

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

**Université des Sciences et de la Technologie d'Oran
Mohamed BOUDIAF**



**Faculté d'Architecture et de Génie Civil
Département d'Hydraulique**

Polycopié de cours

Hydraulique Appliquée

Les systèmes de distribution en eau potable

Dr. Samira BABA HAMED

AVANT-PROPOS

L'approvisionnement en eau potable des agglomérations est une préoccupation majeure dans notre civilisation dont le principal but est de livrer aux consommateurs une eau répondant aux normes de qualité à un prix acceptable, et d'assurer le suivi de cette eau pour vérifier sa potabilité du point de captage jusqu'au consommateur. De tels objectifs nécessitent une connaissance précise du réseau, de ses infrastructures, de son fonctionnement hydraulique, et passe par un entretien suivi et régulier du réseau. Les concepteurs des réseaux d'alimentation en eau potable se trouvent généralement confrontés à la difficulté de connaître avec précision leur réseau, compte tenu de sa diversité, de son étendue et des difficultés d'accès.

L'objectif de ce polycopié qui est destiné aux étudiants de première année master en hydraulique, est de faciliter la compréhension et le calcul des phénomènes présents en hydraulique appliquée au système d'alimentation en eau potable. Les cinq principaux chapitres constituant ce cours sont décrits dans le paragraphe suivant :

Le premier chapitre est consacré à la description des différentes formes de captage et de prise des eaux souterraines et superficielles. Ce chapitre traite également des phases préliminaires d'un projet d'alimentation en eau potable et donne un aperçu sur l'exécution des ouvrages.

Le deuxième chapitre est dédié à un ouvrage très important dans le système d'alimentation en eau potable : le réservoir, ouvrage qui par excellence permet aux abonnés de ne pas souffrir de carences en eau en fournissant l'eau pendant les déficits et en stockant l'eau pendant les excès de pompage. La consommation de l'eau domestique et de différentes structures et industrie y est abordé permettant ainsi le calcul du débit de consommation pour toute une agglomération, ses équipements et même de fournir de l'eau en cas d'incendie. Le troisième chapitre traite de la nature et des caractéristiques des conduites utilisées dans le réseau de distribution, la signalisation de la tuyauterie et leurs repérages. En effet, les systèmes de distribution d'eau potable appartiennent, au même titre que les autres réseaux techniques, à un environnement urbain dans lequel ils agissent et interagissent avec les autres réseaux.

Le quatrième chapitre est consacré aux réseaux de distribution, l'objectif de ce chapitre s'étend à la conception et à la réalisation des réseaux neufs ou des extensions du réseau existant qui peuvent aider l'étudiant à décider sur la modification ou la réhabilitation des réseaux existants. Les méthodes de dimensionnement des réseaux sont données pour les deux principaux types de réseaux maillé et ramifié, et par la suite l'étude du rendement et des indices de performances linéaires du réseau permettent une bonne gestion des réseaux. Un sous-chapitre sur les méthodes de détection de fuite est proposé à la fin. Le dernier chapitre est consacré à la robinetterie, et aux dispositifs de contrôle de débit tels que les vannes de sectionnement, les crépines, les clapets et les ventouses permettant de protéger les dispositifs du système d'alimentation en eau potable tout au long du transport et de la distribution de l'eau.

Les différentes techniques abordées dans le cours d'hydraulique appliquée permettent d'apporter une réponse aux différents aspects rencontrés sur terrain et d'identifier les problèmes liés à un manque de l'eau et de pression en recherchant leur origine et apportant des solutions adéquates.

TABLE DES MATIERES

AVANT-PROPOS	2
LISTES DES FIGURES	6
TERMES UTILISES EN ALIMENTATION EN EAU POTABLE	8
CHAPITRE 1. CAPTAGE DES SOURCES	10
1.1 GENERALITES	10
1.1.1 Les eaux de surface	10
1.1.2 Les eaux souterraines	10
1.1.3 Installations de captage	10
1.2 ETUDE DU PROJET ET TRAVAUX PRELIMINAIRES.	11
1.2.1 Recueil des données et la reconnaissance du terrain	11
1.2.2 Etudes préliminaires	12
1.2.3 Avant-projet détaillé.	12
1.2.4 Phase de réalisation.	13
1.3 EXECUTION DES OUVRAGES	13
1.3.1 Forces appliquées sur les conduites.	14
1.3.2 Vérification des canalisations	14
1.4 CAPTAGE DES EAUX DE SURFACE	15
1.4.1 Schéma de distribution des eaux potables	15
1.4.2 Prise d'eau d'une rivière	16
1.4.3 Aménagement de source	18
1.5 CAPTAGE DE L'EAU DE FOND	21
1.5.1 Schéma de captage des eaux souterraines	21
1.5.2 Captages des eaux souterraines	22
CHAPITRE 2. LES RESERVOIRS	24
2.1 FONCTION DES RESERVOIRS	24
2.2 RÉPARTITION DES DEBITS DE DISTRIBUTION	24
2.3 CONSOMMATION.	25
2.3.1 Détermination du débit journalier domestique	26
2.3.2 Détermination des débits journaliers pour différentes structures.	27
2.3.2.1 Besoins d'école.	27
2.3.2.2 Besoins d'hôpital.	27
2.3.2.3 Besoins industriels	27
2.3.2.4 Détermination des besoins en eau pour l'arrosage	28
2.3.2.5 Détermination des besoins en eau pour les voiries	28
2.3.2.6 Détermination des besoins en eau pour la lutte contre l'incendie	28
2.3.2.7 Calcul du débit total	29
2.3.3 Détermination du débit horaire.	29
2.4 EMLACEMENT DU RÉSERVOIR	30
2.5 CAPACITÉ DES RÉSERVOIRS	31
2.6 DÉTERMINATION DE LA FORME ET IMPLANTATION	31
2.6.1 Forme du réservoir	31
2.6.2 Calcul de la cote radier du réservoir.	32
2.7 EQUIPEMENTS DES RESERVOIRS	33
2.7.1 Conduite d'alimentation.	35
2.7.2 Conduite de distribution	35
2.7.3 Conduite du trop-plein	35
2.7.4 Conduite de vidange	35
2.7.5 Conduite de by-pass	35
2.8 DETAILS DE CONSTRUCTION	36
2.8.1 L'étanchéité.	36
2.8.2 Accès	37
2.8.3 Isolation thermique	37
2.8.4 Exigences techniques à satisfaire dans la construction d'un bon réservoir	38

2.9 BESOINS EN EAU POUR LA DÉFENSE INCENDIE	39
2.10 DIMENSIONS GENERALES DES RESERVOIRS CIRCULAIRES CLASSIQUES	40
2.11 INSTALLATION DE SIGNALISATION ET DE COMMANDE A DISTANCE	40
CHAPITRE 3. NATURE DES CANALISATIONS (SOUS PRESSION ET A ECOULEMENT GRAVITAIRE)	44
3.1 GENERALITES	44
3.2 LES TUYAUX EN FONTE	44
3.3 LES TUYAUX EN ACIER	46
3.3.1 Caractéristiques des tuyaux en acier	46
3.3.2 Protection contre la corrosion	47
3.3.3 Méthodes de protection contre la corrosion	48
3.4 LES TUYAUX EN BETON	48
3.5 LES TUYAUX EN PLASTIQUES	49
3.5.1 Le Polychlorure de Vinyle. : PVC (en anglais PolyVinyl Chloride)	49
3.5.2 Le Polyéthylène : PE	49
3.5.3 Le Polypropylène : PP	50
3.6 LA MISE EN SERVICE	50
3.6.1 Essai de pression	50
3.6.2 Désinfection	50
3.7 REPERAGE, PLANS D'EXECUTION ET SIGNALISATION	50
3.7.1. Plan d'exécution	51
3.7.2. Signalisation des tuyauteries.	51
3.8 LES PERTES DE CHARGES	53
3.8.1 Les pertes de charges linéaires	53
3.8.2 Les pertes de charge singulières	53
3.9 DIAMETRE OPTIMALE DE LA CONDUITE	54
3.10. COUP DE BELIER	55
3.10.1 Description du coup de bélier	55
3.10.2 Calcul de la valeur du coup de bélier	57
3.10.3 Principales causes et conséquences du coup de bélier	60
3.10.4. Analyse physique du coup de bélier	61
3.10.5 Méthodes de protection contre le coup de bélier	62
CHAPITRE 4. RESEAUX DE DISTRIBUTION DES EAUX	72
4.1 GENERALITES	72
4.2. TYPE DE RESEAU.	73
4.2.1 Le réseau ramifié	74
4.2.2 Le réseau maillé	74
4.2.3 Les réseaux étagés	75
4.2.4 Le réseau mixte	75
4.3 CALCUL DES CONDUITES D'UN RESEAU	75
4.3.1 Position du problème	75
4.3.2 Détermination de la relation entre le débit d'extrémité et le débit de route	78
4.3.3 Expression des pertes de charges	81
4.3.4 Lecture de la table de COLEBROOK	83
4.4 DIMENSIONNEMENT DES RESEAUX	85
4.4.1 Le réseau ramifié	85
4.4.1.1 Les données	85
4.4.1.2 Méthode de travail	86
4.4.2 Calcul des réseaux maillés	86
4.5 RENDEMENTS DES RESEAUX	88
4.5.1 Volumes utilisés en alimentation en eau potable	88
4.5.2 Calcul de rendement du réseau	89
4.5.3 Calcul des indices linéaires des réseaux	90
4.6 RECHERCHE DES FUTES	91
4.6.1 La recherche de fuites pour un diagnostic terrain du réseau	92

4.6.2 La localisation des fuites : prés localisateurs de fuites	98
4.6.3 Détection et réparation des fuites.	100
4.7. EVALUATION DE L'OPERATION APRES LA REPARATION DES FUTES DETECTEES	101
CHAPITRE 5. ORGANES, ACCESSOIRES ET ROBINETTERIE	102
5.1 VANNES DE SECTIONNEMENT ET DE REGULATION	102
5.1.1 Robinet-vanne	104
5.1.2 Vanne à papillon	105
5.2 CREPINE	105
5.3 LES PURGEURS	106
5.4 LES VENTOUSES	106
5.5 ORGANES DE SECURITE	108
5.5.1 Le clapet	108
5.5.2 Les accessoires	109
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	110

LISTES DES FIGURES

Chapitre 1. Captage des sources

Figure 1.1. Schéma général d'un réseau d'A.E.P	11
Figure 1.2. Stockage et manutention - Cas des conduites en béton (Guide technique -Alcahyd)	13
Figure 1.3. Pose et remblais des conduites en béton(Guide technique -Alcahyd)	14
Figure 1. 4. Schéma représentant des travaux de pose en cours d'exécution	15
Figure 1.5.Schéma d'alimentation en eau potable : source superficielle	16
Figure 1. 6. Aménagement des prises d'eau	16
Figure 1.7. Prise en rivière par l'intermédiaire d'un puisard	17
Figure 1. 8. Prise en berge	17
Figure 1.9. Prise d'eau sous le lit d'une rivière	18
Figure 1. 10. Schéma d'aménagement simple d'une source (Source : Comité Interafricain d'Etudes hydrauliques)	19
Figure 1. 11. Schéma d'aménagement avec réservoir (Source : Comité Interafricain d'Etudes hydrauliques)	20
Figure 1.12. Schéma d'aménagement avec réservoir (Source : Comité Interafricain d'Etudes hydrauliques)	20
Figure 1.13. Schéma d'alimentation en eau potable : source souterraine	21
Figure 1.14. Différents types de captage des eaux souterraines	23

Chapitre 2. Les réservoirs

Figure 2. 1. Histogramme du débit horaire	29
Figure 2. 2. Différentes formes de réservoirs (site web : www.panoramio.com)	32
Figure 2. 3.Chambre de manœuvre et réservoir	33
Figure 2. 4.Equipement d'un réservoir	34
Figure 2. 5.Equipement d'un château d'eau (réservoir surélevé)(Guide technique – Veolia)	34
Figure 2. 6. By-pass entre l'adduction et la distribution	36
Figure 2. 7. Isolation thermique	37
Figure 2. 8 . Isolation thermique	37
Figure 2. 9 Schéma représentant une bouche d'incendie	39
Figure 2.10 Schéma représentant un poteau d'incendie	39
Figure 2. 11. Télécommande à distance des réservoirs d'eau potable	41

Chapitre 3. Nature des canalisations (sous pression et à écoulement gravitaire)	
Figure 3. 1. Caractéristiques de la fonte grise et de la fonte ductile _____	45
Figure 3. 2. Traversée en siphon d'un oued (Véolia) _____	46
Figure 3. 3. Aspect morphologique de la corrosion conduisant à la perforation du métal _____	47
Figure 3. 4. Lit de pose et assemblage des conduites _____	51
Figure 3. 5. Schéma de croisement des différents réseaux (www.picbleu.fr) _____	52
Figure 3. 6. Tube de PE posé en tranchée (Source : catalogue Chiali) _____	52
Chapitre 4. Réseaux de distribution des eaux	
Figure 4. 1. Dimensionnement d'un réseau d'alimentation en eau potable _____	73
Figure 4. 2. Le réseau ramifié _____	74
Figure 4. 3. Le réseau maillé _____	74
Figure 4. 4. Le réseau étagé _____	75
Figure 4. 5. Hydrosol _____	93
Figure 4. 6. Détection de la fuite par l'hydrosol _____	94
Figure 4. 7. Amplificateur mécanique _____	95
Figure 4. 8. Recherche des fuites par corrélation acoustique _____	96
Figure 4. 9. Principe de calcul de la position d'une fuite par le corrélateur acoustique _____	97
Figure 4. 10. Pré localisateur de fuite _____	98
Figure 4. 11. Représentation du spectre d'une fuite _____	100
Chapitre 5. Organes, accessoires et robinetterie	
Figure 5. 1. Régulation amont et aval dans la conduite _____	103
Figure 5. 2. Régulation de pression _____	104
Figure 5. 3. Vanne à opercule et vanne papillon (Fiche technique SFERACO) _____	105
Figure 5. 4. Fonctionnement de la crépine _____	106
Figure 5. 5. Les ventouses simple fonction (http://www.cowalca.be/catalogue-produit) _____	107
Figure 5. 6. Les clapets _____	108
Figure 5. 7. Raccordement en coude dans un réseau d'alimentation en eau potable _____	109

TERMES UTILISES EN ALIMENTATION EN EAU POTABLE

Abonné (ou client)

Personne physique ou morale ayant souscrit un abonnement auprès de l'opérateur du service publique de l'eau ou de l'assainissement

Accumulation : consiste à remplir des réservoirs pour assurer une plus grande régularité du débit capté, traité et amené, et une sûreté d'alimentation en cas d'une indisponibilité momentanée des ouvrages précédents. L'accumulation est placée le plus près possible des utilisateurs

Adduction : transport de l'eau du lieu de prélèvement jusqu'au voisinage de la zone d'utilisation

Captage

Le captage d'eau potable est un dispositif de prélèvement qui concerne soit les eaux souterraines (sources, nappes aquifères) soit des eaux superficielles (rivière, lac ou même mer)

Conduite de transfert.

Une conduite de transfert véhicule de l'eau potable sous branchement particulier d'un ouvrage ou d'un secteur à un autre. On le désigne aussi sous le nom de feeder.

Conduite de distribution.

Une conduite de distribution véhicule de l'eau potable et comporte des branchements.

Conduite de branchement.

La conduite de branchement véhicule de l'eau potable pour alimenter un abonné individuel ou collectif à partir d'une conduite de distribution.

Distribution : consiste à fournir à chaque instant aux utilisateurs les débits dont ils ont besoin. Un réseau de canalisation dimensionné pour les débits maximaux susceptible de passer en chaque point

Dotation hydrique unitaire

La consommation globale de l'eau exprimée en litres par habitant et par jour,

Eau brute.

L'eau brute désigne celle qui n'a pas été traitée, c'est-à-dire, l'eau dans l'état où elle est prélevée dans le milieu naturel, et qui n'a pas été introduite dans le réseau de distribution.

Cette désignation d'eau brute n'implique pas de notions de qualité et en particulier ne signifie pas que l'eau concernée soit impropre à la consommation. Certaines eaux brutes présentent les caractéristiques des eaux destinées à la consommation humaine et sont distribuées sans traitement ; dès qu'elles sont introduites dans le réseau de distribution, elles perdent la qualification d'eau brute pour devenir eau potable.

Eau potable.

L'eau potable désigne l'eau qui circule dans le réseau de distribution.

Habitant

Personne domiciliée de manière permanente ou temporaire (habitant saisonnier) sur le territoire d'une collectivité

Réseau de distribution.

Un réseau de distribution est un ensemble cohérent :

- de réservoirs et d'équipements hydrauliques,
- de conduites de transfert ou feeders,
- de conduites de distribution,
- de conduites de branchements,
- de points de livraison,
- de tous les appareils de robinetterie et de régulation nécessaires

Ouvrage d'adduction.

Un ouvrage d'adduction véhicule de l'eau brute ou traitée. Les ouvrages d'adduction servent à amener l'eau brute depuis des sites plus ou moins éloignés où elle est généralement plus abondante et moins polluée, vers les zones d'utilisation. Ils peuvent être, à ciel ouvert (canaux, aqueducs) ou en conduites fermées, en maçonnerie ou constitués d'éléments préfabriqués (fonte, béton, etc...).Ce sont généralement les installations de traitement ou de stockage qui définissent la limite aval de ces ouvrages.

Point de livraison.

Le point de livraison est l'emplacement où est délivrée l'eau potable à l'abonné

Station de pompage.

C'est un dispositif élévatoire de l'eau potable

Traitement des eaux : nécessaire pour obtenir une eau propre pour la consommation. Le traitement de l'eau de mer est très onéreux pour diminuer les sels mais de plus en plus utilisé

CHAPITRE 1. CAPTAGE DES SOURCES

1.1 GENERALITES

Les ressources en eau proviennent des eaux de surface et des eaux souterraines.

1.1.1 Les eaux de surface

- Eaux de rivière
- Eaux de barrage ou lac

La demande en eau douce, croît chaque année de 4 à 5%, tandis que les ressources naturelles restent invariables pour ne pas dire qu'elles diminuent (problème de pollution de plus en plus grand). Cette équation montre que bientôt la demande sera supérieure aux ressources. D'autres solutions sont proposées telles que :

- Le traitement des eaux usées et leur utilisation (au moins à 50%)
- Le dessalement des eaux de mer,

1.1.2 Les eaux souterraines

Les eaux souterraines sont constituées par l'infiltration des eaux de pluie dans le sol. Ces eaux s'infiltrent par gravité dans les pores, les microfissures et les fissures des roches, humidifiant des couches de plus en plus profondes, jusqu'à rencontrer une couche imperméable. Là, elles s'accumulent, remplissant le moindre vide, saturant d'humidité le sous-sol, formant ainsi un réservoir d'eau souterraine appelé aquifère. La nappe chemine en sous-sol sur la couche imperméable, en suivant les pentes, parfois pendant des dizaines voire des centaines de kilomètres, avant de ressortir à l'air libre, alimentant une source ou un cours d'eau.

1.1.3 Installations de captage

C'est l'ensemble des ouvrages qui permettent de prélever de l'eau à l'état brut au niveau de la ressource en eau. Cette dernière peut avoir diverses origines : une eau de surface telle qu'une rivière, plan d'eau, retenue de barrage ou une eau de profondeur telle qu'un puits ou forage, nappes souterraines.

1.2 ETUDE DU PROJET ET TRAVAUX PRELIMINAIRES.

L'étude d'un projet d'alimentation en eau potable nécessite différentes phases pour un aboutissement correct du projet, ces phases sont :

- Le recueil des données et la reconnaissance du terrain
- Les études préliminaires
- L'avant-projet détaillé
- La phase de réalisation.

Le transport de l'eau de la source jusqu'au point de distribution se fait suivant plusieurs phases comme montré dans la figure 1.1. En fonction du terrain, différents ouvrages ponctuels peuvent être ajoutés comme les stations de pompage ou le réservoir d'équilibre.

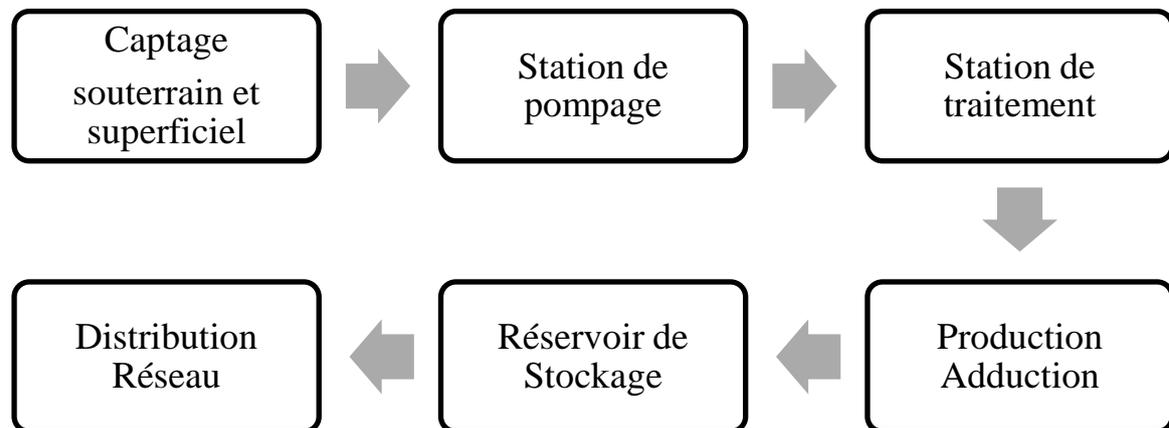


Figure 1.1. Schéma général d'un réseau d'A.E.P

1.2.1 Recueil des données et la reconnaissance du terrain

Le recueil des données nécessite au préalable un scénario d'interventions de manière à ordonner au fur et à mesure de l'avancement, la prise des connaissances et les visites d'ouvrages.

