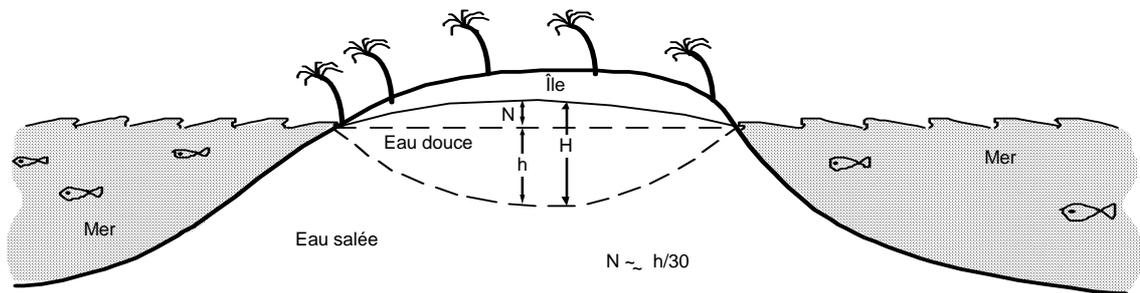


Fig. 1.3 - Nappe sur une île en milieu marin

### 1.2.2 Étapes de l'étude d'une source souterraine

Deux principaux aspects sont à considérer : la qualité de l'eau souterraine et sa quantité disponible. Il est nécessaire dans ce cas de veiller à ce que la qualité naturelle de l'eau soit conservée. On devra donc détecter à tout prix, la présence de tout contaminant éventuel, en vérifiant l'origine des eaux et en prévoyant des mesures de protection.

Avant tout captage, on procédera à des études sur cartes, sur le terrain et à des observations de longue durée. Nous donnerons ici un résumé de ces principales études dans les cas d'une nappe captive et d'une nappe libre.

#### Cas d'une nappe captive

À partir de cartes topographiques et géologiques, on procédera à l'analyse des points suivants :

- Détermination de l'aire de recharge en fonction de l'altitude du point d'émergence et des informations sur la nature géologique du sous-sol.
- Repérage des points de contact du milieu poreux avec la surface.
- Détermination du sens de l'écoulement avec l'examen des coupes géologiques.

Sur le terrain, on recherchera principalement les causes éventuelles de contamination :

- Les gouffres et les crevasses sont des lieux propices aux points de contact entre les eaux souterraines et les eaux de surface.
- Eaux usées (méthodes d'épuration, fosses septiques, établissements industriels)

- Exploitations agricoles et forestières (pesticides, purins)
- Dépôts de déchets

Parmi les observations à effectuer, on compte tout d'abord les observations préliminaires de mode d'émergence, de température et les analyses d'échantillons. À plus long terme, on peut, dans le cas d'une source, mesurer le débit avec un déversoir à crête et procéder à des mesures de résistivité et de température. Ces dernières mesures sont utiles pour déterminer la présence de points de contact avec l'eau de surface. En effet, les variations de température reflètent un court séjour en milieu poreux et, les eaux de surface étant peu minéralisées, une augmentation de la résistivité permet de découvrir leur présence. Des observations en périodes sèches et humides permettent de quantifier les cas extrêmes.

L'étude du périmètre d'alimentation devra se faire en connaissant le patron d'écoulement, incluant d'autres sources ou captages. Les traceurs sont fort utiles dans ce cas. On emploie généralement des colorants, comme la fluorescéine. On utilise aussi des traceurs radioactifs dont on connaît la demi-vie ; en voici quelques exemples :

Élément	Demi-vie
Br <sup>32</sup>	36 h
I <sup>131</sup>	8 d
Cr <sup>51</sup>	27,8 d
Tritium	12,26 ans

### Cas d'une nappe libre ou gisement

On détermine d'abord, sur cartes, la puissance ou l'étendue de la nappe de façon à déterminer les emplacements possibles d'ouvrages de captage. Sur cartes topographiques et géologiques, on relèvera les informations suivantes:

- Le contour de l'horizon géologique qui renferme la nappe.
- Le réseau hydrographique, sa densité augmente avec le ruissellement.
- Le périmètre d'alimentation.
- Les fissurations et le pendage des couches.