Une visite sur terrain donne une vue globale sur l'agglomération, la répartition des habitants et les infrastructures existantes. Les données et les plans permettent d'établir un état des lieux et de formaliser les hypothèses de départ. Cette opération consiste à collecter l'ensemble de données nécessaire à l'étude pour assurer un bon dimensionnement du réseau, à ce stade, il faudrait déterminer le type de l'étude. Selon que la zone soit nouvelle donc nécessitant un nouveau réseau ou ancienne et l'intervention se fait sur un réseau existant, les principales données sont énumérées ci-dessous :

1. Visite de la zone étudiée et la consultation des plans de construction et de l'urbanisme
2. Type de l'agglomération : urbaine, rurale, semi- rurale
3. Données concernant la ressource, le captage et le mode d'adduction comprenant toutes les sources d'eau potable près de la zone à étudier.
4. Le nombre et la densité des habitants : importante, faible ou moyenne
5. Topographie du terrain, impliquant sa situation dans une zone côtière, montagneuse....
6. Nombre d'habitants actuel et aux différents horizons et leur consommation en eau potable
7. Etudes précédentes faites sur la zone, les caractéristiques de la commune et des réseaux existants. Pour le cas du réseau existant, il faudrait effectuer un diagnostic et déterminer l'état du réseau et de ses ouvrages annexes

1.2.2 Etudes préliminaires

Cette phase comprend les calculs préliminaire tels que :

- Détermination du nombre d'habitants à l'horizon.
- Evaluation des besoins en eau potable.
- Eude des variations du débit.
- Projection du réseau d'alimentation en eau potable sur des plans généralement :
 - plan demasse 1/2000 ou 1/5000
 - plan du levétopographique 1/1000 ou 1/2000 ou 1/5000

1.2.3 Avant-projet détaillé.

Dans cette étape le bureau d'étude doit présenter une étude qui comprend :

- Le mode de captage et adduction et le calcul du débit de l'adduction
- Le plan du réseau (débit, pression...etc.).
- Le volume du réservoir.
- Le diamètre de la conduite d'alimentation du réservoir.
- Le dimensionnement des ouvrages annexes
- Le plan de montage du réseau

1.2.4 Phase de réalisation.

Cette phase comprend l'exécution du projet, la pose des canalisations et la projection des différents ouvrages

1.3 EXÉCUTION DES OUVRAGES

L'exécution des ouvrages est une étape importante du projet pour assurer la protection du réseau. Les conduites peuvent être posées de différentes manières d'après le lieu et les éventuels le lieu et les obstacles. Les principales étapes à exécuter pour La réalisation du projet sont :

- Implantation du réseau
- Stockage, vérification et manutention des conduites :

Pour éviter les rayures ou les défauts dans la conduite, il est recommandé de stocker les conduites sur deux rangs maximum et sur un sol stable et d'éviter les chocs avec les extrémités (figure 1.2) , l'élingage est interdit.

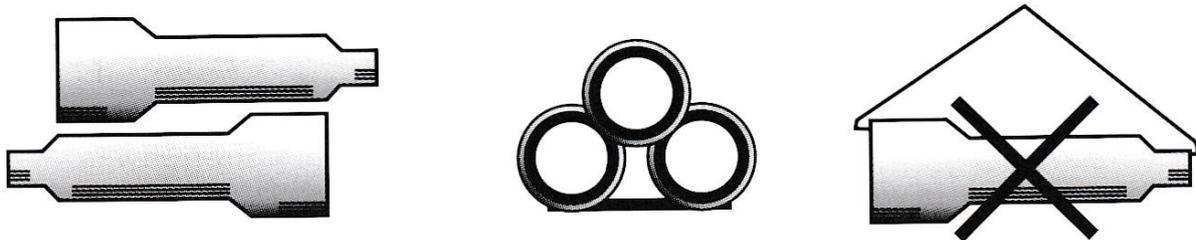


Figure 1.2. Stockage et manutention - Cas des conduites en béton (Guide technique -Alcahyd)

- Décapage de la couche du goudron ;
- Emplacement des jalons et des piquets ;
- Exécution des tranchées et des fouilles pour les regards ;
- Aménagement du lit de pose ;
- La mise en place des canalisations en tranché ;
- Assemblage des tuyaux ;
- Faire les essais d'étanchéité pour les conduites et les joints ;
- Remblai des tranchés ;

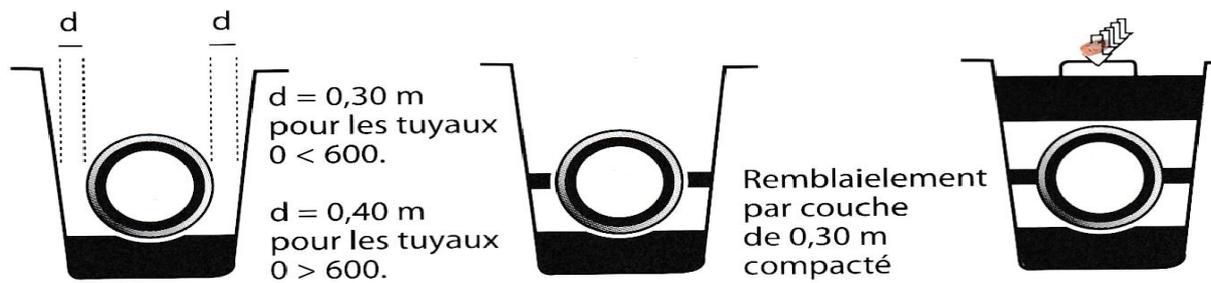


Figure 1.3. Pose et remblais des conduites en béton(Guide technique -Alcahyd)

1.3.1 Forces appliquées sur les conduites.

Les conduites sont soumises à des actions qui sont les suivantes :

- La pression verticale due au remblai ;
- La pression résultante des charges permanentes de surface ;
- La pression résultante des charges roulantes ;
- La pression hydraulique extérieure due à la présence éventuelle d'une nappe phréatique ;
- Le poids physique de l'eau véhiculée ;
- Le tassement différentiel du terrain ;

1.3.2. Vérification des canalisations

Les produits préfabriqués font l'objet sur chantier de vérification portant sur :

- L'aspect et le contrôle de l'intégrité ;
- Les quantités ;
- Le marquage en cas de défaut ;

Les conduites sont posées sans brutalité sur le sol ou dans le fond des tranchées et ne doivent pas être roulées sur des pierres ou sur le sol rocheux, mais sur des chemins de roulement.



Figure 1. 4. Schéma représentant des travaux de pose en cours d'exécution

1.4 CAPTAGE DES EAUX DE SURFACE

Les systèmes d'alimentation en eau se composent de :

- La prise d'eau : elle réalise le captage d'eau dans une source
- Les ouvrages d'élévation d'eau assurent l'amenée de l'eau à la station de traitement et dans un réseau de distribution appelée aussi station de pompage
- la station de traitement : elle traite l'eau
- les conduites de refoulements d'eau et les réseaux de distribution
- les ouvrages d'accumulation : château d'eau et réservoirs

1.4.1 Schéma de distribution des eaux potables

L'eau de source entre dans la prise d'eau(1) et se dirige vers le tuyau gravitaire(2) jusqu'au puits de rive (3).L'eau est aspirée par les pompes vers la première station de pompage(4) et est refoulée vers la station de traitement (5), la station de traitement possède des filtres(6). Ensuite, l'eau filtrée passe dans un réservoir d'eau propre traitée (7). Cette eau est aspirée par la deuxième station de pompage (8), à l'aide de la conduite de refoulement (9), cette eau passe dans le réservoir surélevé (10).Le réseau de distribution(11) alimentera l'agglomération(12).

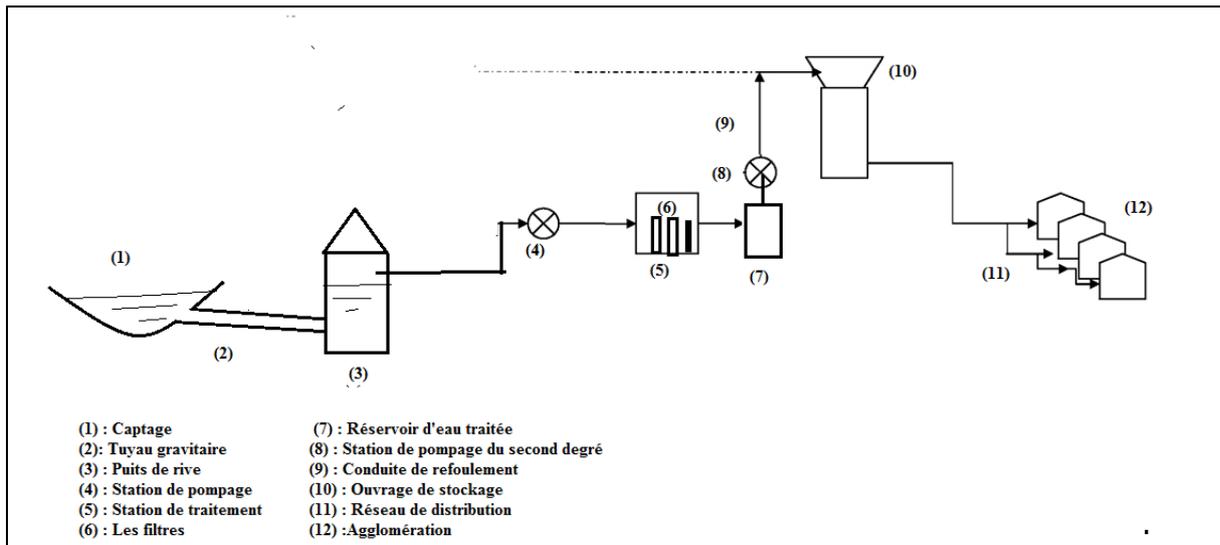


Figure 1.5. Schéma d'alimentation en eau potable : source superficielle

1.4.2 Prise d'eau d'une rivière

Une prise d'eau de surface (Figure 1.6) représente une structure permettant de capter l'eau naturelle (l'eau dite brute) du lac ou de la rivière dans lesquelles on l'a immergée, dispositif de captage (pompe). On doit l'installer là où l'eau brute est de la meilleure qualité possible, c'est-à-dire aussi loin que possible de toute source de pollution ; on doit ainsi éviter de la placer en aval d'un émissaire d'égout, même si celui-ci déverse l'effluent d'une station d'épuration.

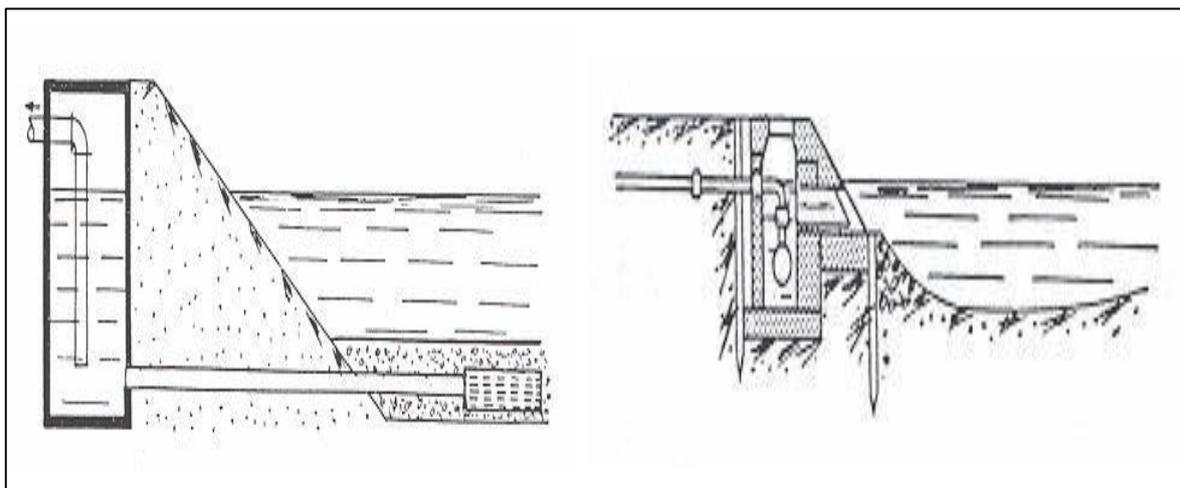


Figure 1. 6. Aménagement des prises d'eau

La prise d'eau peut être effectuée :

-soit dans le fond du lit après dragage et remplissage avec de gros graviers autour de la crépine d'aspiration.

-soit sur la berge, à une profondeur convenable, dans le but d'éviter d'une part, l'influence de la sédimentation du fond du lit, et d'autre part, la présence éventuelle d'hydrocarbures,

a. Prise d'eau dans les berges d'une rivière

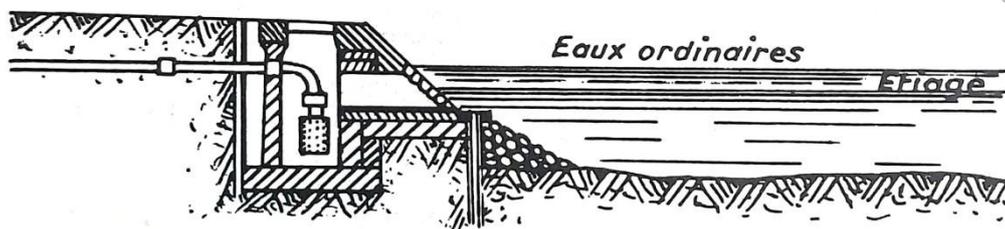


Figure 1.7. Prise en rivière par l'intermédiaire d'un puisard

Si le débit est important, la prise est effectuée dans la berge jusqu'à la crépine d'aspiration. Si le débit est de moindre importance, l'une des dispositions indiquées aux figures 1,2 et 3 peut être utilisée

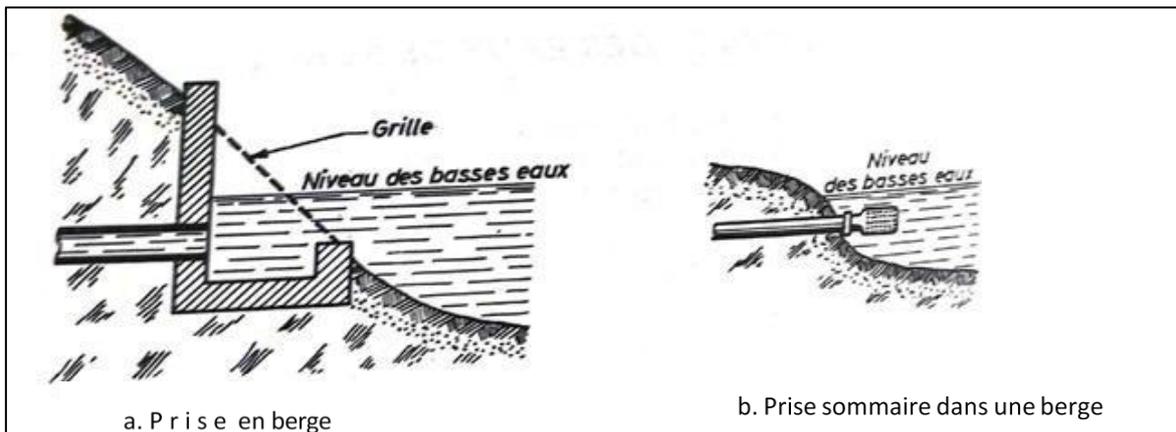


Figure 1. 8. Prise en berge

b. Prise d'eau sous le lit d'une rivière

La prise s'effectue par une crépine de grande dimension placée dans une tranchée remblayée par la suite avec du gravier

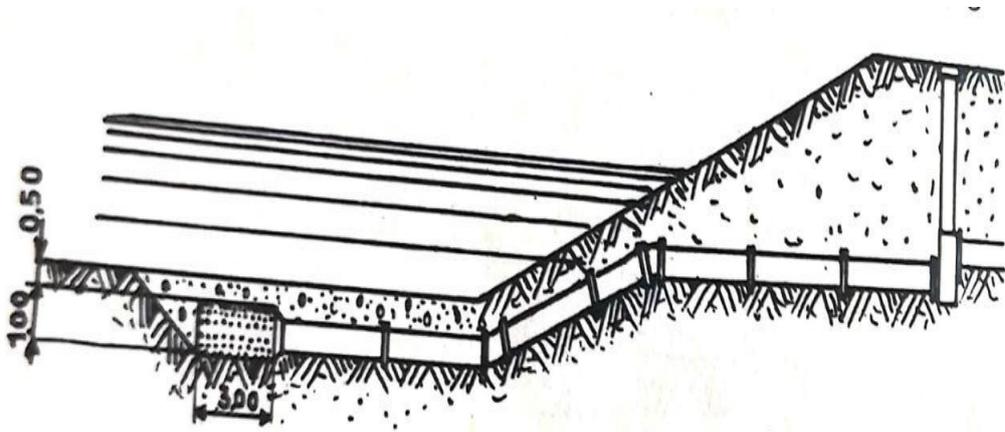


Figure 1.9. Prise d'eau sous le lit d'une rivière

1.4.3 Aménagement de source

La définition simple d'une source est la suivante : endroit où une nappe d'eau sort du sol toute seule. Cette eau est souvent bonne à boire. Mais cette eau peut être polluée à sa sortie du sol. Afin d'éviter un tel danger, on doit aménager la source. Trois grands types d'aménagements de sources peuvent être envisagés dans un contexte nécessitant le recours à des techniques à faible coût :

- un aménagement très simple ;
- un aménagement avec un réservoir ;
- un aménagement avec un réservoir et filtre ;

a . Aménagement simple de source

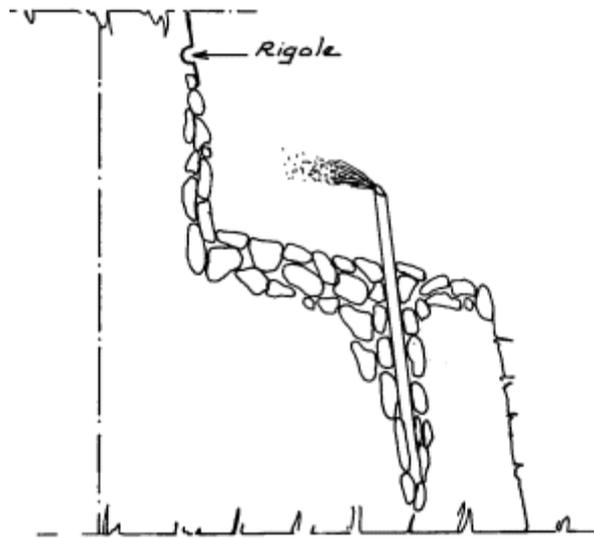


Figure 1. 10. Schéma d'aménagement simple d'une source (Source : Comité Interafricain d'Etudes hydrauliques)

L'aménagement simple de source doit débuter par un nettoyage de l'endroit où l'eau sort du sol. Il faut :

- faire une tranchée horizontale sur plusieurs mètres pour rechercher l'eau un peu plus loin ;
- remplir la tranchée de gros cailloux pour que l'eau circule facilement ;
- reboucher la tranchée ;
- à l'extrémité, sceller un tuyau par lequel l'eau s'écoulera. Le tuyau doit être scellé dans un mur fait en ciment, en parpaing ou en pierre ;
- le sol, à l'endroit où le tuyau sort, doit être nivelé et recouvert de cailloux pour éviter qu'il y ait formation d'un borbier ;
- réaliser une rigole qui évacue au loin l'eau sale.

b. Aménagement avec réservoir.

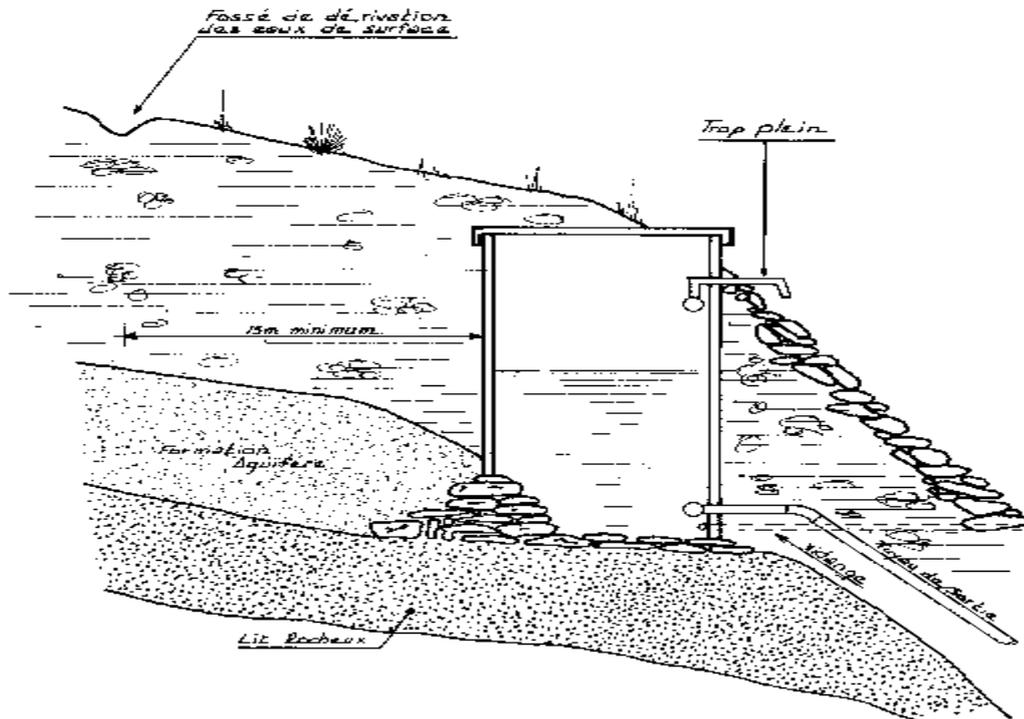


Figure 1.11. Schéma d'aménagement avec réservoir (Source : Comité Interafricain d'Etudes hydrauliques)

Il est nécessaire de construire une chambre maçonnée qui permet de récupérer et de stocker l'eau de la source. L'aménagement extérieur est identique à celui de l'aménagement simple.

c. Aménagement avec réservoir et filtre.

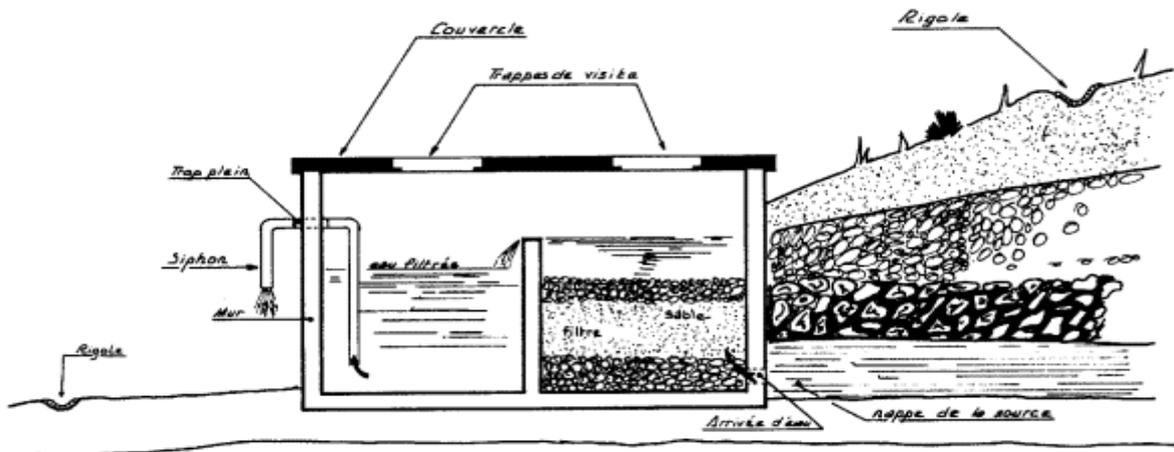


Figure 1.12. Schéma d'aménagement avec réservoir et filtre (Source : Comité Interafricain d'Etudes hydrauliques)

Cet aménagement comprend une chambre maçonnée divisée en deux parties, une partie qui contient le filtre en gravier et en sable et une autre partie qui constitue le réservoir. La sortie de l'eau est identique aux aménagements précédents. A travers une conduite, l'eau est amenée dans un puits de rive pour le stockage et la décantation des dépôts, par la suite, cette eau est aspirée pour être dirigée vers la station de traitement.