Sur le terrain, on construit des puits de reconnaissance en mesurant les débits, les rabattements et la qualité de l'eau. Si les informations sur cartes sont insuffisantes, on

effectue des forages pour déterminer l'épaisseur des couches et la granulométrie. On procède aussi à l'installation de piézomètres.

Avant tout captage, il est important de relever les niveaux piézométriques dans les puits, piézomètres et ouvrages existants. On effectue alors un essai de pompage de huit à dix jours (un mois pour les nappes étendues) de façon à déterminer les perméabilités en place, les transmissivités et le rayon d'influence. Si le nombre de stations de mesures le permet, on trace les lignes iso-piézométriques dont les lignes de faîtes déterminent le contour d'alimentation à l'intérieur duquel on applique la valeur de la précipitation moyenne annuelle en tenant compte du coefficient d'infiltration pour évaluer la capacité de recharge.

Les zones de transmissivité maximale sont propices à l'implantation d'un puits.

On ne doit pas oublier de vérifier dans le périmètre d'alimentation la présence de sources réelles ou potentielles de contaminations.

Sur le plan des observations longue durée, il est difficile de les réaliser en raison de l'instrumentation immobilisée à long terme. On essayera tout de même de prendre des mesures en périodes sèche et humide. Les observations météorologiques connues sur des périodes étendues pourront être corrélées avec les mesures de l'étude sur le terrain.

### **Autres méthodes d'études**

- Géophysique :

Étude morphologique du substratum.

- Prospection électrique

Mesure de la résistivité, fonction de la quantité d'eau et de la minéralisation pour un type de sol.

- Sismique – réfraction

Étude de la propagation d'onde mécanique (chocs) dans les sols. La nature des sols étant reliés à leur indice de réfraction, les changements de direction de l'onde permettent de se renseigner sur la nature des couches souterraines.

- Modèles numériques

Les modèles numériques permettent d'intégrer toutes les données morphologiques connues et d'y associer les règles de base de l'écoulement

(loi de Darcy, équation de transport) et de simuler le comportement d'un prélèvement ou d'une source de contamination.

### 1.2.3 Ouvrages de captage

#### Sources (pas de pompage) :

- Galerie à flanc de coteau, la longueur est déterminée par le débit à fournir.
- Aménagement d'un pavillon sur une source émergente.

#### Nappes (pompage) :

- Construction de puits.

Les courbes de comportement du puits nous permettent d'évaluer son débit d'exploitation et son efficacité. On trace en général les courbes débit - rabattement (fig. 3.15) ou de remontée (fig. 3.16). Le débit maximum d'exploitation est défini, après un pompage de formation pour remonter les particules libres, comme étant la limite de la proportionnalité linéaire entre le débit  $Q$  et l'affaissement  $\Delta$ .

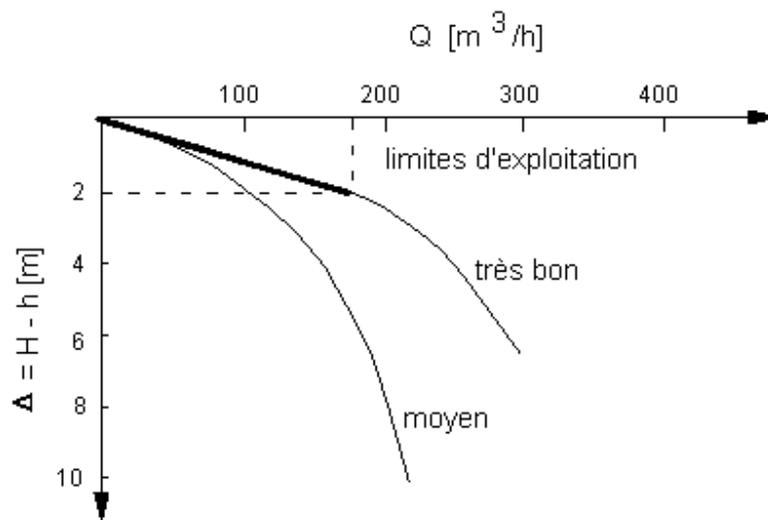


Fig. 1.4 - Courbes  $Q-\Delta$

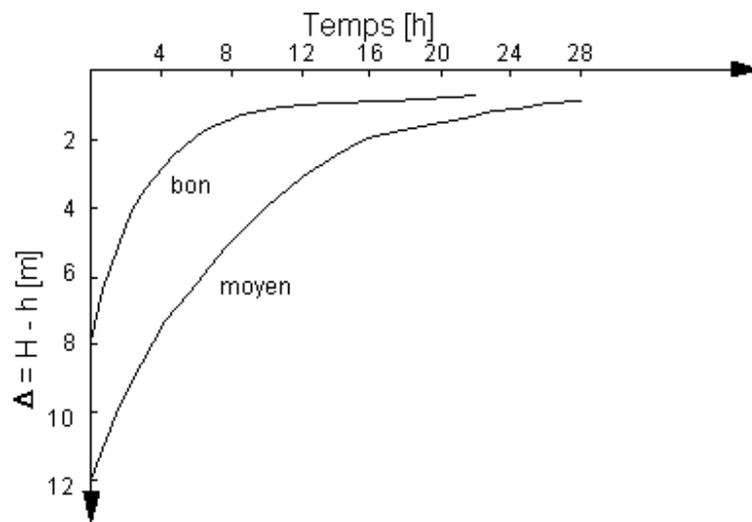


Fig 1.5 - Courbes de remontée.

Le vieillissement est un phénomène de colmatage qui survient tôt ou tard dans tout ouvrage en raison de la migration de grains fins. On peut cependant raisonnablement espérer une vie utile de plusieurs dizaines d'années. On veillera absolument à ne pas dépasser les possibilités de recharge de la nappe. Enfin un pompage régulier sera, en général, préférable à des variations brutales de la demande en débit.

### 1.3 Les eaux de surface

#### 1.3.1 Qualité

Règle générale, la qualité de l'eau de surface est moindre que celle des eaux souterraines. En effet, elles sont soumises à la possibilité d'une dégradation naturelle causée par :

- Le transport solide
- Les minéraux dissous, bien que l'eau soit moins dure que les eaux souterraines
- La matière organique naturelle

En rivière, la qualité est en général meilleure à l'amont qu'à l'aval. À l'amont, l'eau peut être plus turbide ce qui est facile à contrôler en raison de l'origine minérale de cette turbidité. Par contre, surtout en région montagneuse, elle est plus pure et froide. En aval, le contact avec des zones habitées et exploitées favorise les risques de pollution.

En lac ou réservoir, la turbidité est faible car la décantation y est favorisée. Par contre la possibilité de stratification thermique, chimique et biologique rend la qualité variable sur un cycle annuel.

En résumé, les eaux de surface sont plus exposé à la dégradation naturelle et à la pollution liée aux activités humaines. Pour cette raison, il sera généralement nécessaire de prévoir un traitement sous forme de filtration et de désinfection.

### 1.3.2 Quantité

La quantité disponible est variable ou constante selon le cycle hydrologique en fonction du débit que l'on veut prélever. L'étude des quantités disponibles doit se faire en tenant compte des paramètres suivants:

- Météorologie
- Hydrologie
- Géologie
- Topographie
- Exploitation humaine des ressources

Contrairement au cas des eaux souterraines, le domaine d'étude est clairement défini ; c'est le bassin versant:

Il est déterminé par la topographie des lieux, les pentes déterminent le volume d'emmagasinement du bassin et en combinaison avec le régime du débit, la formation du réseau hydrographique. Les faibles pentes favorisent la rétention des eaux de surface. En fonction de la nature des sols, l'infiltration joue un rôle important.