1.5 CAPTAGE DE L'EAU DE FOND

1.5.1. Schéma de captage des eaux souterraines

L'eau est prélevée du puits ou du forage à l'aide d'une pompe (station de pompage). Dans ce cas, l'eau est plus propre le puits constituant une réserve naturelle protégée après l'analyse des eaux et que les services concernés se soient assurés de leurs potabilité. Ceci implique des économies dans la station de traitement. Le même procédé est suivi que ci-dessus.

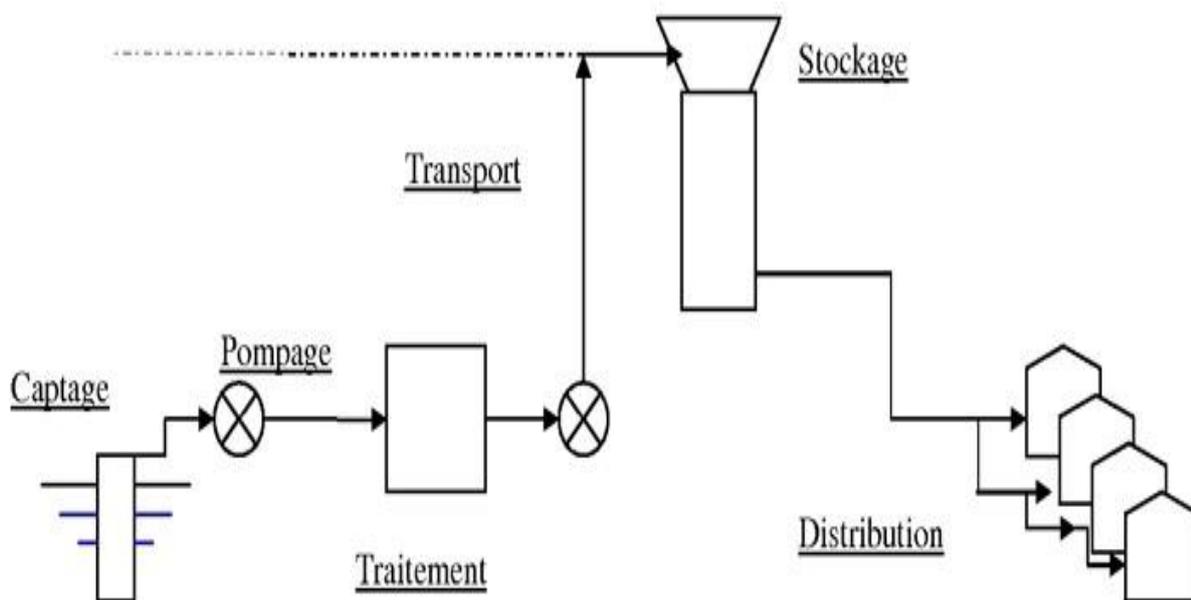


Figure 1.13. Schéma d'alimentation en eau potable : source souterraine

En règle générale, les eaux devront être captées dans leur gîte géologique, l'ouvrage de captage d'une source devra aller rechercher l'eau dans la roche même. Il y'a plusieurs types de nappes

1. Nappe d'ordre géologique :
 - a. Les nappes alluviales (milieu poreux superficiel),
 - b. Les nappes en milieu fissuré (carbonaté ou éruptif),
 - c. Les nappes en milieu karstique (carbonaté),
 - d. Les nappes en milieu poreux (grès, sables).
2. Nappe d'ordre hydrodynamique :
 - a. les nappes alluviales, volumes d'eau souterraine contenues dans des terrains alluviaux, en général libres et en relation avec un cours d'eau;
 - b. les nappes libres, volumes d'eau souterraine dont la surface est libre, c'est à dire à pression atmosphérique. Une nappe libre est comprise dans un aquifère qui comporte, au-dessus de la zone saturée en eau, une zone non saturée ;
 - c. les nappes captives, volume d'eau souterraine isolée de la surface du sol par une formation géologique imperméable, à pression supérieure à la pression atmosphérique. Leur surface piézométrique est supérieure au toit de l'aquifère qui les contient. L'eau qui y circule très lentement et sous pression, est protégée des pollutions potentielles de la surface, s'il n'y a pas de communication avec la surface ou d'autres nappes (soit naturellement par failles ou soit provoquée par des forages).

Nappe captive: nappe d'eau souterraine circulant entre deux couches de terrains imperméables
 Nappe libre : nappe d'eau souterraine circulant sous un sol perméable. Les ressources souterraines sont évaluées à 1.8 milliards de m³ dans le Nord de l'Algérie. Les potentialités du Sud sont estimées à 60000 milliards de m³. Ces dernières sont difficilement exploitables et renouvelables ; et 4 à 5 milliards de m³ sont exploitables annuellement

1.5.2 Captages des eaux souterraines

L'eau souterraine est contenue dans ce qu'on appelle les « aquifères ». Un aquifère est une formation géologique, ou une partie de celle-ci, constituée d'un matériau perméable capable de stocker des quantités importantes d'eau. Les aquifères peuvent être constitués de différents matériaux : sables et graviers non consolidés, roches sédimentaires perméables telles que les grès ou calcaires, roches volcaniques et cristallines fracturées, etc.

Les eaux souterraines sont (naturellement) rechargées par l'eau de pluie et la fonte des neiges ou par l'eau qui fuit à travers le fond de certains lacs et rivières. Elles peuvent également être rechargées lorsque les systèmes d'approvisionnement en eau fuient et que les cultures sont irriguées avec plus d'eau que nécessaire. Il existe également des techniques pour gérer la recharge des aquifères et augmenter la quantité d'eau d'infiltration dans le sol. Le captage des eaux souterraines se fait en creusant un puits ou un forage

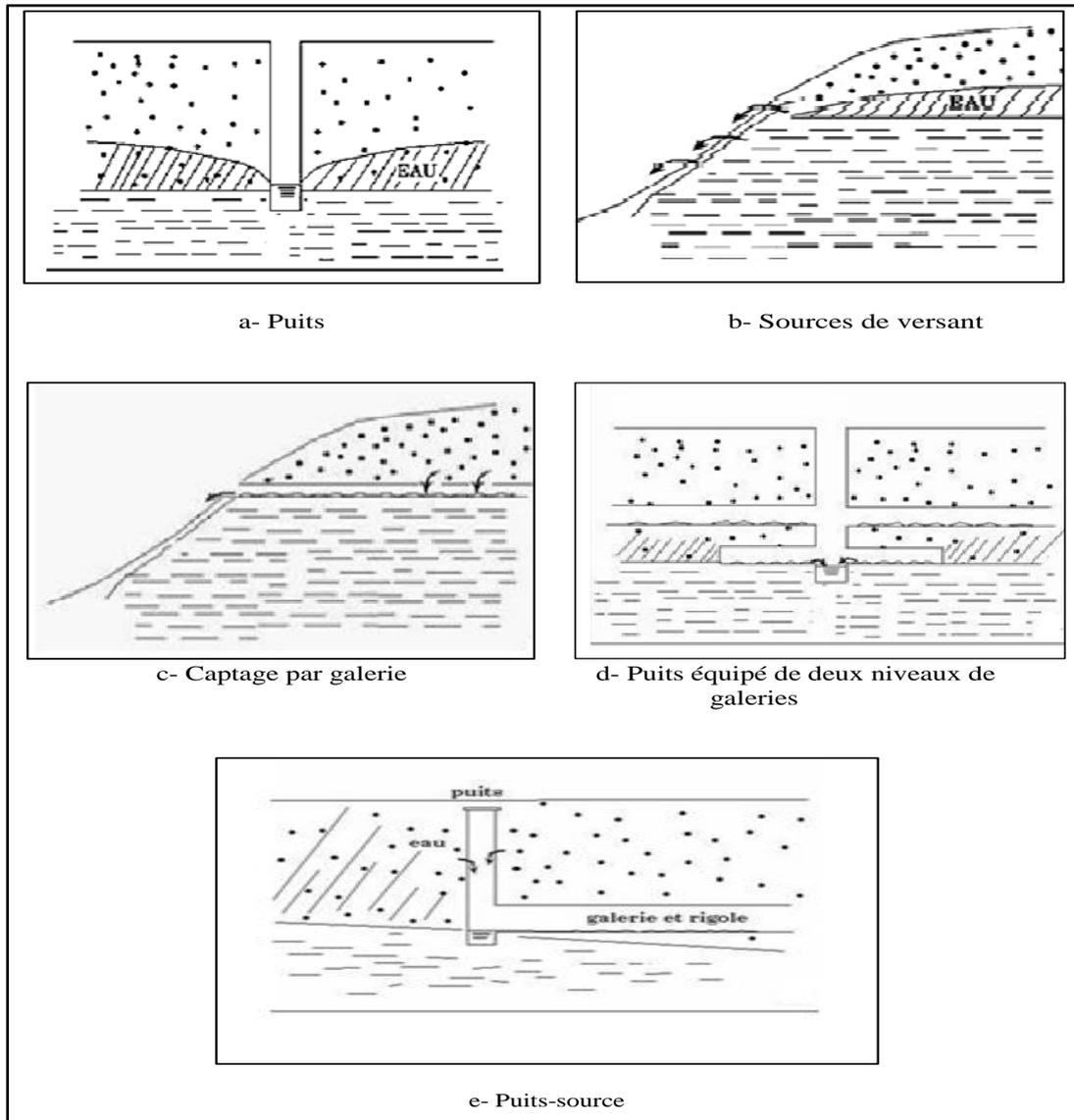


Figure 1.14. Différents types de captage des eaux souterraines

CHAPITRE 2. LES RESERVOIRS

2.1 FONCTION DES RESERVOIRS

Un réservoir est un ouvrage ponctuel du système d'alimentation en eau potable, il assure la sécurité vis-à-vis des risques d'incendie, de demande en eau exceptionnelle, ou en cas de rupture momentanée de l'adduction. Il a également une fonction économique en assurant un équilibre entre le régime de l'adduction et de la distribution. Les principaux rôles d'un réservoir sont :

- 1- assurer la régulation du débit entre la demande et l'apport du consommateur
- 2- permettre le stockage de l'eau venant de l'adduction pour assurer un apport de l'eau constant
- 3- équilibrer les deux régimes d'adduction et de distribution : il permet pendant les heures de faible consommation le stockage de l'eau dû à la différence des débits entre adduction et distribution
- 4- permet l'alimentation des consommateurs pendant la panne de courant et maintient une réserve d'eau pour l'incendie
- 5- assurer aux heures de pointe les débits nécessaires aux abonnés.
- 6- Fournir aux abonnés une pression suffisante.
- 7- maintenir l'eau à l'abri des risques de contamination et de pollution
- 8- préserver l'eau contre les fortes variations de températures

2.2 RÉPARTITION DES DÉBITS DE DISTRIBUTION

La répartition des débits de distribution en eau potable d'une agglomération dépend du mode de vie de la population et des infrastructures existantes (équipements, agriculture.....). Le calcul des besoins exige les données suivantes :

- La norme de consommation unitaire
- Les ressources en eau pouvant être mobilisées (ressources mobilisables) pour satisfaire qualitativement et quantitativement les besoins en eau pour la consommation de l'agglomération.
- La connaissance des besoins en eau potable de l'agglomération

2.3 CONSOMMATION.

Le volume d'eau nécessaire à l'alimentation d'une collectivité dépend :

- de l'importance et du caractère des localités à desservir,
- des besoins municipaux, agricoles et industriels,
- des habitudes de la population.

En général, les quantités moyennes suivantes par habitant et par jour sont prévues :

- communes rurales : 130 à 180 litres (non compris les besoins agricoles),
- communes moyennes : 200 à 250 litres (y compris les besoins municipaux),
- villes : 300 à 450 litres (y compris les besoins municipaux), voire davantage dans les communes urbaines

La consommation d'eau est divisée en quatre catégories :

- consommation domestique : elle tient compte de tous les débits d'eau utilisés pour les besoins de la population
- consommation d'eau pour l'industrie
- consommation d'eau pour la lutte contre l'incendie
- consommation d'eau pour l'arrosage et l'agriculture

La consommation d'eau globale dépend :

- de la norme de consommation
- de l'aménagement des immeubles
- du climat

Le dimensionnement d'un réseau doit prendre en considération :

- Les besoins en eau, estimés par des méthodes statistiques ou analytiques,
- Les ressources en eau, évaluées à partir des données hydrogéologiques et hydrologiques propres à chaque région.
- La qualité des eaux délivrées aux consommateurs, et donc sa conformité à la réglementation résulte de l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement (milieu d'origine, qualité des eaux brutes, traitement de l'eau, transport en canalisation, appareils hydrauliques, installations extérieures, ...).
- Les exigences spécifiques concernant les canalisations (pression, débit ...)

2.3.1 Détermination du débit journalier domestique

Les besoins en débit sont évalués en pointes journalières et pointes horaires. Un réseau de distribution est généralement dimensionné pour faire transiter les débits de pointe horaire. Le débit journalier domestique est donné par la formule suivante :

$$Q_{j\text{moy}} = \frac{\text{Norme de consommation} \times \text{population}}{1000}$$

$$Q_{j\text{moy}} = \frac{q \times N}{1000} \text{ m}^3 / \text{j}$$

Avec

q : dose unitaire, dotation hydrique par catégorie ou norme de consommation pour une personne pendant une journée en (l/j/hab)

q = 220 l/j/hab pour le mode de vie élevé (haut standing)

q = 150l/j/hab pour le mode de vie moyen (moyen standing)

q = 80 l/j/hab pour le mode de vie faible (faible standing)

N : nombre de la population pour différentes régions, tient compte de l'augmentation des populations pour un horizon donnée. N est calculé par la formule suivante : $N = N_0 (1+t)^n$

N : nombre d'habitant par rapport à l'horizon d'étude (ex 2020)

N₀ : nombre d'habitant par rapport à l'année de base (ex 2035)

t : taux d'accroissement égal (ex 2.15%)

n : nombre d'année entre N et N₀

Après le calcul du débit journalier moyen, Q_{j moy}, on calcule le débit journalier maximal

$$Q_j \text{ max} = K_j \text{ max} \cdot Q_{j\text{moy}}$$

K_{j max} est un coefficient de pointe ; K_j = 1.1 à 1.35

Exemple :

Soit une agglomération comprenant 20048 habitants en 2020

La dotation hydrique est de 150 l/j/hab

Le taux d'accroissement est de 2.1 %

Estimez les besoins journaliers moyens pour :

Un court terme : horizon 2025

Un moyen terme : horizon 2035

Un long terme : horizon 2045

2.3.2 Détermination des débits journaliers pour différentes structures.

2.3.2.1 Besoins d'école.

$$Q_j \text{ école} = \frac{q \text{ école} \cdot N_{\text{éleve}}}{1000} (m^3/j)$$

Néleve : nombre d'élève

q école : dotation hydrique [100 à 200 l/j/élève]

$$Q_j \text{ max} = K_j \text{ max} \cdot Q_j \text{ école}$$

2.3.2.2 Besoins d'hôpital.

$$Q_j \text{ hopital} = \frac{q \text{ hôpital} \cdot N \text{ lit}}{1000} (m^3/j)$$

N lit : nombre de lit

q hôpital : dotation hydrique [100 à 200 l/j/ lit]

$$Q_j \text{ max} = K_j \text{ max} \cdot Q_j \text{ hôpital}$$

2.3.2.3 Besoins industriels

a- Productivité

$$Q_j \text{ productivité} = \frac{q \text{ prod. P}}{1000} (m^3/j)$$

P : productivité journalière d'une entreprise (t/j)

q prod : consommation industrielle (la norme de la consommation de l'eau par unité de la production)

b- Besoins de l'entreprise en eau potable (débits de vie)

$$Q_j \text{ entreprise} = \frac{q \text{ entr. Ntrav}}{1000} (m^3/j)$$

q entr = 25 l / personne / équipe → atelier froid

q entr = 45 l / personne / équipe → atelier chaud

2.3.2.4 Détermination des besoins en eau pour l'arrosage

$$Q_{arr} = \frac{q_{arr} \cdot S \cdot n}{1000} (m^3 / j)$$

S : surface arrosée en hectare

n : nombre d'arrosage

q arr : norme de consommation d'eau q arr = 4 à 9 l / j / m²

2.3.2.5 Détermination des besoins en eau pour les voiries

$$Q_{voiries} = \frac{q_{voirie} \cdot S \cdot n}{1000} (m^3 / j)$$

S : surface nettoyée en hectare

n : nombre de lavage

q voirie : norme de consommation d'eau q arr = 5 l / j / m²

2.3.2.6 Détermination des besoins en eau pour la lutte contre l'incendie

Le débit pour la lutte contre l'incendie dépend du nombre d'habitant dans une ville ou village et de la hauteur des immeubles, le volume d'incendie est donné par la formule suivante :

$$V_{incendie} = 3.6 \times q_{inc} \times n_{inc} \times t \quad (m^3)$$

q inc : norme de consommation en l / s

t : durée d'incendie, t = 2 à 3 heures temps nécessaire pour éteindre l'incendie

n inc : nombre d'incendie déclenché simultanément.

2.3.2.7 Calcul du débit total

Le débit total est calculé par la formule suivante :

$$Q_{cal} = Q_{tot} + n \cdot Q_{tot}$$

Q_{cal} : c'est le débit final, le débit de dimensionnement

Q_{tot} : c'est la somme des débits calculés ultérieurement

n : pourcentage d'eau qui peut être perdue dans le réseau en %

$n = 25\%$ → réseau bien entretenu

$n = 30\%$ → réseau moyennement entretenu

$n = 50\%$ → réseau mal entretenu

Si on prend $n = 30\%$, on obtiendra : $Q_{cal} = Q_{tot} + 0.3 Q_{tot} = 1.3 Q_{tot}$

2.3.3 Détermination du débit horaire.

La variation du débit en fonction de l'heure est représentée par un histogramme. Le débit horaire permet de déterminer les heures maximales et minimales de consommation. L'interprétation de l'historgramme permet de déterminer, les pics, les excès, les déficits dans le but de combler les éventuels carences en eau.

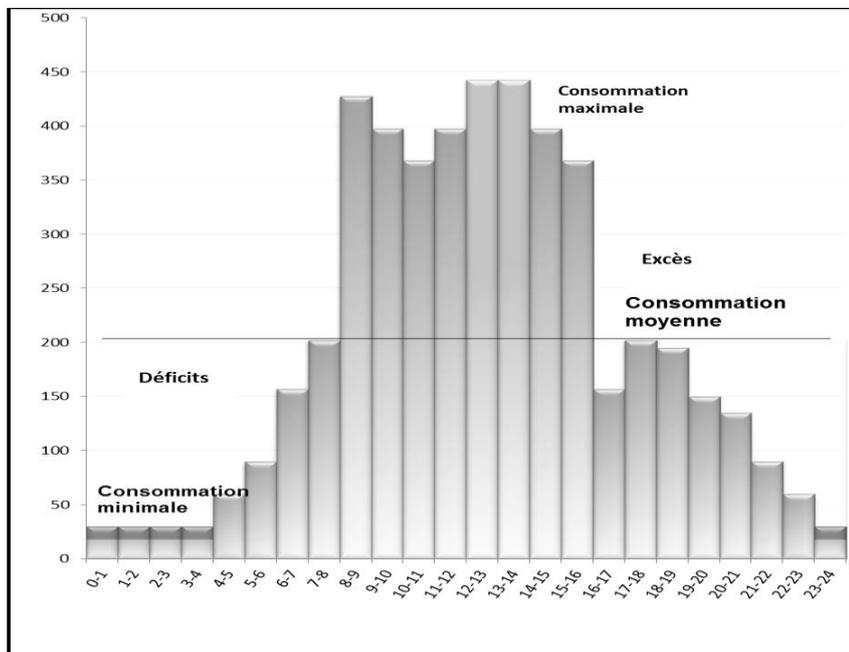


Figure 2. 1. Histogramme du débit horaire

2.4 EMPLACEMENT DU RÉSERVOIR

Les réservoirs sont classés :

a- d'après les matériaux, on distingue :

- le réservoir métallique
- le réservoir en maçonnerie
- le réservoir en béton armé

b- d'après la situation des lieux, ils peuvent être :

- enterré
- semi-enterré
- sur le sol
- surélevé, sur tour : ce sont les châteaux d'eaux

c- d'après la forme de la cuve, ils peuvent être :

- carrés
- rectangulaires
- circulaires
- de forme quelconque

L'implantation du réservoir doit tenir compte du relief permettant d'obtenir les dépenses minimales des frais d'investissement et d'exploitation, il faut tenir compte des facteurs suivants :

- le point le plus éloigné à alimenter
- Le point bas à alimenter
- la hauteur du plus haut point à alimenter
- les pertes de charge à partir du réservoir jusqu'au point le plus défavorable
- Le réservoir d'eau doit être le plus proche possible de l'agglomération à alimenter. En effet le coefficient de pointe horaire impliquant les pertes de charge au niveau des conduites de distribution est plus important que celle des conduites d'adduction. Le réservoir d'eau doit être le plus proche possible de l'agglomération à alimenter. Plus le réservoir est loin de l'agglomération et plus la hauteur du réservoir est grande nécessitant ainsi une énergie de pompage grande et un coût important

- Le réservoir d'eau doit être le plus proche possible de l'agglomération à alimenter. En effet le coefficient de pointe horaire impliquant les pertes de charge au niveau des conduites de distribution est plus important que celle des conduites d'adduction. Le réservoir d'eau doit être le plus proche possible de l'agglomération à alimenter. Plus le réservoir est loin de l'agglomération et plus la hauteur du réservoir est grande nécessitant ainsi une énergie de pompage grande et un coût important

2.5 CAPACITÉ DES RÉSERVOIRS

Le calcul du volume d'eau se fait à partir des débits entrants et des débits sortants du réservoir pendant les différentes heures de la journée

Les calculs seront abordés selon la méthode analytique pour la répartition de la consommation

La méthode de calcul du réservoir se présente comme suit :

- Volume réel du réservoir : V_r

$$V_r = |\Delta V_+| + |\Delta V_-|$$

Tel que ΔV_+ et ΔV_- sont la différence entre le volume apporté et le volume consommé

Les volumes positifs représentent les excès et les volumes négatifs représentent les déficits

- Volume total du réservoir

$$V_t = V_{\text{réel}} + V_{\text{incendie}}$$

2.6 DÉTERMINATION DE LA FORME ET IMPLANTATION

2.6.1 Forme du réservoir

La forme du réservoir dépend de sa capacité : Circulaire si le volume $< 3000 \text{ m}^3$ et rectangulaire si Volume $> 3000 \text{ m}^3$. La hauteur d'eau dans les cuves est comprise entre 3 et 6 m. Le toit de la cuve est généralement vouté avec des ouvertures d'aération et de visite pour inspection et nettoyage. Eviter de mettre l'arrivée de l'eau à proximité du départ.