En fonction de la nature de l'écoulement, la quantité d'eau disponible sera:

- En régime non régularisé: le débit disponible sans pénurie, sera le plus bas débit d'étiage.
- En régime régularisé: naturellement (lac) ou par des ouvrages de rétention, le débit disponible sera de 75% à 90% du module.

Si on envisage la construction d'un réservoir de rétention, on doit considérer son volume de telle sorte que l'on puisse y puiser la demande durant les périodes où le régime naturel est inférieur à la demande. On doit de plus prendre en considération les pertes de capacité par évaporation, fuites ou sédimentation.

Le calcul du réservoir se base sur les connaissances accumulées du régime hydrologique du bassin. L'étude statistique des extrêmes permettent de déterminer les probabilités d'occurrence de pénurie en fonction du volume du réservoir.

On utilise fréquemment la courbe de masse pour déterminer le volume du réservoir.(Fig. 1.6)

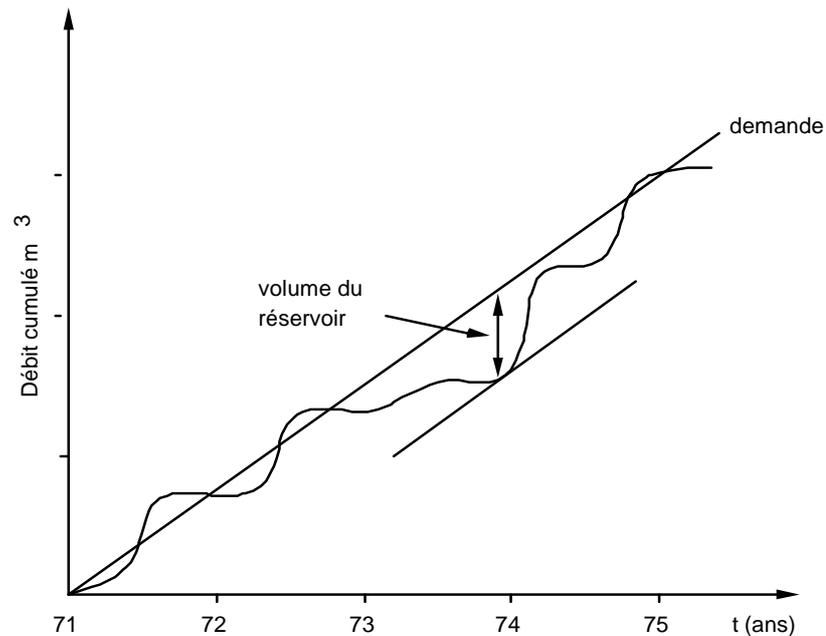


Fig. 1.6 - Courbe de masse

### 1.3.3 Captage des eaux de surfaces

Le captage des eaux de surface comporte les inconvénients et les avantages suivants :

a) Inconvénients :

- Température variable
- Composition chimique variable
- Contamination et pollution
- Vulnérabilité aux sécheresses

b) Avantages :

- Possibilité de rétention, sûreté de débit
- Facilité de captage

En cours d'eau, on situe les prises d'eau de façon à assurer la stabilité de la qualité et des rejets de matières polluantes. En zone estuarienne, on doit se préoccuper des inversions de courant.

En régime hivernal, il faut se préoccuper du frasil. Puisque le frasil a tendance à se générer dans les zones turbulentes de l'écoulement, on préférera placer la prise d'eau loin de ces zones. Malgré tout, le risque d'ingestion de frasil persiste et les dangers de colmatage des grilles est bien réel. Il faut prévoir des dispositifs de déglçage. Les plus courants sont :

- Le chauffage électrique des parties submergées.
- L'injection d'eau plus chaude provenant de l'eau souterraine par exemple.
- La formation de rideaux de bulles d'air