Figure 2. 2. Différentes formes de réservoirs (site web : www.panoramio.com)

2.6.2 Calcul de la cote radier du réservoir.

Un des principaux rôles des réservoirs est d'assurer une pression au sol suffisante en tout point du réseau en particulier les points les plus défavorables (plus haut, plus loin). L'altitude d'un réservoir est calculée pour que toute l'agglomération ait la pression minimale à l'étage le plus haut donc c'est la cote radier du réservoir qui est calculée. Le calcul du réseau de distribution pendant la pointe horaire, permet de définir la hauteur du réservoir, pour les châteaux d'eau: hauteur < 40m

La cote de radier du réservoir est déterminée à partir de la formule suivante :

$$CR = C \text{ point défav} + H + J_{\text{totale}} + H_e$$

CR : cote de radier de réservoir.

C point défav : cote de terrain au point le plus défavorable du réseau

H : hauteur prise en fonction du nombre d'étages de la plus haute construction programmée dans le site

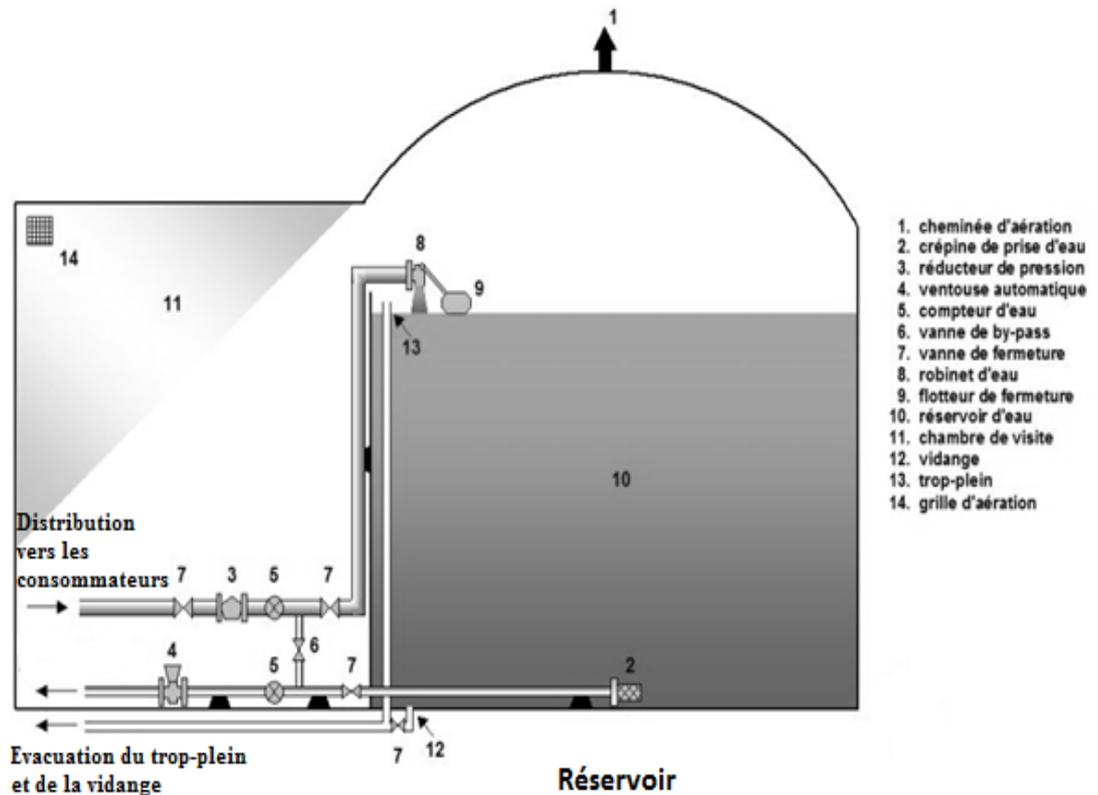
H_e : hauteur d'eau supplémentaire qui tient compte des appareils qui fonctionnent avec de l'eau (chauffe-eau, lave-linge...) = 1m.

J_{totale} : perte de charge linéaire dans la conduite de distribution jusqu'au point défavorable

$$J_{\text{totale}} = J_s + j \cdot L$$

2.7 EQUIPEMENTS DES RESERVOIRS

Le réservoir est constitué par la cuve et une chambre de manœuvre (Figure 2.2), et comporte généralement cinq (05) types de conduites et d'autres équipements tels que la crépine, la vanne de distribution, la prise d'air etc....(Figures 2.3 , 2.4 et 2.5)



Chambre de manoeuvre (chambre de vannes)

Figure 2. 3.Chambre de manoeuvre et réservoir

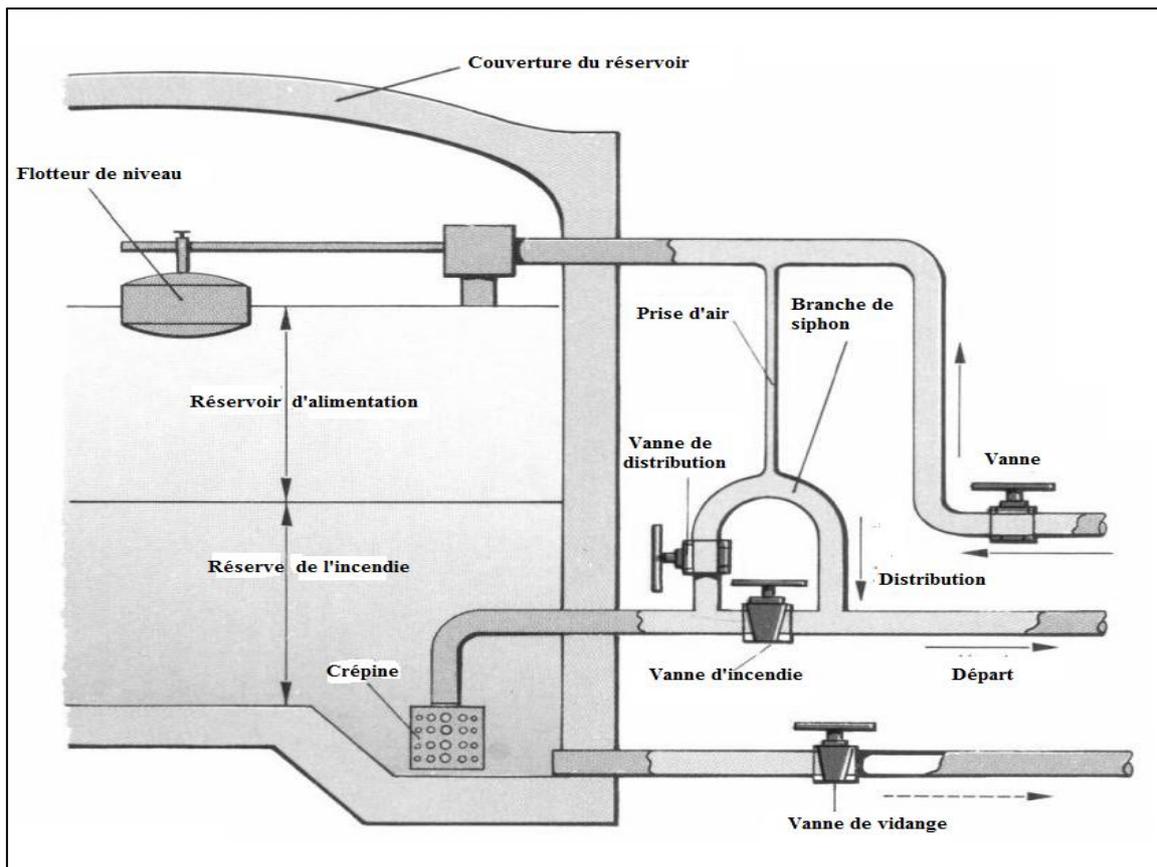


Figure 2. 4.Equipement d'un réservoir

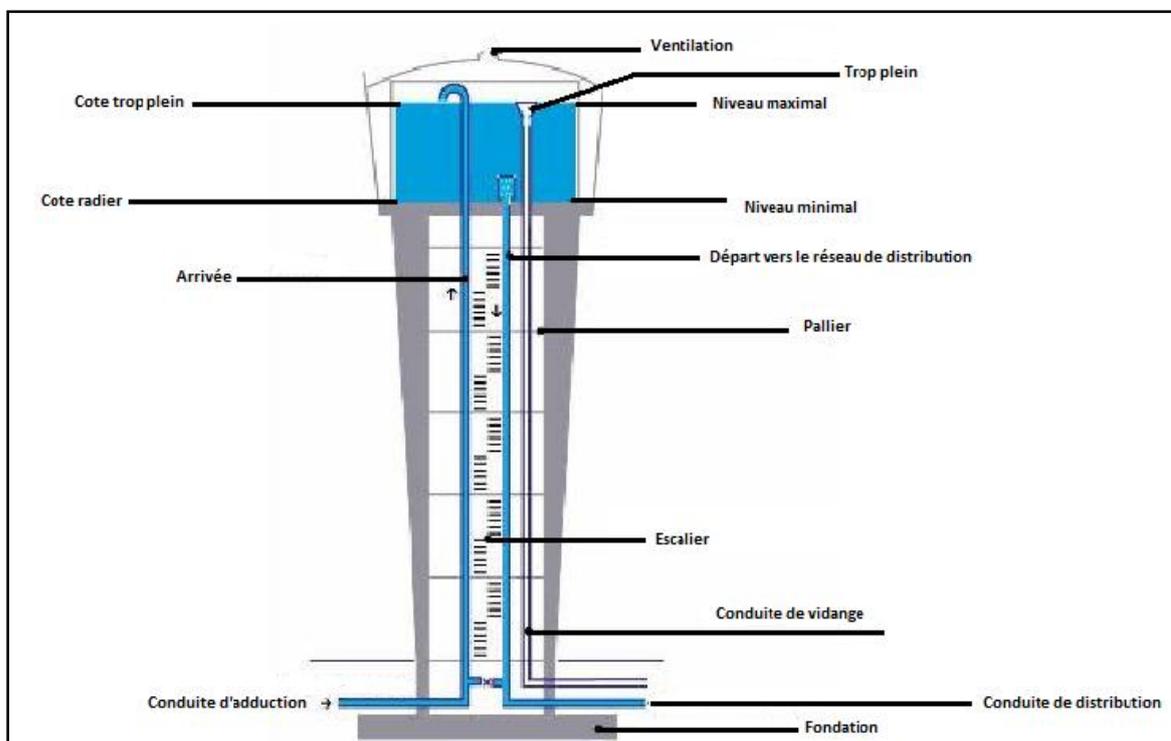


Figure 2. 5.Equipement d'un château d'eau (réservoir surélevé)(Guide technique – Veolia)

2.7.1 Conduite d'alimentation.

C'est l'arrivée de l'adduction (Fig 2.5), cette conduite débouche dans le réservoir à sa partie supérieure. On prévoit l'arrêt automatique de la pompe lorsque le réservoir est plein.

Pour éviter une surveillance constante pendant le remplissage, on prévoit un robinet à flotteur tel qu'aussitôt que le réservoir est plein le robinet se ferme automatiquement : c'est le flotteur de niveau

2.7.2 Conduite de distribution

Le départ de la conduite de distribution s'effectue à 0.20 m au-dessus du radier pour éviter l'introduction des dépôts décantés et du sable dans la conduit (Fig 2.4). La conduite qui part du réservoir sera munie d'une vanne papillon à fermeture automatique pour éviter le débordement des eaux

2.7.3 Conduite du trop-plein

La conduite du trop-plein est destinée à empêcher l'eau de dépasser un niveau admissible dans le cas des problèmes techniques tel que la pompe d'alimentation ne sera pas arrêtée ou panne de cette dernière ainsi évité le débordement. Cette conduite débouchera dans un exutoire voisin (Figs 2.4 et 2.5).

2.7.4 Conduite de vidange

La vidange est indispensable pour l'entretien du réservoir tel que le nettoyage, la réparation
On prévoit une conduite de vidange par le point bas du réservoir et se raccordant sur la canalisation du trop-plein, elle comporte un robinet vanne (Figs 2.4 et 2.5).

2.7.5 Conduite de by-pass

En cas d'indisponibilité du réservoir par exemple le nettoyage ou la réparation du réservoir, il faut prévoir une conduite de by-pass entre l'adduction et la distribution pour mettre la distribution de l'eau potable aux abonnés (Fig 2.6)

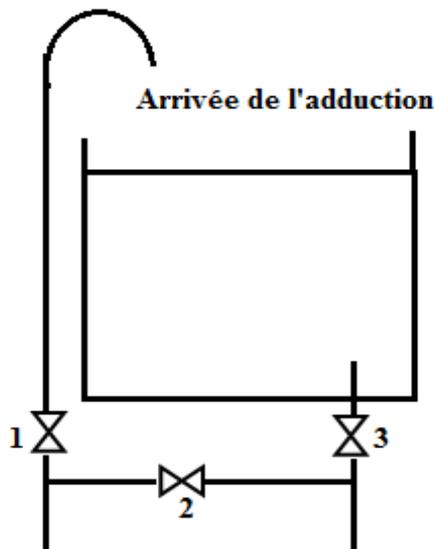


Figure 2. 6. By-pass entre l'adduction et la distribution

En temps normal, les vannes 1 et 3 sont ouvertes pour assurer la distribution de l'eau potable aux abonnés et la vanne 2 est fermée. En by-pass, les vannes 1 et 3 sont fermées et la vanne 2 ouverte. Ainsi les travaux sur les réservoirs sont effectués sans que les abonnés aient à souffrir de coupure d'eau

2.8 DETAILS DE CONSTRUCTION

2.8.1 L'étanchéité.

L'étanchéité peut être obtenue soit par :

1- Des joints d'étanchéité

Les réservoirs en maçonneries ou en béton nécessitent des joints de retrait et de dilatation (permettant au béton de se dilater et de se contracter sans porter atteinte à l'étanchéité), ces joints sont munis de système étanchéité

L'étanchéité est réalisée soit par des bandes de caoutchouc dont le bord plus épais est pris dans du ciment, soit par des produits plastiques spéciaux ne donnant pas de goût à l'eau.

Joints élastiques constitués de plaques minces de néoprène de dureté shore de 50° à 55°

2- L'étanchéité dans le matériau de construction

L'eau potable propre à la consommation humaine n'attaque pas le béton puisqu'elle est légèrement ou totalement alcaline. L'étanchéité peut être obtenue :

- soit dans la masse même du béton avec un dosage de l'ordre de 400 kg/ m³, une granulométrie appropriée. Il faut un béton plein et non seulement compact (ce béton plein a tous ses vides comblés).
- soit par un enduit au mortier : ciment de 15 à 25 cm d'épaisseur, exécuté en deux couches
- même enduit que ci-dessus mais avec incorporation d'hydrofuge et de plastifiant

2.8.2 Accès

Pour accéder au réservoir, on utilise soit une échelle ou des escaliers métalliques, en béton armé ou des vrais escaliers.

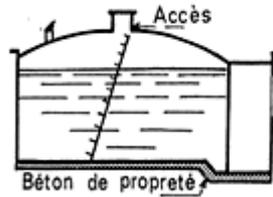


Figure 2. 7. Isolation thermique

2.8.3 Isolation thermique

Pour les réservoirs enterrés, l'isolation naturelle est généralement suffisante

Pour les réservoirs surélevés ou semi-enterrés, l'isolation contre les rayons solaires du couvercle peuvent être obtenus en le couvrant d'une couche de gravillon

Les parois latérales peuvent être isolées en montant parallèlement à la paroi un rang de briques qui retient ainsi une couche d'air.

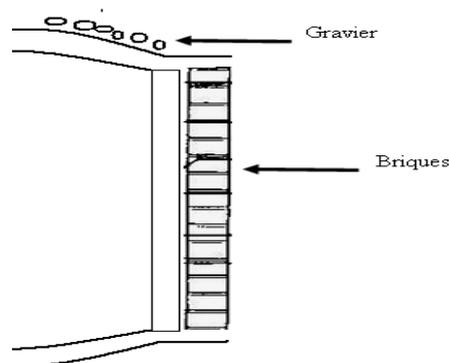


Figure 2. 8 . Isolation thermique

2.8.4 Exigences techniques à satisfaire dans la construction d'un bon réservoir

Un bon réservoir doit satisfaire à différents impératifs

- a- *La résistance* : le réservoir doit dans toutes ses parties équilibrer les efforts auxquels il est soumis et qui sont :
- poids propre du réservoir et de ses ouvrages annexes
 - charge due au liquide contenu (1000 daN/m^3)
 - surcharge diverse d'exploitation ; exemple : escalier 100 daN/ marche soit 450 daN/ m^2
 - variation de la température
 - influence de retrait
 - intervention du fluage
 - effet climatique : neige, vent (surtout pour le château d'eau)
 - influence du séisme (effort horizontal : $F = 2\sigma P$ et effort vertical : $F = + 4 \sigma P$)
- b- *Étanchéité* : le réservoir doit être étanche, c'est à dire non fissuré ou fissuré dans des conditions acceptables
- c- *Durabilité* : le réservoir doit durer dans le temps c'est à dire, le matériau ou béton doit conserver ses propriétés initiales après un contact prolongé avec le liquide.

Exemple : le réservoir de Nantes fait par les entreprises Limousin a les caractéristiques suivantes :

- Capacité $40\,000 \text{ m}^3$
- Constituait par 3 compartiments superposés :
- Rez-de-chaussée $18\,100 \text{ m}^3$
- Premier étage $13\,350 \text{ m}^3$
- Deuxième étage $8\,300 \text{ m}^3$
- Ces compartiments peuvent être pleins ou vides indépendamment

2.9. BESOINS EN EAU POUR LA DÉFENSE INCENDIE

Les canalisations alimentant les appareils d'incendie devront pouvoir fournir un débit minimal de 10 l/s. Les appareils hydrauliques utilisés par les pompiers sont, soit des bouches d'incendie (de 0,1 m), soit des poteaux d'incendie. Ces appareils doivent être espacés de 200 à 300 m les uns des autres et être répartis suivant l'importance des risques à défendre. Si le risque est faible, l'écartement pourra être porté à 400 m.



Figure 2.9 Schéma représentant une bouche d'incendie



Figure 2.10 Schéma représentant un poteau d'incendie

En plus du calcul du réseau de distribution avec les débits de pointes, il faut vérifier son comportement en cas d'incendie.

Dans les tronçons sur lesquels il est prévu l'installation de bouches d'incendie, le diamètre minimal sera de 0,08 m.

La condition d'incendie (10 l/s) est souvent difficile à satisfaire dans les petites agglomérations et oblige parfois à prévoir des diamètres surabondants pour les besoins normaux. En conséquence, la vitesse de l'eau, en distribution normale, risque d'être faible dans certain tronçon.

Ainsi dans les petites agglomérations, on peut éviter d'avoir recours directement au réseau en utilisant soit des points d'eau naturels (cours d'eau, mares), soit des points d'eau artificiels (en des emplacements judicieusement choisis de façon à assurer une défense suffisante contre un risque situé dans un rayon de 400 m; la capacité de cette réserve doit être d'au moins 120 m³).

2.10 DIMENSIONS GENERALES DES RESERVOIRS CIRCULAIRES CLASSIQUES

Fonlladosa (pont et chaussée 1937) a donné les formules ci-dessous permettant de dimensionner le réservoir de volume V en m^3

- Diamètre intérieur de la cuve

$$V = 1.405 \sqrt[3]{D}$$

- Hauteur d'eau utile

$$H = 0.460.D$$

- Hauteur libre au niveau de l'eau jusqu'à la base de la ceinture de calotte

$$H_o = 0.10.D$$

- Flèche de la coupole

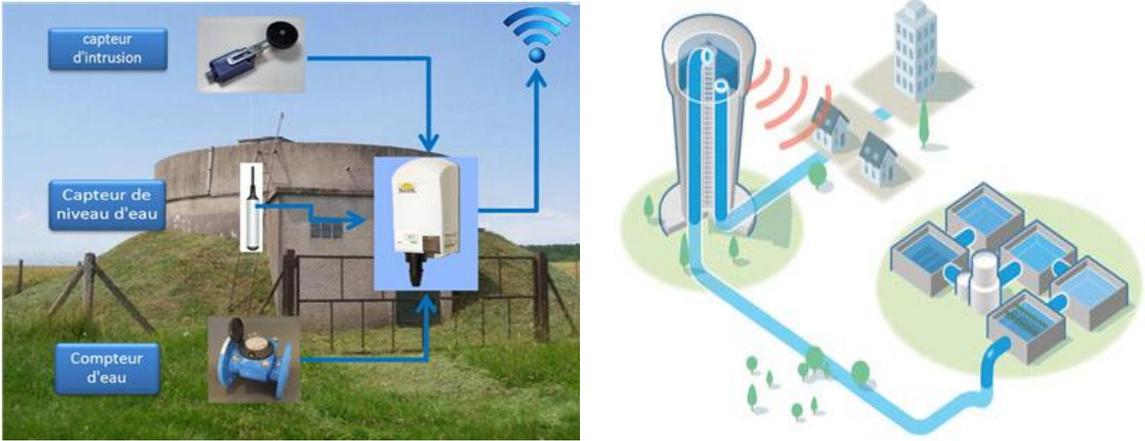
$$f = 0.104 .D$$

2.11 INSTALLATION DE SIGNALISATION ET DE COMMANDE A DISTANCE (TELECOMMANDE)

Les fonctions de la télécommande consistent à surveiller, à commander et à automatiser à distance des installations techniques réparties ou isolées. Les appareils gérés à distance sont nombreux : sonde de niveau, comptage des débits d'eau, pompes, alarmes contre les intrus, contrôle qualité, mesure de pression... L'électricité alimente tous ces appareils de mesure. L'ordinateur de chaque site communique les informations recueillies sur le terrain à un ordinateur central. La télécommande des réservoirs à distance nécessite un capteur d'intrusion, un capteur de niveau d'eau et un compteur d'eau.

Le capteur d'intrusion détecte toute présence indésirable au voisinage du réservoir alors que le capteur du niveau d'eau repère le dépassement du niveau normal de l'eau pour éviter les débordements donc les pertes importantes en eau potable. La figure 2.11 donne un aperçu simplifié sur la télécommande à distance des réservoirs d'eau potable.

a)



b)

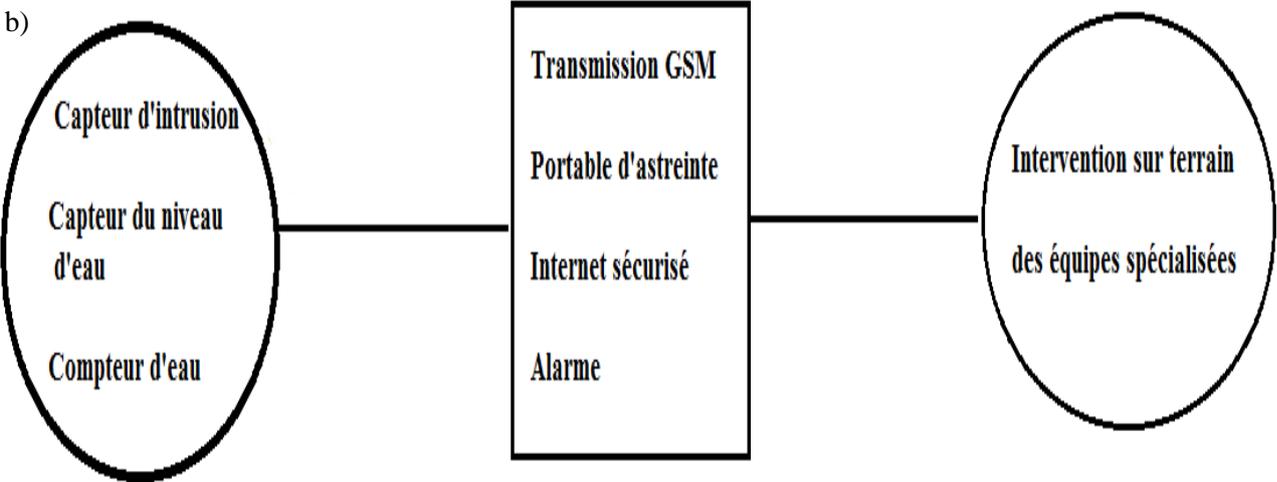


Figure 2. 11. Télécommande à distance des réservoirs d'eau potable (a) <https://www.lacroix-environnement.fr/reservoir-eau-potable>

Exemple de calcul du volume d'un réservoir de stockage

Le débit pompé correspond au débit journalier (total consommé) /24, le débit apporté est le cumul du débit pompé

Heures	Q, pompé (m3/h)	Q, consommé (m3/h)	Qapporté (pompé cumulé) (m3/h)	Qconsommé Cumulé (m3/h)	Déficit (m3/h)	Excès (m3/h)
0-1	203,695	29,971	203,6954	29,971		173,7244
1-2	203,695	29,971	407,3908	59,942		347,4488
2-3	203,695	29,971	611,0862	89,913		521,1732
3-4	203,695	29,971	814,7816	119,884		694,8976
4-5	203,695	59,942	1018,477	179,826		838,651
5-6	203,695	89,913	1222,1724	269,739		952,4334
6-7	203,695	156,957	1425,8678	426,6957		999,1721
7-8	203,695	201,913	1629,5632	628,6089		1000,954
8-9	203,695	427,709	1833,2586	1056,3183		776,9403
9-10	203,695	397,738	2036,954	1454,0567		582,8973
10-11	203,695	367,767	2240,6494	1821,8241		418,8253
11-12	203,695	397,738	2444,3448	2219,5625		224,7823
12-13	203,695	442,695	2648,0402	2662,2574	-14,217	
13-14	203,695	442,695	2851,7356	3104,9523	-253,22	
14-15	203,695	397,738	3055,431	3502,6907	-447,26	
15-16	203,695	367,767	3259,1264	3870,4581	-611,33	
16-17	203,695	156,957	3462,8218	4027,4148	-564,59	
17-18	203,695	201,913	3666,5172	4229,328	-562,81	
18-19	203,695	194,812	3870,2126	4424,1395	-553,93	
19-20	203,695	149,855	4073,908	4573,9945	-500,09	
20-21	203,695	134,87	4277,6034	4708,864	-431,26	
21-22	203,695	89,913	4481,2988	4798,777	-317,48	
22-23	203,695	59,942	4684,9942	4858,719	-173,72	
23-24	203,695	29,971	4888,6896	4888,69	-0,0004	
TOTAL	4888,69	4888,69			-611,33	1000,954

Calcul du volume réel du réservoir.

$$V_{\text{réel}} = | \text{Max } V_{\text{excès}} | + | \text{Max } V_{\text{déficit}} |$$

$$V_{\text{réel}} = | 1000,954 | + | -611,33 |$$

$$V_{\text{réel}} = 1612.27 \text{ m}^3$$

Calcul de la réserve pour l'incendie

$$V_{\text{incendie}} = 3.6 \cdot q_{\text{inc}} \cdot n_{\text{inc}} \cdot t$$

$$t = 2 \text{ h}$$

$$n = 1$$

$$q_{\text{INC}} = 10 \text{ l/s}$$

$$V_{\text{inc}} = 2 \cdot 1 \cdot 10 \cdot 3.6 = 72 \text{ m}^3$$

Calcul du volume total du réservoir

$$\text{Volume total du réservoir} = V_{\text{réel}} + V_{\text{INC}}$$

$$\text{Volume total du réservoir} = 1612.27 + 72 = 1684.27 \text{ m}^3$$

CHAPITRE 3.NATURE DES CANALISATIONS (SOUS PRESSION ET A ÉCOULEMENT GRAVITAIRE)

3.1 GENERALITES

Le transport de l'eau est appelé : Adduction d'eau potable qui peut être divisé en divers éléments :

- la source qui peut être un forage équipé d'un système de pompage (cas le plus fréquent), un cours d'eau naturel ou un plan d'eau
- un réseau de transport constitué de canalisations souvent enterrées, d'ouvrages d'arts (pont, siphon, canal) et d'un système automatisé ou non de vannes et de pompes.
- divers systèmes de stockage intermédiaires (réservoirs)
- un réseau terminal de distribution amenant l'eau aux consommateurs finaux ou à des points de distribution collectifs (pompes, fontaines ...etc.)

L'adduction peut être à surface libre ou en charge :

- La conduite est gravitaire à surface libre
- La conduite est gravitaire en charge
- la conduite non gravitaire en charge obéit au relief et en refoulement)

Le matériau de la tuyauterie dépend de plusieurs paramètres :

- Réseau de distribution
- Adduction : généralement en fonte, acier, béton , béton précontraint ...
- Ouvrages spéciaux

La tuyauterie doit résister à la pression et à une section circulaire et les matériaux utilisés sont la fonte, l'acier, le béton et les matières plastiques

3.2 LES TUYAUX EN FONTE

La fonte grise possède les caractéristiques suivantes:

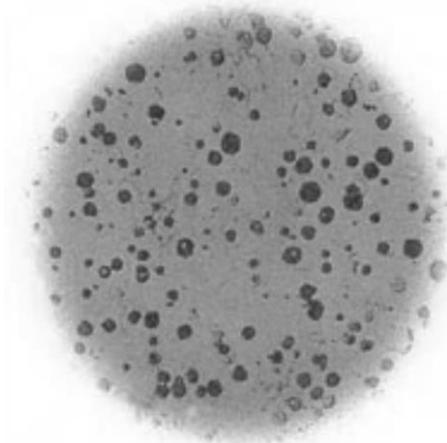
- résistance à la compression
- aptitude au moulage
- résistance à l'abrasion
- usinabilité
- résistance à la fatigue

- La fonte ductile a une structure différente de celle de la fonte grise et présente les caractéristiques complémentaires suivantes :
- haute limite élastique
- résistance à la traction
- résistance aux chocs
- allongement important



Dans la fonte grise, le carbone se présente sous forme de lamelles qui rendent ce matériau cassant.

Fonte grise



Dans la fonte ductile, les particules de graphite apparaissent comme de petites sphères qui éliminent tout risque de propagation des ruptures.

Elle est «ductile» et résistante

Fonte ductile

Figure 3. 1. Caractéristiques de la fonte grise et de la fonte ductile

Les canalisations en fonte ductile ont les caractéristiques suivantes:

- résistent aux chocs en cours de transport, de manutention et de pose
- Supportent la flexion (circulation, affaissement du terrain et contraintes exceptionnelles tels que les séismes)
- Supportent les fortes pressions
- Résistent à la corrosion
- Sont faciles à poser
- Longue durée de vie (de 50 à 100 ans)

Utilisation

- Traversée en siphon d'un oued

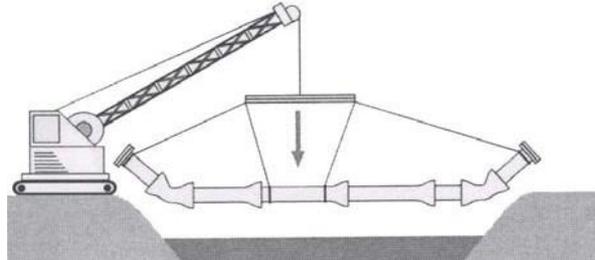


Figure 3. 2. Traversée en siphon d'un oued (Document technique – Environnement -Véolia)

- Milieu corrosif
- Les diamètres nominaux couramment utilisés sont les suivants: 80, 100, 150, 200, 300, 400, 500 et 600 mm.

3.3 LES TUYAUX EN ACIER

Les tuyaux à base d'acier peuvent être utilisés pour différents diamètres intérieurs dans diverses installations : réservoirs, stations de pompage, pour franchir des obstacles particuliers, tel que siphon, passage sur pont. Les tuyaux acier soudés sont adaptés pour un usage dans un sol pollué.

3.3.1 Caractéristiques des tuyaux en acier

Les caractéristiques suivantes sont énoncées :

- Application spécialement dans le cas des hautes pressions, $PN \geq 1,6$ MPa.
- Durée de vie : dépendante des conditions de fonctionnement, 15 ans en moyenne, pour l'acier galvanisé : 30 ans
- Les différents types d'acier sont : l'acier noir, l'acier galvanisé fabriqué selon la même norme. Grâce au revêtement anticorrosion, la galvanisation est plus durable que l'acier noir, le cuivre et l'inox ondulé.
- Prévoir une protection contre la corrosion
- Sur tronçons autoportés et dans les galeries, les tuyauteries d'acier sont soutenues ou appuyées sur des plots.

- En zones urbaines, aménageables, les tuyaux d'acier doivent être enrobés d'une couche de béton de section carrée de côté $\geq (D_{ext} + 50\text{cm})$ La couche protectrice en béton, renforcée d'acier sur les quatre côtés, est calculée pour résister aux charges roulantes et au poids et poussées des terres. Les tuyaux acier non revêtus extérieurement doivent être protégés par un système de protection cathodique.

3.3.2. Protection contre la corrosion

a- Définition

La corrosion est la destruction des métaux qui se produit sous l'effet des réactions chimiques ou électrochimiques lorsqu'ils sont en contact avec un milieu aqueux ou gazeux. C'est à dire lorsque le milieu est en contact avec un liquide.

La corrosion est donc caractérisée par un ensemble de réactions qui aboutissent à un équilibre au dépend du métal

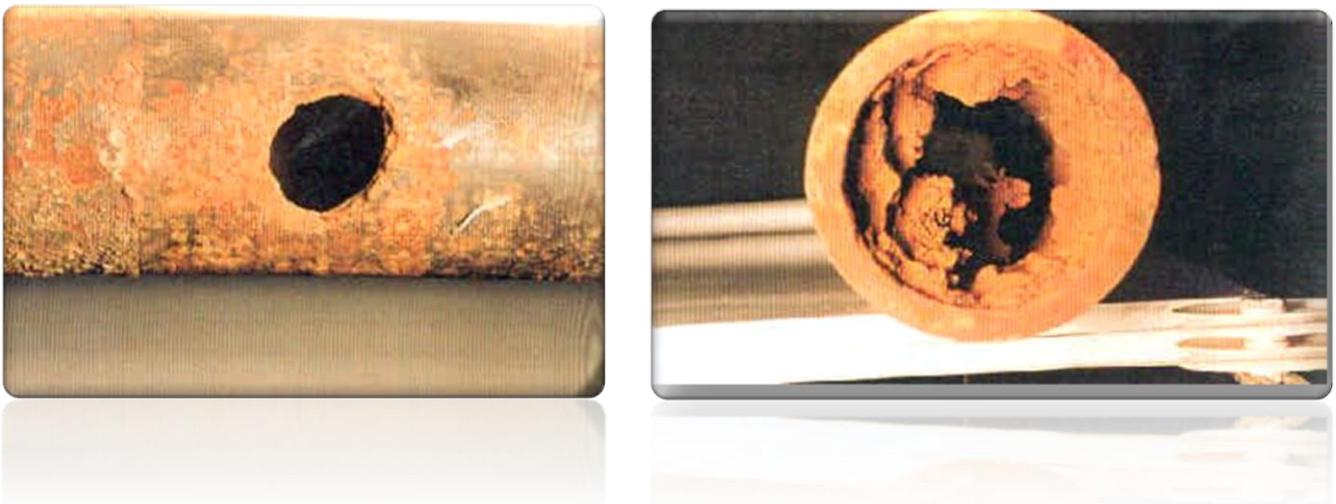


Figure 3. 3. Aspect morphologique de la corrosion conduisant à la perforation du métal

L'examen à l'œil nu, à la loupe ou au microscope permet d'identifier quatre (04) types de corrosion :

- *la corrosion uniforme* : c'est une corrosion qui se développe sur toute la surface du métal à une vitesse presque identique en tous ses points
- *la corrosion par piqûre et crevasse* : il s'agit d'une corrosion localisée ; certaines parties du métal restent inaltérées tandis qu'en certains de ces points, on observe une progression très rapide de la corrosion. Ce type de corrosion est dangereux, il peut aboutir à la perforation du métal.

- la corrosion intergranulaire : elle se caractérise par une dissolution préférentielle des joints de grains du métal conduisant à la décohésion de ce dernier
- la corrosion transgranulaire : ce type de corrosion est caractéristique des corrosions sans contraintes. Il se manifeste par la progression de fines fissures perpendiculaires aux contraintes principales de tension

3.3.3. Méthodes de protection contre la corrosion

A l'intérieur : on traite le milieu corrodant, l'eau en particulier pour diminuer des caractères de corrosivité. Ces traitements peuvent parfois conduire à substituer à un type de corrosion grave à un moins grave (par exemple la corrosion par piqûre devient la corrosion uniforme).

Dans ce cas, il s'agit d'une protection intérieure obtenue avec de la peinture bitumeuse. Il peut s'agir d'un revêtement actif tel que le mortier du ciment. Dans tous les cas, il faut veiller à ce que l'eau ne perde pas ses propriétés de potabilité

A l'extérieur : revêtement isolant fait par des bandes de tissu imprégné d'un produit bitumeux ou synthétique

Protection électrique : en reliant la conduite à une électrode d'un métal en zinc ou en magnésium

3.4 LES TUYAUX EN BETON

- On utilise les tuyaux en béton précontraint avec ou sans âme tôle (BPAT) dans des diamètres supérieur ou égal à 500 mm
- résistance mécanique, résistance à la pression et à la dépression;
- Pérennité
- Grande résistance à la corrosion, l'abrasion, et aux agents climatiques;

3.5 LES TUYAUX EN PLASTIQUES

3.5.1 Le Polychlorure de Vinyle. : PVC (en anglais PolyVinyl Chloride)

Le PVC est un matériau plastique avec un cout très bas et un des matériaux les plus utilisés en rotomoulage (moulage par rotation) pouvant être souple ou rigide, il permet de réaliser des poches souples tels que les flotteurs ou les articles de sport (ballon).

Application : diamètres variés, surtout inférieurs à 300 mm

- matériaux relativement sensibles aux variations de température,
- remblai a exécuté avec le plus grand soin
- Pour les vieux PVC : fuites fréquentes au niveau des joints collés.

Avantages :

- résiste à la corrosion,
- flexible, légèreté facilitant la pose et raccords faciles.

3.5.2 Le Polyéthylène : PE

C'est un plastique standard à faible cout. Il existe plusieurs types : PEHD (Polyéthylène haute densité), PEBD (Polyéthylène basse densité) et des copolymères. En Rotomoulage, il est l'une des matières les plus utilisées. Cette matière offre des caractéristiques intéressantes (légèreté, facilité de transformation, résistance chimique) notamment pour la fabrication de produits divers : conteneurs, cuves de stockage, mobilier urbain, mobilier design, bouées de balisage. Il est appliqué dans les réseaux enterrés d'adduction d'eau potable et branchements et présente les avantages suivants :

- Légèreté, facilité de mise en œuvre
- Qualité hydraulique maximale
- Etanchéité
- Tenue à la pression (50 ans)
- Inertie chimique dans des conditions normales d'utilisation
- Propriétés organoleptiques
- Le choix de la série du tube (PN) se fait en fonction de la pression maximale en service et des conditions d'utilisation

3.5.3 Le Polypropylène : PP

Le polypropylène est un plastique standard à faible cout possédant des performances mécaniques et thermiques supérieures au Polyéthylène. En rotomoulage il peut se retrouver dans le transport ou pour des applications d'infrastructures où par exemple une rigidité supérieure au PE est exigée.

3.6 LA MISE EN SERVICE

Avant la mise en service du réseau d'AEP, il faut procéder à des essais de pression et à la désinfection des tronçons

3.6.1. Essai de pression

Les essais de pression sont réalisés dans le but de déterminer d'éventuelles fuites dans la conduite mise en place.

3.6.2. Désinfection

La désinfection est réalisée dans les cas suivants :

- avant la mise en service du tronçon neuf
- après réparation ou travaux sur le réseau existant.

Pour cela, il faut procéder à la mise en charge du tronçon et fermer les vannes.

Produits utilisés généralement : eau de javel ou du HTH,

Temps de contact : 24 h

Procéder aux contrôles de qualité de l'eau

Pour la désinfection, il faut connaître le diamètre et la longueur de la conduite Exemple : Calculer le volume d'eau à désinfecter avant la mise en service d'un tronçon de 150 mètres de longueur et de 125 mm diamètre.

3.7 REPERAGE, PLANS D'EXECUTION ET SIGNALISATION

L'identification des conduites doit comprendre :

La nature, la section et le linéaire du tuyau

La cote des canalisations et de ses éléments (vannes, ventouses, etc...)

Les différents symboles identifiant toutes les pièces et ouvrages composant le réseau

Le repérage des conduites dépend du matériau utilisé :

- des canalisations métalliques
- des canalisations non métalliques
- La localisation de canalisation consiste à détecter une conduite souterraine sans creuser la terre

3.7.1. Plan d'exécution

1. Le plan d'exécution comprend le mode de réalisation des travaux d'alimentation en eau potable ou d'adduction de l'implantation des conduites (pose) jusqu'à la fermeture de la tranchée.
2. Levé topographique
3. POS : Plan d'occupation des sols, plan de masse pour localiser les ouvrages (constructions, routes, voie ferrée, pont...) existants
4. Rapport de conformité des travaux aux normes et à la réglementation,
5. Une tranchée de dimension adaptée au diamètre de la conduite
6. Veillez à la qualité des jonctions entre les éléments de conduite (les joints, les brides, les coudes...)
7. Profil des conduites

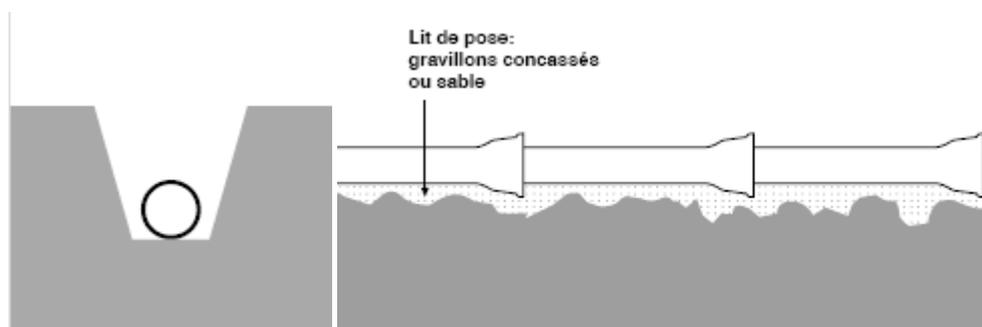


Figure 3. 4. Lit de pose et assemblage des conduites (Document technique Alcahyd)

3.7.2. Signalisation des tuyauteries.

Les systèmes de distribution d'eau potable appartiennent, au même titre que les autres réseaux techniques, à un environnement urbain dans lequel ils agissent et interagissent avec les autres réseaux. La signalisation des tuyauteries se fait à l'aide du grillage avertisseur qui :

- a. Signale la présence de canalisations enterrées. Il est posé dans la tranchée à une distance de 200 à 300 mm au dessus de la canalisation à signaler.