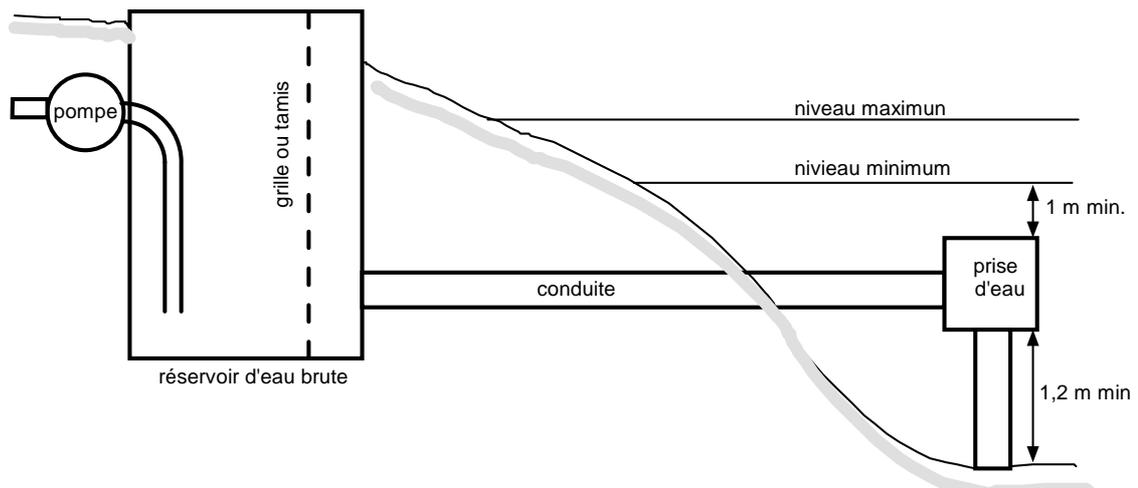


Fig 1.7 – Prise d'eau en rivière

En lac et en réservoir, la prise d'eau doit tenir compte des possibilités de stratification causée par la variation de la densité de l'eau en fonction de la température. (Fig. 1.8).

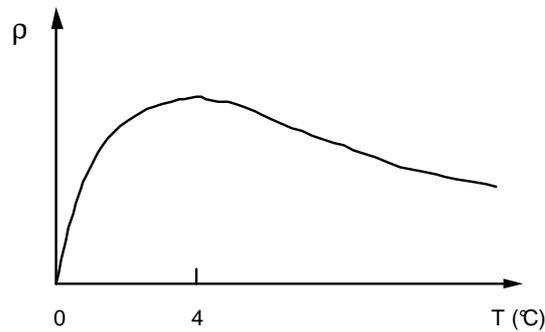


Fig. 1.8 - Variation de la densité de l'eau en fonction de la température.

En hiver, la température de l'eau atteint en surface, le point de congélation, en saisons intermédiaires, le vent favorise le brassage et en été il forme en surface une couche chaude (Fig. 1.9) Les couches chaudes et froides restent en surface en raison de leur plus faible densité. Cette stratification a une incidence sur la composition de l'eau. En surface, l'eau est éclairée et la flore consomme du  $\text{CO}_2$  pour produire de l' $\text{O}_2$ , cependant, la faune, en profondeur, s'alimente en  $\text{O}_2$  pour rejeter du  $\text{CO}_2$ , il en résulte une stratification de la composition.

Le brassage des eaux peut faire apparaître des eaux de qualités différentes. On a alors recours à des prises d'eau à plusieurs niveaux.

Mentionnons aussi le danger d'eutrophisation ou appauvrissement en oxygène du réservoir ou du lac par surconsommation par la matière organique en provenance des égouts.