- b. Permet de prévenir de la présence d'un ouvrage enterré,
- c. Permet d'identifier la nature de l'ouvrage

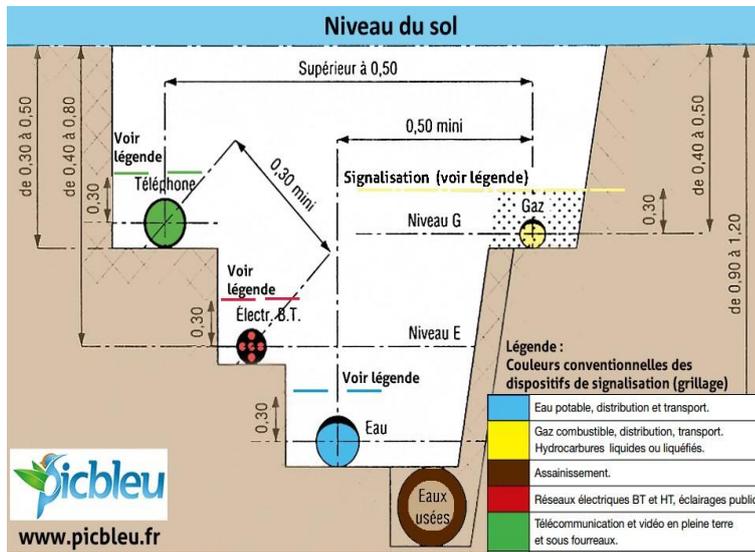


Figure 3. 5. Schéma de croisement des différents réseaux (www.picbleu.fr)

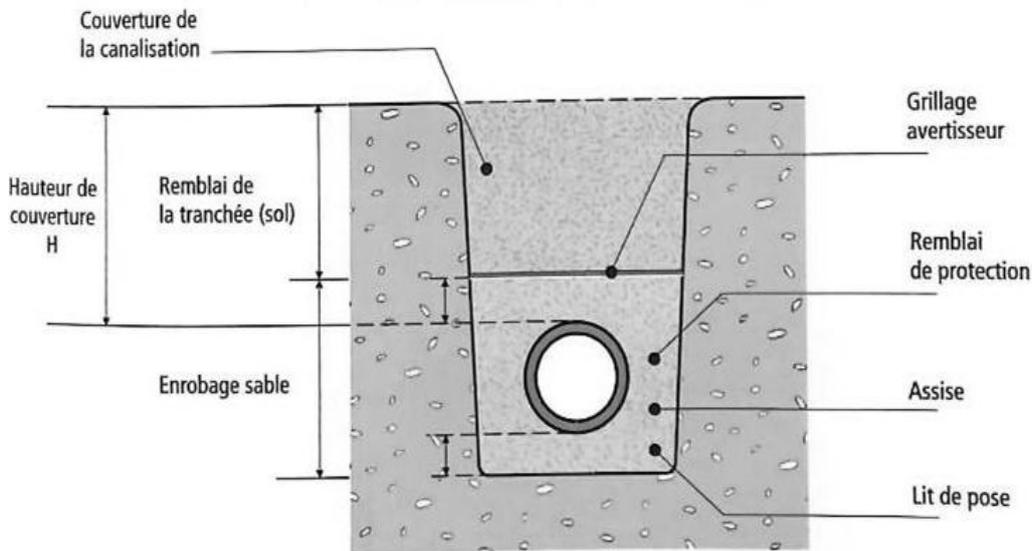


Figure 3. 6. Tube de PE posé en tranchée (Source : catalogue technique - Chiali)

Pour la pose des conduites, il faut tenir compte des points suivants :

- Les conduites sont posées sous trottoir ou chaussée
- Le remblaiement de la tranchée est effectué en grave naturelle
- Lorsque la voie n'est pas importante, une conduite unique dessert les abonnés situés de chaque côté. Dans le cas d'une rue importante, une canalisation est

posée sur chaque trottoir et les branchements sont plus courts et ne traversent pas la chaussée

- Dans les très grandes villes où existe un réseau d'égout visitable, la pose se fait sur des consoles scellées dans la maçonnerie en béton. Ainsi le réseau pourra être surveillé plus aisément et les fuites réparées.
- En profil en long, la conduite suivra le profil de la voie qu'elle dessert : prévoir des ventouses aux points hauts et des robinets de vidanges aux points bas
- Respecter les distances : entre conduites d'eau et conduite de gaz : 0.5 mètre
entre conduite d'eau et conduite d'électricité : 0.2 m

3.8 LES PERTES DE CHARGES

On distingue les pertes de charges singulières et les pertes de charge linéaires

3.8.1 Les pertes de charges linéaires

Ces pertes de charges dépendent de la longueur, elles sont dues aux frottements des particules entre elles et des frottements des particules entre les parois.

Elles sont déterminées à partir des tableaux de Colebrook et sont sous la forme suivante :

$$J = \lambda \cdot \frac{L \cdot V^2}{D \cdot 2g}$$

3.8.2 Les pertes de charge singulières

Ces pertes de charges singulières sont dues aux singularités telles que les coudes, les vannes, les clapets et les branchements. En régime turbulent, les pertes de charges singulières exprimées en hauteur d'eau sont proportionnelles au carré de la vitesse d'approche de l'eau

$$\Delta H = K \cdot \frac{V^2}{2g}$$

K : est appelé coefficient des pertes de charges singulières

V : vitesse moyenne caractéristique de la singularité

Des formulaires et tableaux donnent des valeurs du coefficient des pertes de charges singulières pour un certain nombre de singularité

Les pertes de charges (P.D.C) totales sont sous la forme suivante :

$$\text{P.D.C totales} = \text{P.D.C linéaires} + \text{P.D.C singulières}$$

P.D.C singulières \approx 10 à 20 % des P.D.C linéaires

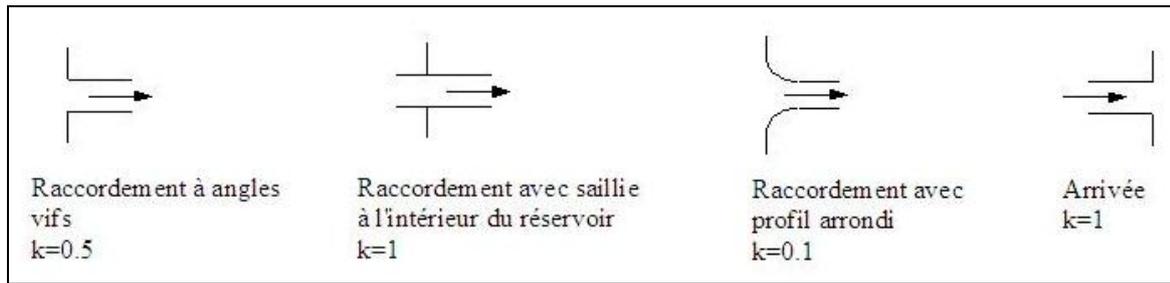


Figure 3. 7. Raccordement d'une conduite à un réservoir

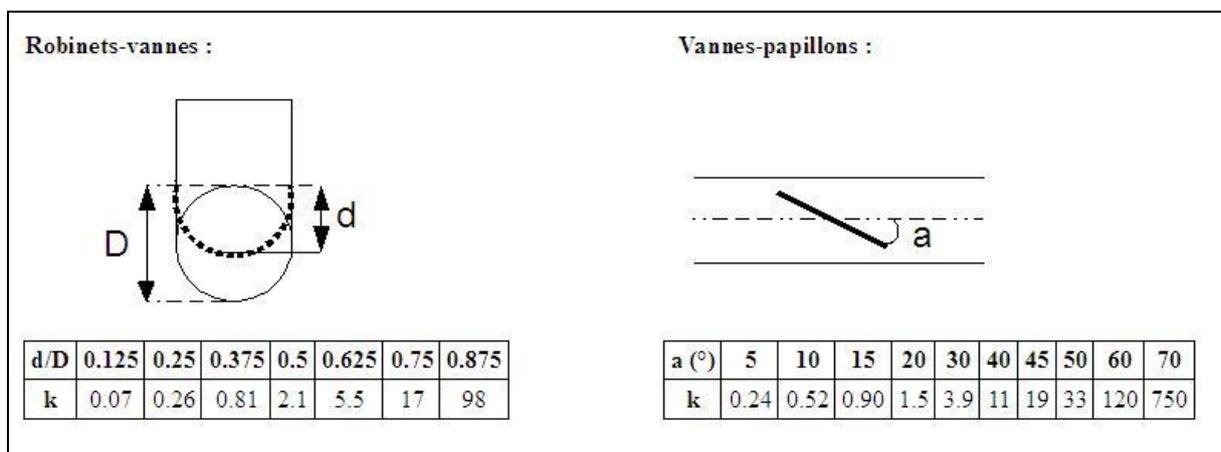


Figure 3. 8. Pertes de charge, cas des robinets-vannes et vannes-papillons
http://www.microbarrage.fr/outils_hydraulique

3.9 DIAMETRE OPTIMALE DE LA CONDUITE

Le choix du diamètre doit tenir compte de l'investissement (dépenses initiales) ainsi que des dépenses d'exploitation

Si on adopte un grand diamètre, l'investissement sera élevé mais les dépenses d'exploitation faibles

Si on prend un faible diamètre, le contraire sera observé, l'investissement sera élevé mais les dépenses d'exploitation seront faibles. Le choix, du diamètre est un compromis entre les dépenses de fonctionnement et d'investissements. Ce compromis dépend du prix de la fourniture et des critères financiers

Première approche.

En première approximation, le diamètre économique est donné par les relations de Bresse et Bonin

Formule de Bresse:

$$D = K\sqrt{Q} \qquad K = 1.5 \text{ (m/s)}^{-1/2}$$

Formule de Bonin :

$$D = K\sqrt{Q} \qquad K = 1.0 \text{ (m/s)}^{-1/2}$$

D : diamètre de la conduite en (m)

Q : débit de pompage en (m³/s)

Deuxième approche

Formule de Vibert pour les tuyaux en fonte

$$D = A (e/f)^{0.154} \cdot Q^{0.46}$$

e : prix du kilowatt heure (kWh) utilisé pour le pompage

f : prix du kilogramme de fonte

A = 1.547 pour un pompage de 24 heures par jour (24/24)

A = 1.35 pour un pompage de 10 heures par jour (10/24)

Les abaques de Vibert donnent le diamètre économique pour un nombre quelconque d'heures de pompage et pour une marge étendue de prix de l'énergie et du matériau

$$D = 1.547 (n.e/f)^{0.154} \cdot Q^{0.46}$$

n : temps de fonctionnement journalier de la pompe en heures divisé par 24

3.10 COUP DE BELIER

3.10.1 Description du coup de bélier

Lorsque le régime d'écoulement dans une conduite en charge est modifié, il se produit une variation de pression et de débit à l'intérieur de la conduite. Cette modification se propage vers l'amont, comme vers l'aval sous forme d'une onde (de pression ou de débit) qui se déplace avec une vitesse appelée la célérité.

L'onde se réfléchit sur les obstacles et en particulier sur les extrémités de la conduite. La célérité est donnée par la formule d'Allievi :

$$a = \sqrt{\varepsilon/\rho} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\varepsilon}{E}\right) \cdot \left(\frac{D}{e}\right)}}$$

La formule devient pour le cas de l'eau :

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48.3 + K \cdot \frac{D}{e}}} \quad m/s$$

ε : coefficient de compressibilité

K : coefficient caractérisant le matériau

K = 0.5 pour l'acier

K = 1 pour la fonte

K = 4.4 pour l'amiante-ciment

K = 5 pour le béton

ρ : masse volumique de l'eau

E : module d'élasticité de la conduite

D : diamètre de la conduite

e : épaisseur de la conduite

Dans les conduites industrielles, l'ordre de grandeur de la célérité a est le km/s

Dans les conditions d'arrêt brusque, l'eau coule à une vitesse de 2 m/s provoque un choc de 20 bars

L'interprétation énergétique du coup de bélier se fait comme suit :

La masse liquide arrive avec une énergie cinétique $E_c = (1/2) m \cdot v^2$

La vanne est brusquement fermée, l'eau étant incompressible, elle ne se déforme pas donc c'est la conduite qui se déforme en transformant l'énergie cinétique en énergie potentielle de déformation $E_p = m \cdot g \cdot h$

La célérité varie entre 700 et 1500 m/s

Pour la fonte, la célérité peut atteindre 1400 m/s

Pour le PVC, la célérité peut atteindre 400 à 500 m/s

Pour l'acier, la célérité peut atteindre 1100 à 1200 m/s

Plus la pression de service est élevée, et plus la célérité est forte (puisque l'épaisseur est plus élevée)

Lors de la fermeture à une extrémité d'une conduite de longueur L, l'onde émise met pour atteindre l'autre extrémité un temps :

$$\tau = L / a$$

Lorsqu'elle revient à son origine, elle l'atteint au bout de 2τ

Une fermeture est considérée comme rapide si elle se produit en un temps $T \leq 2\tau \rightarrow T \leq 2L/a$

Une fermeture est considérée comme lente si elle se produit en un temps $T > 2\tau \rightarrow T > 2L/a$

3.10.2 Calcul de la valeur du coup de bélier

La surpression produite par une fermeture rapide ne dépend pas du temps de fermeture, elle a pour valeur :

$$\Delta P = \rho \cdot a \cdot V_0$$

Avec :

ρ : masse volumique de l'eau

a : célérité

V_0 : vitesse moyenne d'écoulement avant la fermeture

En exprimant la valeur de la surpression en valeur de hauteur d'eau, on obtient :

$$\Delta H = \frac{\Delta P}{\rho \cdot g} = \frac{a \cdot V_0}{g}$$

Au contraire, la surpression due à une fermeture lente est inversement proportionnelle au temps mis pour fermer la vanne. Elle est donnée par la formule de Michaud :

$$\Delta P = \frac{2\rho \cdot L \cdot V_0}{T}$$

$$\Delta H = \frac{2L \cdot V_0}{g \cdot T}$$

Tableau III.1 : les paramètres de calculs du coup de bélier

Paramètres	Fermeture rapide	Fermeture lente
Temps (T)	$T \leq 2L/a$	$T > 2L/a$
Surpression (ΔP)	$\Delta P = \rho \cdot a \cdot V_0$	$\Delta P = \frac{2\rho \cdot L \cdot V_0}{T}$
Hauteur d'eau (ΔH)	$\Delta H = \frac{\Delta P}{\rho \cdot g} = \frac{a \cdot V_0}{g}$	$\Delta H = \frac{2L \cdot V_0}{g \cdot T}$

Si la fermeture est partielle faisant varier la vitesse de V_0 à V_1 , la surpression est égale à :

- Fermeture partielle et rapide :

$$\Delta P = \rho \cdot a (V_0 - V_1)$$

En exprimant la valeur de la surpression en valeur de hauteur d'eau, on obtient :

$$\Delta H = \frac{\Delta P}{\rho \cdot g} = \frac{a \cdot (V_0 - V_1)}{g}$$

- Fermeture partielle lente

$$\Delta P = \frac{2\rho \cdot L(V_0 - V_1)}{T}$$

$$\Delta H = \frac{2L(V_0 - V_1)}{g \cdot T}$$

Application 1

Soit une adduction en acier ayant les caractéristiques suivantes :

$$L = 7500 \text{ m}$$

$$D = 250 \text{ mm}$$

$$V_0 = 0.65 \text{ m/s}$$

$$e = 5 \text{ mm}$$

$$K = 0.5$$

- 1/ Calculez la célérité
- 2/ Déterminez le temps de fermeture
- 3/ Calculez la surpression en cas de fermeture rapide
- 4/ Calculez la hauteur d'eau

Solution 1

1/ Calcul de la célérité a :

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48.3 + K \cdot \frac{D}{e}}} \quad m/s$$

$$a = 1156.3338 \text{ m/s}$$

$$a = 1.16 \text{ km/s}$$

2/ Détermination du temps de fermeture

$$\tau = L/a$$

$$\tau = 6.48 \text{ s}$$

$$\text{D'où } 2\tau = 12.97 \text{ s}$$

Une fermeture est rapide si elle se produit en un temps $T \leq 2\tau \rightarrow T \leq 12.97 \text{ s}$

Une fermeture est lente si elle se produit en un temps $T > 2\tau \rightarrow T > 12.97 \text{ s}$

3/ Calcul de la surpression

$$\Delta P = \frac{2\rho \cdot L \cdot V_0}{T} = 751434.77 \text{ Pa}$$

4/ Calcul de la hauteur d'eau

$$\Delta H = \frac{2L \cdot V_0}{g \cdot T} = 76.62 \text{ m}$$

Application 2

Soit une adduction en acier allant d'un forage à une bache d'eau ayant les caractéristiques suivantes :

$$L = 450 \text{ m}$$

$$D = 125 \text{ mm}$$

$$V_0 = 0.82 \text{ m/s}$$

$$e = 4 \text{ mm}$$

$$K = 0.5$$

1/ Calculez la célérité

2/ Calculez le temps pour éviter une surpression supérieure à 20 mètres

Solution 2

1/ Calcul de la célérité a en m/s :

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48.3 + \frac{K.D}{e}}}$$

$$a = 1238.2257 \text{ m/s}$$

$$a = 1.24 \text{ km/s}$$

2/ Détermination du temps de fermeture pour éviter une surpression supérieure à 20 m

On recherche la relation où la surpression dépend du temps, et c'est celle de la fermeture lente

$$\Delta H = \frac{2L.V_0}{g.T}$$

D'où

$$T = \frac{2L.V_0}{g.\Delta H} = 3.76 \text{ s}$$

Donc pour éviter une surpression supérieure à 20 m, il faudrait un temps $T \geq 3.76 \text{ s}$

3.10.3 Principales causes et conséquences du coup de bélier

Le coup de bélier est caractérisé par des surpressions et des dépressions qui peuvent avoir de grands écarts avec les pressions de service

Les principales causes du coup de bélier sont :

- fermeture instantanée ou trop rapide d'une vanne, placée au bout de la conduite et sur une branche longue où la vitesse est importante
- arrêt brutal d'un ou de plusieurs groupes électropompe qui alimentent une conduite
- démarrage d'un groupe électropompe

Les principales conséquences du coup de bélier sont :

- détérioration des conduites par implosion (écrasement) avec les dépressions ou par explosion (éclatement) avec la surpression.
- déboîtement des conduites
- détérioration des joints
- Endommagement des pompes et de ses accessoires

3.10.4 Analyse physique du coup de bélier

Considérons le cas d'un arrêt brutal d'un groupe électropompe alimentant la canalisation de refoulement

Les différentes figures représentent sept (07) phases :

Phase 1 : à l'arrêt brutal de la pompe, la conduite n'étant plus alimentée en eau, on remarque une dépression dans le point d'origine qui se propage du départ jusqu'à l'extrémité de la conduite à la vitesse a , appelée vitesse de propagation de l'onde ou célérité. Cette onde laisse derrière elle une partie du tuyau qui se resserre

Phase 2 : au moment où l'onde arrive à l'extrémité, la dépression règne dans toute la conduite, mais cet état n'est pas un état d'équilibre

Phase 3 : sous l'action du vide causé par la dépression et la gravité, les particules d'eau se précipitent vers l'origine

Phase 4 : la vitesse des particules liquides vient buter l'obstacle, et son énergie cinétique se transforme en travail de déformation qui se répercute sur le tuyau et les organes de front

Phase 5 : les parois du tuyau s'allongent et l'eau se dirige vers le réservoir

Phase 6 : l'eau revient en arrière et retourne vers l'origine avec une vitesse a

Phase 7 : le coup de bélier s'est amorti, la canalisation a été soumise à des dépressions et à des surpressions suivies qui vont influencer sur sa durée de vie

Selon l'intensité de la célérité, on peut enregistrer plusieurs fois des coups de bélier

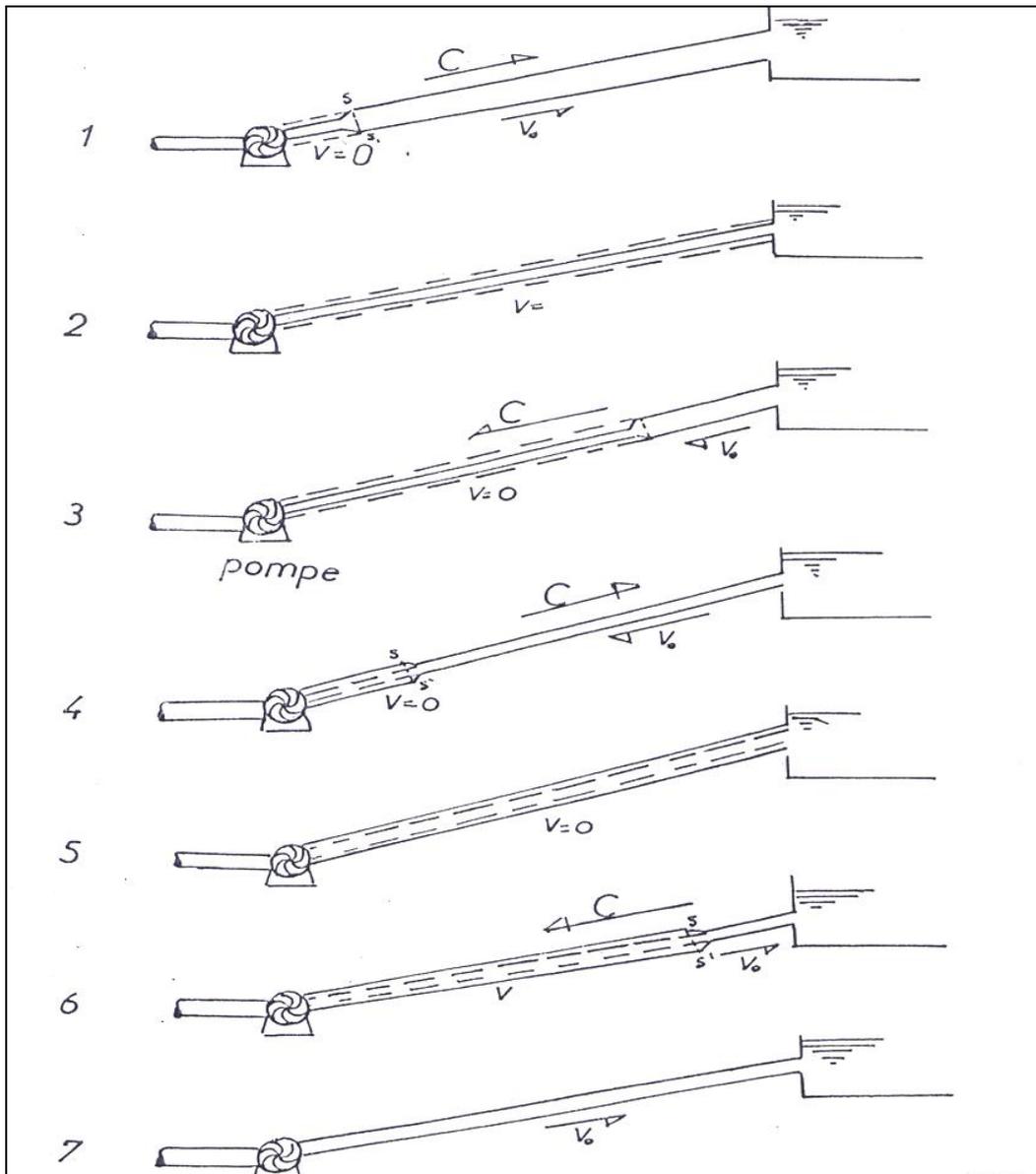


Figure 3. 9 Divers moments du phénomène du coup de bélier

3.10.5 Méthodes de protection contre le coup de bélier

Le coup de bélier est nuisible pour les conduites. Le coup de bélier engendre des surpressions et des dépressions

- la surpression implique la dilatation du tuyau qui peut provoquer l'explosion de ce dernier

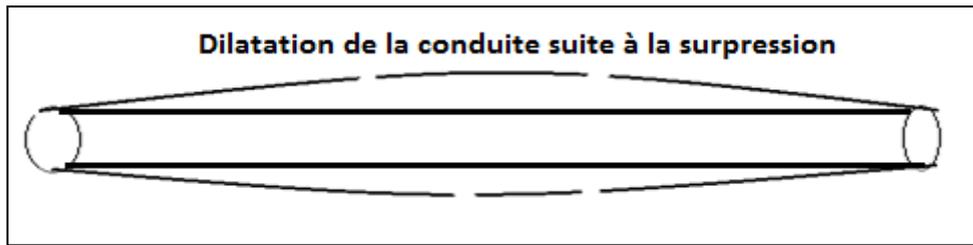


Figure 3. 10. Etat de la conduite lors de la surpression

- la dépression implique la compression du tuyau qui peut provoquer l'implosion de ce dernier.

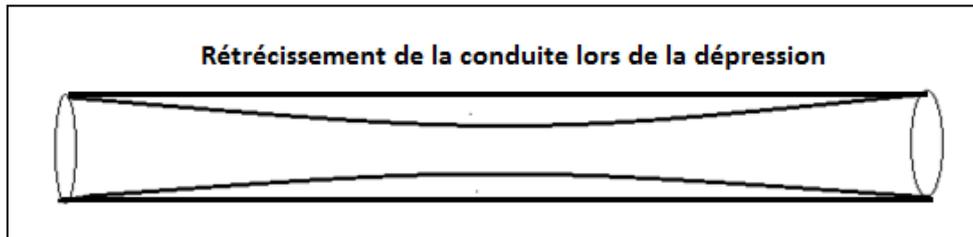


Figure 3. 11. Etat de la conduite lors de la dépression

On envisage par la suite des protections contre la surpression et contre la dépression

3.10.5.1 Protection contre la surpression : la soupape de décharge

C'est un appareil qui évacue un débit nécessaire en cas de surpression, il s'ouvre automatiquement et laisse passer un certain débit.

Cette soupape exige une surveillance et un entretien suivis. En cas de mauvais fonctionnement, la conduite n'est pas protégée des problèmes du coup de bélier.

Inconvénient : implique des pertes en volume d'eau importante

3.10.5.2 Protection contre la dépression : le volant d'inertie

C'est un organe qui ralentit progressivement la marche de la pompe en cas de panne électrique du moteur

Cet organe intervient dans la protection contre la dépression qui est due à l'arrêt instantané de la pompe (pompe de courant électrique ou panne du moteur).

Le volant d'inertie permet d'allonger le temps d'arrêt du moteur et par la suite, il diminue

L'intensité du coup de bélier en phase de dépression

Inconvénient la pompe démarre avec difficulté

3.10.5.3 Protections communes à la dépression et à la surpression

a- La cheminée d'équilibre

La cheminée d'équilibre permet de maintenir la pression peut variable en un point de la conduite.

Le réservoir absorbe l'eau en cas de la surpression pour effacer une onde positive et fournit l'eau lors de la dépression pour effacer une onde négative

Volume mis en œuvre : $S.L.V_0^2 / 2g.\Delta H$

S : section de la conduite

L : longueur de la conduite

La cheminée d'équilibre est une solution contre le coup de bélier proposée sur les installations de fort débit.

b- Le réservoir d'air : réservoir anti-bélier

C'est le dispositif le plus couramment utilisé pour la protection des stations de pompage et canalisations

1- Principe de fonctionnement du réservoir

Comme le démontre le schéma :

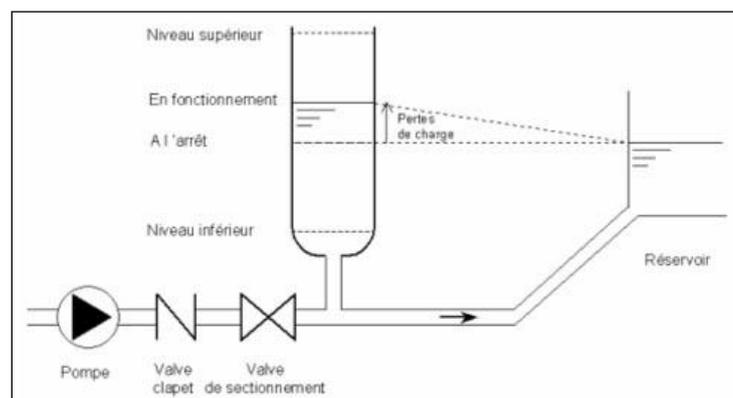


Figure 3. 12. Schéma d'un réservoir anti-bélier (site web : www.si.ens.cachan.fr)

- la vanne est ouverte, l'eau circule à son débit dans la canalisation, les pressions dans le réservoir et la conduite sont équilibrées
- la pompe s'arrête, il se produit une dépression dans la canalisation, la pression diminue et la pression dans le réservoir refoule instantanément

- l'onde de choc de retour referme le clapet anti-retour et pénètre dans le réservoir jusqu'à ce que les pressions dans la conduite et le réservoir soient rétablies

2- Calcul approché du volume d'air dans le réservoir

On néglige :

L'élasticité de la conduite et la compressibilité de l'eau

Pas d'organe d'étranglement

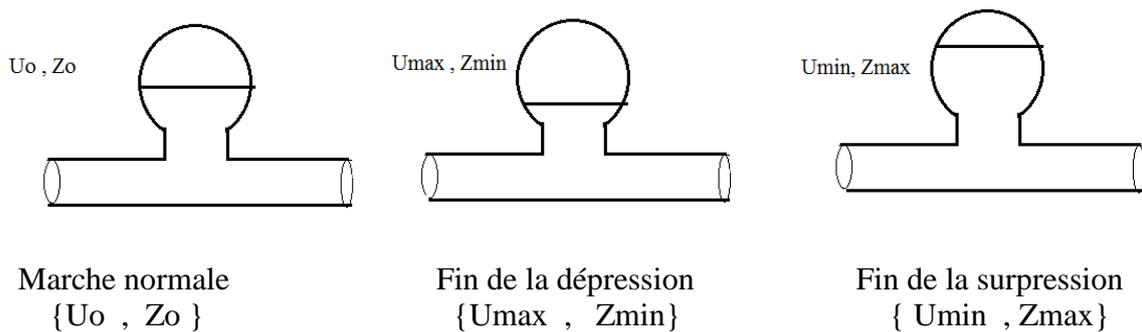


Figure 3. 13 Réservoir anti-bélier

Marche normale :

U_o : volume d'air dans le réservoir lors de la marche normale en m^3

Z_o : pression initiale dans la conduite correspond à la hauteur de refoulement (H) en m d'eau

$$Z_o = H_r + P_{atm}$$

Dépression :

U_{max} : volume d'air maximal utile dans le réservoir lors de la dépression en m^3

Z_{min} : pression minimale dans la conduite en m d'eau

Surpression :

U_{min} : volume d'air minimal dans le réservoir lors de la surpression en m^3

Z_{max} : pression maximale dans la conduite en m d'eau

$$Z_{max} = Z + P_{atm}$$

Tel que P_{atm} c'est la pression atmosphérique = 10 m d'eau

Z_c c'est la pression imposée à ne pas dépasser dans la conduite

Le volume d'air U_o (m^3) contenu dans le réservoir est donné par A.Vibert :

$$U_o = \frac{V_o^2 \cdot L \cdot S}{2g \cdot Z_o \cdot f\left(\frac{Z}{Z_o}\right)}$$

Avec :

V_o : vitesse moyenne d'écoulement en m/s

L : longueur de la conduite en m

S : section de la conduite en m^2

$f(Z/Z_o)$, Z , Z_{min} et Z_{max} sont déterminées à partir de l'abaque de Vibert

$$f(Z/Z_o) = [Z_o/Z_{min} - 1 - \ln Z_o/Z_{min}]$$

Le calcul de U_o est donné par les abaques de Vibert :

$$U_o = \frac{V_o^2 \cdot L \cdot S}{2g \cdot Z_o \cdot f\left(\frac{Z}{Z_o}\right)}$$

D'où :

$$\frac{U_o}{L \cdot S} = \frac{V_o^2}{2g \cdot Z_o \cdot f\left(\frac{Z}{Z_o}\right)}$$

On pose :

$$h_o = \frac{V_o^2}{2g}$$

On obtient :

$$\frac{U_o}{L \cdot S} = \frac{h_o}{Z_o \cdot f\left(\frac{Z}{Z_o}\right)}$$

Les abaques de Vibert donnent $U_0 / (L.S)$ en fonction de h_0

Les valeurs de $U_0 / (L.S)$, h_0 / Z_0 et $f (Z / Z_0)$ sont lues sur des échelles présentées sur les axes parallèles

Z_{max} est donnée par la formule de la surpression :

$$Z_{max} = \Delta P + P_{atm}$$

$$Z_{max} = a.V_0 / g + 10$$

Cette valeur représente le maximum du coup de bélier, connaissant Z_0 on fait le rapport

→ Z_{max} / Z_0 et on calcule h_0

Les alignements des valeurs de Z_{min} / Z_0 et h_0 / Z_0 sur les échelles respectives donnent les valeurs de $U_0 / (L.S)$ et de Z_{min} / Z_0 d'où → U_0 et Z_{min}

L'équation d'état $P.V = \text{constante}$ nous permet de faire l'égalité suivante :

$$U_0 . Z_0 = U_{max} . Z_{min} \rightarrow U_{max}$$

Afin qu'il reste de l'eau dans le réservoir même quand U aura atteint la valeur maximale, le volume du réservoir est calculé pour une capacité supérieure au volume maximal U_{max}

La valeur de Z_{min} / Z_0 permet de calculer la valeur de la dépression :

La pression restante dans le réseau $P_r = Z_r = Z_{min} - 10$

La dépression avec protection sera donc $H_{dpr} = H_r - (Z_{min} - 10)$

$$H_{dpr} = H_r - P_r$$

Si $H_{dpr} > 0$ pas de cavitation

Si $H_{dpr} < 0$ il y'a cavitation

ABAQUE DE M. VIBERT

POUR LE CALCUL SIMPLIFIÉ
DES RÉSERVOIRS D'AIR

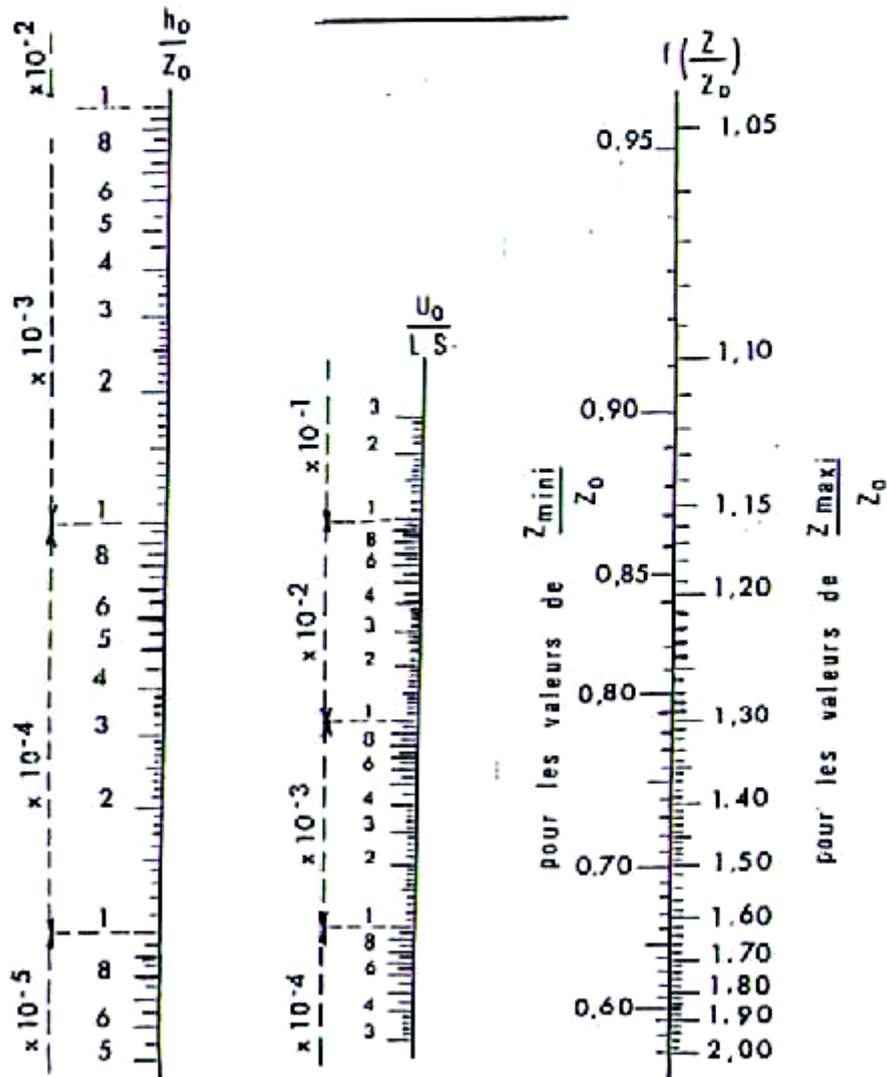


PLANCHE XXVII.

Exemple sur le réservoir anti-bélier

Soit une adduction en acier allant d'un forage à une bache d'eau ayant les caractéristiques

suivantes: $D = 125\text{mm}$ $Q = 11.35\text{ l/s}$ $H_r = 74\text{m}$ $L = 660\text{ m}$

$e = 4\text{mm}$ $K = 0.5$ $g = 9.81\text{ m/s}^2$

Calculer les paramètres du réservoir d'air (U_0, U_{\max} )

Solution :

1. Calcul de Z_0

$$Z_0 = H_r + P_{\text{atm}}$$

$$Z_0 = 74 + 10 = 84\text{ m}$$

2. Calcul de Z_{\max}

$$Z_{\max} = a \cdot V_0 / g + 10$$

$$Z_{\max} = 1238.23 \times 0.925 / 9.81 + 10 = 126.75\text{ m}$$

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48.3 + \frac{K \cdot D}{e}}} \quad a = 1238.23\text{ m/s}$$

$$\text{Calcul de } V_0 : V_0 = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{\pi \cdot D^2 / 4} = \frac{0.01135}{3.14 \times 0.125^2 / 4} \quad V_0 = 0.925\text{ m/s}$$

3. Calcul des valeurs de surpression (H_{sur}) et de la dépression (H_{dep}) :

$$H_{\text{sur}} = H_r + a \cdot V_0 / g = 84 + 116.75 = 200.75\text{ m}$$

$$H_{\text{dep}} = H_r - a \cdot V_0 / g = 84 - 116.75 = -32.75\text{ m}$$

4. Calcul des paramètres d'entrée de l'abaque de Vibert :

a. Calcul du rapport de Z_{\max} / Z_0

$$\frac{Z_{\max}}{Z_0} = \frac{126.75}{84} = 1.51$$

b. Calcul du rapport de : h_0 / Z_0

$$h_0 = \frac{V_0^2}{2g} = \frac{0.925^2}{2 \times 9.81} \quad h_0 = 0.0431\text{ m}$$

$$\frac{h_0}{Z_0} = \frac{0.0431}{84} = 5.19 \cdot 10^{-4}$$

5. Lecture de l'abaque de Vibert

$$\frac{Z_{\max}}{Z_0} = \frac{126.75}{84} = 1.51 \quad \text{et} \quad \frac{h_0}{Z_0} = \frac{0.0431}{84} = 5.19 \cdot 10^{-4}$$

ABAQUE DE M. VIBERT

POUR LE CALCUL SIMPLIFIÉ
DES RÉSERVOIRS D'AIR

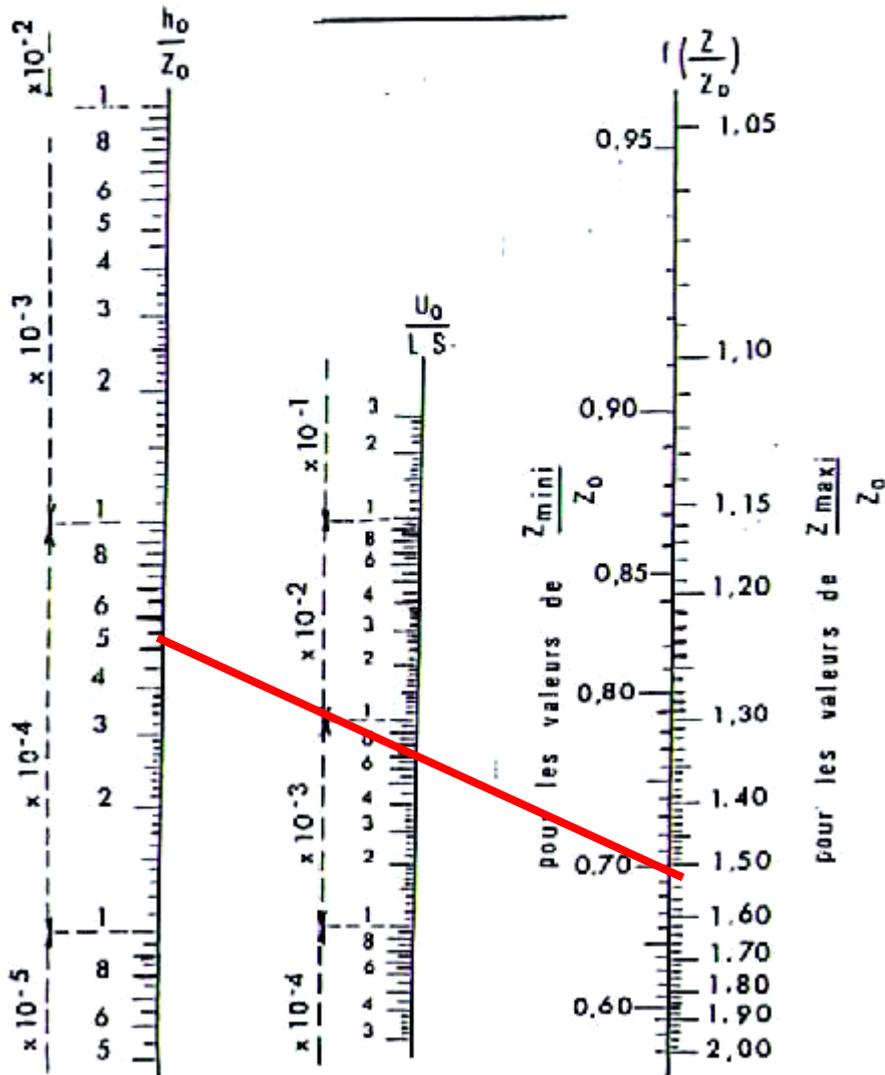


PLANCHE XXVII.

La lecture sur l'abaque de Vibert donne les lectures suivantes :

$$\frac{Z_{min}}{Z_0} = 0.69 \quad \text{et} \quad \frac{U_0}{L.S.} = 6.10^{-3}$$

6. Calcul de Z_{min} et U_o

$$\frac{Z_{min}}{Z_o} = 0.69 \rightarrow Z_{min} = Z_o \times 0.69 = 84 \times 0.69 = 57.96 \text{ m}$$

$$\frac{U_o}{L.S} = 6.10^{-3} \rightarrow U_o = L \times S \times 6.10^{-3} = 660 \times \left(\frac{3.14 \times 0.125^2}{4} \right) \times 6.10^{-3} = 0.4857 \text{ m}^3$$

7. Calcul de U_{max} et U_{min}

$$U_o \cdot Z_o = U_{max} \cdot Z_{min} \rightarrow U_{max} = U_o \cdot Z_o / Z_{min}$$

$$U_{max} = 0.4857 \times 84 / 57.96 = 0.7039 \text{ m}^3$$

$$\text{Calcul de } U_{min} \rightarrow U_{min} = U_o \cdot Z_o / Z_{max}$$

$$U_{min} = 0.4857 \times 84 / 126.75 = 0.3219 \text{ m}^3$$

8. Calcul de la valeur de la dépression avec protection

La pression restante dans le réseau $Pr = Z_r = Z_{min} - 10 = 57.96 - 10 = 47.96 \text{ m}$

La dépression avec protection sera donc $H'_{dpr} = H_r - (Z_{min} - 10)$

$$H'_{dpr} = 84 - 47.96 = 36.04 \text{ m}$$

Sans protection : $H_{dep} = -32.75 \text{ m}$

Avec protection : $H'_{dpr} = 36.04 \text{ m}$

$H_{dpr} = 36.04 \text{ m} > 0$ pas de cavitation

CHAPITRE 4. RESEAUX DE DISTRIBUTION DES EAUX

4.1 GENERALITES

Le réseau d'eau potable est un ensemble d'installations hydrauliques qui permet de véhiculer l'eau potable depuis le réservoir jusqu'aux abonnés. Cet ensemble peut comporter :

- Réservoir(s)
- Conduites de différents diamètres et natures
- Accessoires et pièces spéciales (statiques ou dynamiques) : Vannes, Té; Coudes, Cônes de réduction, ventouses ... etc
- Branchements etc
- Ouvrages annexes (regards, bouches à clé etc...)

Lors de la conception d'un réseau, il est important d'identifier et prendre en compte les situations les plus critiques afin que le réseau dans de telles situations se comporte de façon satisfaisante. On peut citer les situations suivantes :

- Consommation de pointe horaire
- Consommation journalière maximale durant un ou plusieurs incendies
- Consommation journalière maximale en cas de casse d'une conduite secondaire ou principale
- Situations particulières

On s'assure ainsi qu'un réservoir d'équilibre peut être rempli durant la période prévue à cette fin, notamment la nuit, lorsque la consommation est minimale, etc....

Un réseau de distribution véhicule de l'eau à partir d'un réservoir en vue de l'alimentation des abonnés

Les canalisations doivent présenter un diamètre suffisant de façon à assurer le débit maximal avec une pression au sol comparable avec la hauteur des immeubles. Les canalisations sont calculées avec le débit de pointe.

La conception d'un réseau d'alimentation en eau potable passe par plusieurs phases comme montré dans la figure 4.1. Les réseaux doivent satisfaire les conditions suivantes :

- assurer l'amenée de l'eau dans tous les points du réseau pour tous les consommateurs avec une pression et un débit suffisant

- les conduites doivent faire passer les plus grands débits par rapport au débit de ce point
- les réseaux doivent assurer l'amenée de l'eau constamment
- les prix des ouvrages d'A.E.P doivent être minimaux

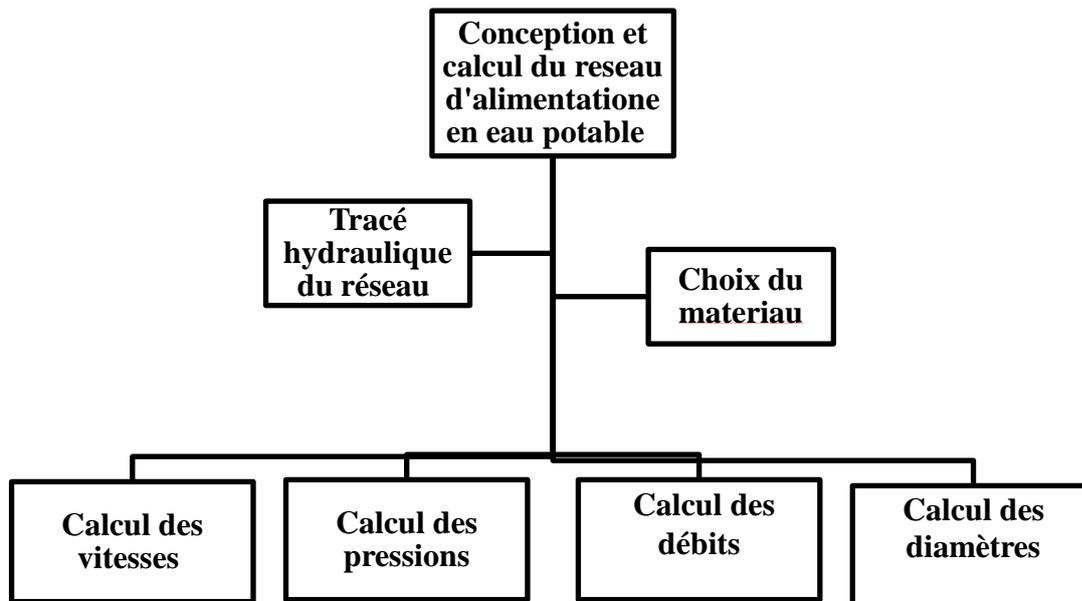


Figure 4. 1. Dimensionnement d'un réseau d'alimentation en eau potable

4.2 TYPE DE RESEAU.

On distingue principalement le réseau ramifié, le réseau maillé et le réseau étagée.