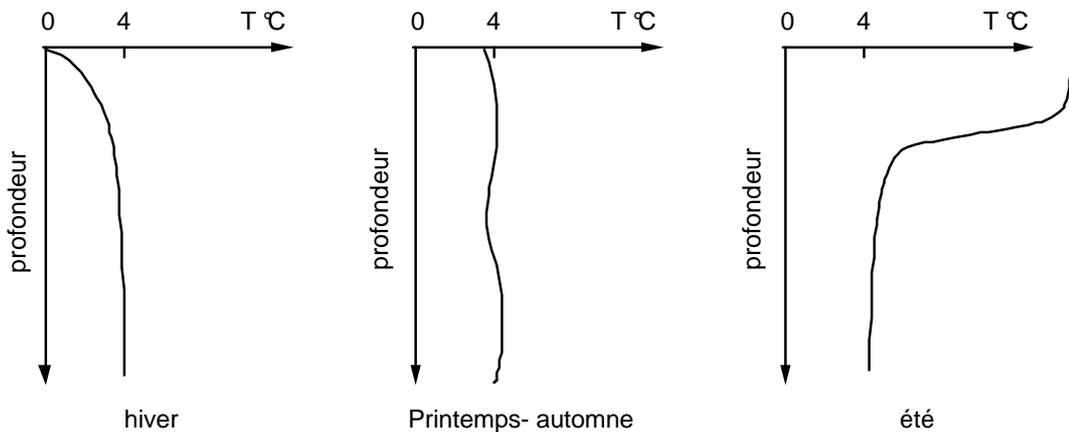


Fig. 1.9 - Profils verticaux de température en lac, selon les saisons.

Afin de pouvoir capter une eau de qualité adéquate en fonction de la saison, on aménage des ouvertures à différentes élévations que l'on peut ouvrir ou fermer selon les besoins.

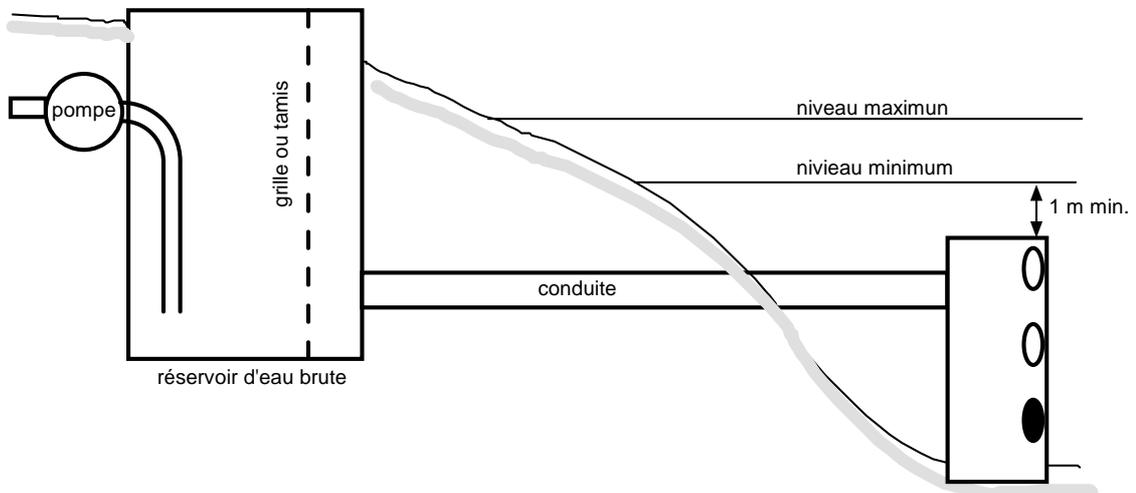


Fig. 1.10 – Prise d'eau en lac ou en réservoir

La conduite qui relie le réservoir d'eau brute à la prise doit avoir un diamètre qui autorise une vitesse d'écoulement en opération de 0,9 à 1,2 m/s sans tomber en deçà de 0,6 m/s ni dépasser 1,9 m/s.

#### 1.4 Autres ressources

Mentionnons les processus de dessalement de l'eau de mer. Les différentes techniques, consommant de fortes quantités d'énergie, sont

- La distillation
- L'électrolyse
- Les résines échangeuses d'ions
- Les membranes osmotiques.

Les pays du Golfe persique, notamment l'Arabie Saoudite, utilisent ces techniques, faute de sources d'eau douce suffisantes.

Quelques expériences ont aussi été réalisées dans le domaine du transport d'icebergs.