4.2.1 Le réseau ramifié

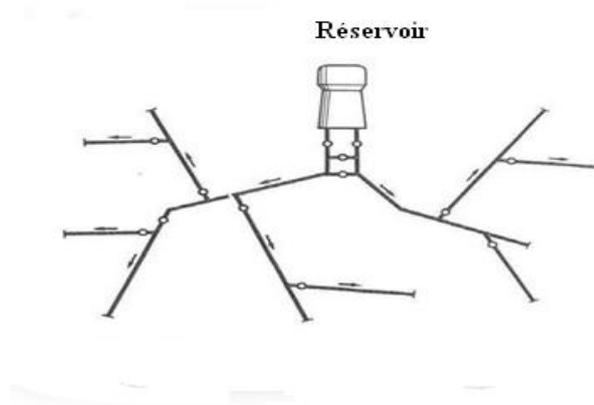


Figure 4. 2. Le réseau ramifié

Les réseaux ramifiés sont économiques mais les conduites ne comportent aucune alimentation. Il manque de sécurité et de souplesse en cas de rupture. Un accident dans la conduite principale prive l'eau tous les abonnés en aval. Ce type de réseau est généralement opté pour les zones rurales vu que le type d'habitation est dispersé et aéré par la présence d'espace ou de terrains agricoles.

4.2.2 Le réseau maillé

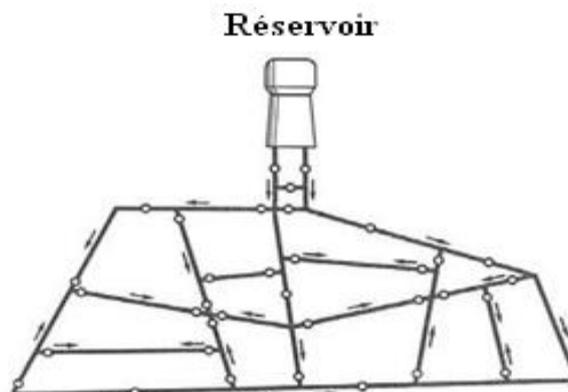


Figure 4. 3. Le réseau maillé

Les réseaux maillés permettent une alimentation en retour. En cas d'accident, une simple manœuvre des robinets permet d'isoler les tronçons atteints et poursuivre une alimentation des abonnés en aval, ce réseau est plus coûteux mais meilleur que le réseau ramifié

4.2.3 Les réseaux étagés

En zone accidentée, il est possible de construire les réseaux indépendants avec des pressions limitées aux environ de 60 mètres de colonne d'eau

Lorsque le secteur à alimenter s'étend sur une dénivellation trop importante, l'alimentation à partir d'un seul réservoir peut être à l'origine de pressions trop élevées en bas du réseau. Des réservoirs intermédiaires doivent alors être intercalés, ce qui permet de diviser le réseau en sous-réseaux d'une dénivellation satisfaisante. Ces réservoirs peuvent être alimentés par la même source, avoir leur propre alimentation, ou même être reliés entre eux.

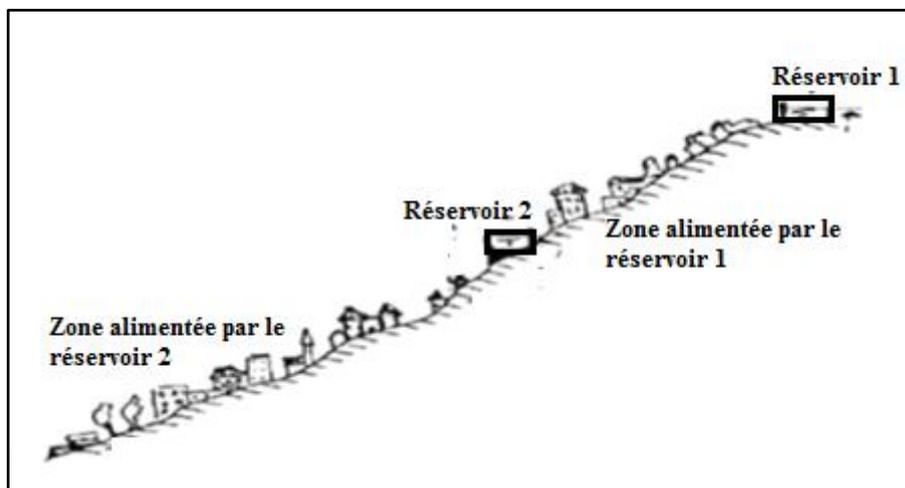


Figure 4. 4. Le réseau étagé

4.2.4 Le réseau mixte

Un réseau mixte (ramifié et maillé) lorsqu'il est constitué d'une partie ramifiée et une autre maillée. Ce type de schéma est utilisé pour desservir les quartiers en périphérie de la ville par les ramifications issues des mailles utilisées dans le centre-ville.

4.3 CALCUL DES CONDUITES D'UN RESEAU

4.3.1 Position du problème

Nous avons deux (02) cas :

Premier cas : la conduite AB n'assure aucun service en route

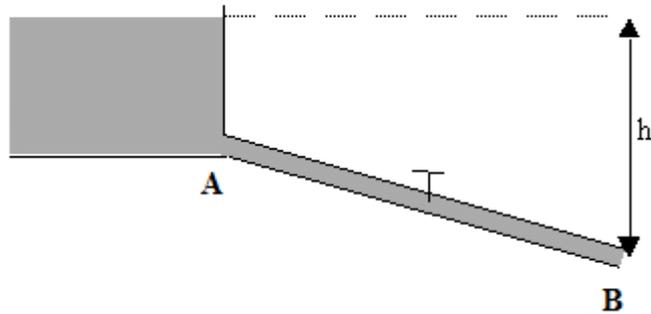


Figure 4. 5. Cas de la conduite sans service en route

Deuxième cas : la conduite AB assure un service en route

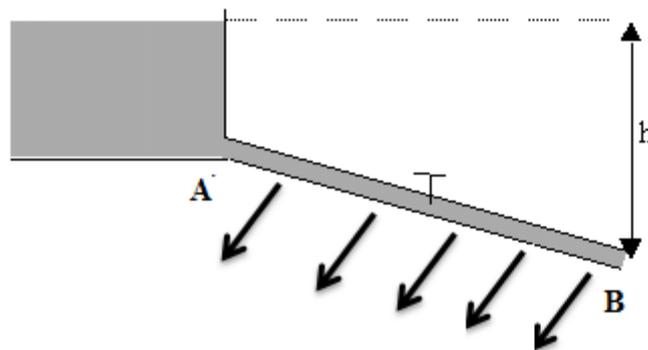


Figure 4. 6. Cas de la conduite avec service en route

Lorsqu'il s'agit du calcul du réseau de distribution, en plus du débit d'extrémité appelé aussi débit aval ; la conduite doit pouvoir distribuer à son parcours l'eau aux abonnés par les nombreux branchements raccordés sur elle : c'est le débit de route

Dans un projet, le débit de route est calculé en fonction du nombre d'utilisateurs à desservir au moment de la pointe et cela en supposant ce débit uniformément réparti sur la longueur l de la rue

Q : débit nécessaire au tronçon

Q/L : débit unitaire

Exemple : calcul d'un tronçon AB

$$Q = 15 \text{ l/s}$$



La conduite AB assure un débit total $Q = 15 \text{ l/s}$ uniformément répartis sur son parcours et d'autre part le débit aval $P = 10 \text{ l/s}$ est nécessaire pour alimenter les voies en aval

Quel est le débit que doit transiter la conduite AB

P : débit d'extrémité ou débit aval, ce débit passe nécessairement dans la conduite AB
Sans être consommé

Soit calculer AB avec le débit en B : $15+10 = 25 \text{ l/s}$ $Q = 15 \text{ l/s}$

$Q = 25 \text{ l/s} \rightarrow \Phi = 0.200 \text{ m}$ soit 200 mm

C'est un grand diamètre puisque 15 l/s seront consommés avant d'arriver en B. C'est à dire la conduite est surdimensionnée

Donc il faut calculer AB avec un débit inférieur. Quel est ce débit ?

Il faut chercher la perte de charge dans AB en supposant :

- un débit uniformément reparti : Q/L
- la conduite a une forme linéaire

4.3.2 Détermination de la relation entre le débit d'extrémité et le débit de route

4.3.2.1 Détermination de la perte de charge

$$J = \lambda \frac{L.V^2}{2.g.D} \quad \text{Avec } V = Q/S$$

$$S = \pi.D^2 / 4 \rightarrow V^2 = 16. Q^2 / \pi^2 .D^4$$

$$J = \lambda \frac{L.16Q^2}{2.g.D.D^4.\pi^2}$$

$$J = \lambda \frac{L.16Q^2}{2.g.D^5.\pi^2}$$

Posons que :

$$R = \lambda \frac{L.16}{2.g.D^5.\pi^2} \quad \text{d'où } J = R. Q^2$$

On a la perte de charge unitaire $j = \lambda \frac{1.V^2}{2.g.d}$

Donc :

$$j = (R / L). Q^2$$

4.3.2.2 Détermination de l'équation de la courbe piézométrique

Soit :

L'expression de la perte de charge unitaire $j = (R / L). Q^2$

I : un point quelconque sur AB

D : diamètre constant de A à B

Le réservoir concrétise la charge au point

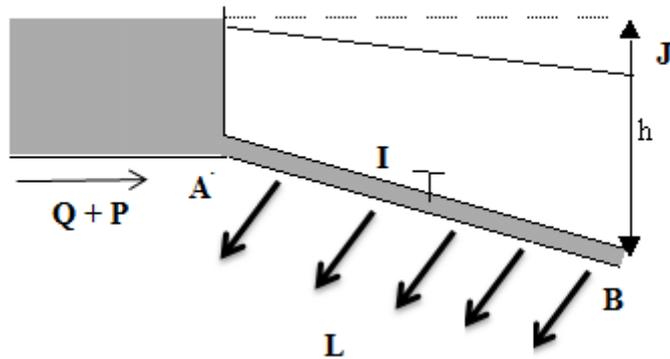


Figure 4. 7. Représentation des différents débits

En A : le débit est $Q+P$

En AI : le débit est $Q.X / L$

En I, il reste le débit $[Q - (Q - X) / L] + P$

Supposant le débit constant sur une longueur infinitésimal dx , la perte de charge correspondante sera :

$$dy = R/L \{ [Q - (Q - X) / L] + P \}^2 dx$$

R/L étant la résistance unitaire de la conduite

En développant la relation ci-dessus, on aura :

$$dy = \{ [(R/L) Q^2] - [(2 X. Q^2. R)/L^2] + [(X^2. Q^2 R)/L^3] + [P^2. R/L] \\ + [2Q. P. R/L] - [2Q. P. X. R /L^2] \} dx$$

En intégrant, nous obtiendrons :

$$Y = \{ [(R/L) Q^2. X] - [(2 X^2. Q^2. R)/2L^2] + [(X^3. Q^2. R)/3 XL^3] + [P^2. R. X/L] \\ + [2Q. P. R. X/L] - [2Q. P. X^2. R /2L^2] \} + C$$

En faisant les simplifications nécessaires, on aura :

$$Y = \{ [R. Q^2 / 3 L^3]. X^3 - [R. Q (P + Q) / L^2]. X^2 + [R (P + Q)]^2 / L X \} + C$$

Pour $X = 0$ $Y = 0$ $C = 0$

Pour $X = L$ $Y = J$

$$J = \{ [R.Q^2/3 L^3].L^3 - [R.Q(P+Q)/L^2].L^2 + [R(P+Q)]^2/L.L \}$$

En simplifiant par les L, on aura :

$$J = [R.Q^2/3] - [R.Q(P+Q)] + R(P+Q)^2$$

On développe :

$$J = R.Q^2/3 - R.Q.P - R.Q^2 + R(P+Q)^2$$

$$J = R.Q^2/3 - R.Q.P - R.Q^2 + R(P^2 + Q^2 + 2P.Q)$$

$$J = R.Q^2/3 - R.Q.P - R.Q^2 + R.P^2 + R.Q^2 + 2R.P.Q$$

On simplifie :

$$J = R.Q^2/3 - R.Q.P + R.P^2 + 2R.P.Q$$

$$J = R.Q^2/3 + R.P^2 + R.P.Q$$

$$J = R(Q^2/3 + P^2 + P.Q)$$

Or J la perte de charge totale sera en fonction d'un débit q qui comprendra et le débit de route Q et le débit d'extrémité P. On aura alors :

$$R.q^2 = R(Q^2/3 + P^2 + P.Q)$$

En simplifiant par R, on aura :

$$q^2 = Q^2/3 + P^2 + P.Q$$

$$q = \pm \sqrt{\frac{Q^2}{3} + P^2 + P \cdot Q}$$

On obtiendra :

$$(P + Q/\sqrt{3})^2 \geq q^2 \geq (P + Q/2)^2$$

Après résolution, on aura :

$$P + 0.57 > q > P + 0.50 Q$$

En définitive, on travaille avec :

$$q = P + 0.55 Q$$

4.3.3 Expression des pertes de charges

Les pertes de charges linéaires se produisent dans les tuyaux sans singularités

D'après Nikuradse, on a :

$$J = \lambda \frac{L \cdot V^2}{2 \cdot g \cdot D} = \Delta H$$

ΔH : perte de charge exprimée en hauteur d'eau

λ : coefficient de perte de charge (sans dimension)

L : longueur de la conduite en mètre

V : vitesse moyenne d'écoulement en m/s

g : accélération de la pesanteur (9.81 m/s²)

Q : débit dans la conduite

Sachant que $Q = V \cdot S$ et faisant les remplacements nécessaires :

$$\Delta H = \lambda \frac{L \cdot 16Q^2}{2 \cdot g \cdot D^5 \cdot \pi^2}$$

$$\Delta H = \lambda \frac{L \cdot 8 \cdot Q^2}{g \cdot D^5 \cdot \pi^2}$$

En terme de pression, on aura : $\Delta P = \rho \cdot g \cdot \Delta H$

Soit :

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot \lambda \frac{L \cdot 8 \cdot Q^2}{g \cdot D^5 \cdot \pi^2}$$

λ est donné par les tables de manuels ou par les constructeurs des différents types de tuyaux
 λ peut s'exprimer en fonction de la rugosité du tuyau

Formule de Karman, Prandtl et Nikuradse

$$1 / \sqrt{\lambda} = 1.74 + 2 \log_{10} (D / 2k)$$

k est une dimension approximative des aspérités intérieure de la conduite

k varie aussi avec la durée de vie de la conduite

pour une conduite lisse, on applique la formule de Blasius : $\lambda = 0.316 / Re^{1/4}$

Alternativement, on utilise les formules :

Perte de charge totale : $J = \Delta H$

Perte de charge unitaire : $j = J/L$

Formule de Colebrook donné par :

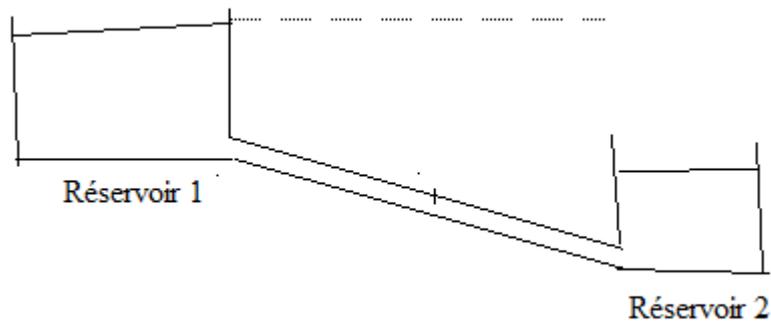
$$1 / \lambda = -2 \ln [(k / 3.7D) + (2.51 / Re \sqrt{\lambda})]$$

k : coefficient de rugosité

Re : nombre de Reynolds

Koch et Vibert ont dressé un tableau des pertes de charges en fonction des débits pour différents diamètres et pour deux valeurs de k : $k = 10^{-4}$ m et $k = 2.10^{-3}$ m

En générale, seuls le débit et la longueur sont connus ; la longueur est donnée par le tracé de la conduite. Entre deux réservoirs, l'eau arrive sous pression, toute la charge étant absorbée par les frottements



$$[Z_1 + (P_1 / \rho \cdot g) + V_1^2 / 2g] - [Z_2 + (P_2 / \rho \cdot g) + V_2^2 / 2g] = J_{1-2}$$

Cote de départ et cote d'arrivée étant imposées, on recherche dans le tableau le diamètre qui donne le débit avec une perte de charge J ($J = j \cdot L$)

On vérifie que la vitesse V dans la conduite reste comprise entre 0.5 et 1.5 m/s

$V < 0.5$ m/s formation de dépôt et d'air

$V > 1.5$ m/s risque du coup de bélier

Pour les vieilles conduites $k = 2 \cdot 10^{-3}$ m

Pour les conduites nouvelles $k = 10^{-4}$ m

Dupont préconise :

Conduite d'adduction : $k = 4 \cdot 10^{-4}$ m

Conduite courte (quelques mètres) : $k = 10^{-4}$ m

Conduite du réseau de distribution : $k = 10^{-3}$ m

En tenant compte de l'accroissement de la consommation avec présence possible de dépôts :

$$k = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Dupont donne les coefficients à appliquer aux pertes de charges lues dans les colonnes de $k = 2 \cdot 10^{-3}$ m en vu d'obtenir les pertes de charge pour les valeurs de $k = 10^{-3}$ m et $k = 4 \cdot 10^{-4}$ m cas où l'une des deux cotes d'arrivée ou de départ est imposée (cas fréquent)

4.3.4 Lecture de la table de COLEBROOK

Par exemple pour **un débit de 8.12 l/s**, cherchez le débit correspondant dans les tables de Colebrook – pour des valeurs de vitesses acceptables entre $0.5 \text{ m/s} < v < 1.5 \text{ m/s}$

Idéalement la valeur de la vitesse la plus proche possible de 1 m/s

Dans le tableau, le débit **de 8.12 l/s** est compris entre 8.09 l/s et 8.54 l/s (surlignage jaune) prenez la perte de charge correspondante pour $k=0.1$ mm

Par exemple pour 8.09 l/s, la perte de charge est de 8.75 m/km et déduire le diamètre en haut (surlignage vert) et la vitesse est de 0.9 m/s

Si la valeur du débit calculé est éloignée de la valeur de la table, il faudrait faire l'interpolation

Tableau 4.1 Extrait de la table de Colebrook

Vitesse (m/s)	Diamètre intérieur : 100 mm				Diamètre intérieur : 107 mm			
	Débit (l/s)	Perte de charge (mCE/km)			Débit (l/s)	Perte de charge (mCE/km)		
		k = 0,05 mm	k = 0,1 mm	k = 0,5 mm		k = 0,05 mm	k = 0,1 mm	k = 0,5 mm
0,10	0,79	0,17	0,18	0,20	0,90	0,16	0,16	0,18
0,15	1,18	0,35	0,36	0,42	1,35	0,32	0,33	0,39
0,20	1,57	0,58	0,60	0,72	1,80	0,54	0,55	0,66
0,25	1,96	0,87	0,90	1,10	2,25	0,80	0,82	1,01
0,30	2,36	1,20	1,25	1,56	2,70	1,10	1,15	1,43
0,35	2,75	1,58	1,65	2,10	3,15	1,46	1,52	1,92
0,40	3,14	2,01	2,11	2,71	3,60	1,85	1,94	2,48
0,45	3,53	2,49	2,62	3,40	4,05	2,29	2,41	3,11
0,50	3,93	3,02	3,18	4,16	4,50	2,77	2,92	3,81
0,55	4,32	3,59	3,80	5,01	4,95	3,30	3,49	4,59
0,60	4,71	4,20	4,46	5,93	5,40	3,87	4,10	5,43
0,65	5,11	4,86	5,18	6,93	5,84	4,47	4,76	6,35
0,70	5,50	5,57	5,95	8,01	6,29	5,13	5,46	7,33
0,75	5,89	6,32	6,76	9,16	6,74	5,82	6,22	8,39
0,80	6,28	7,12	7,63	10,40	7,19	6,55	7,01	9,52
0,85	6,68	7,97	8,55	11,71	7,64	7,33	7,86	10,72
0,90	7,07	8,85	9,52	13,09	8,09	8,14	8,75	11,99
0,95	7,46	9,78	10,55	14,55	8,54	9,00	9,69	13,33
1,00	7,85	10,75	11,62	16,10	8,99	9,89	10,68	14,74
1,05	8,25	11,77	12,74	17,72	9,44	10,83	11,71	16,22
1,10	8,64	12,84	13,92	19,41	9,89	11,81	12,79	17,78
1,15	9,03	13,95	15,14	21,19	10,34	12,83	13,92	19,40
1,20	9,42	15,10	16,42	23,04	10,79	13,89	15,09	21,10
1,25	9,82	16,29	17,74	24,97	11,24	14,99	16,31	22,86
1,30	10,21	17,53	19,11	26,98	11,69	16,12	17,57	24,70

Application

$Q = 160$ l/s

$J = 4.00$ m

$L = 2000$ m

$k = 2.10^{-3}$ m

On calcule : $j = J/L = 4/2000 = 0.002$

On consulte les tableaux de Colebrook, on trouve une valeur approximative de j

$j = 0.0019$ pour un diamètre $D = 0.500$ m, on vérifie la vitesse $v = 0.8$ m/s

0.5 m/s < v < 1.5 m/s → valeur acceptable

4.4 DIMENSIONNEMENT DES RESEAUX

4.4.1 Le réseau ramifié

Le calcul du réseau ramifié se fait en partant de l'extrémité aval du réseau et en remontant de tronçon en tronçon jusqu'au réservoir. Les débits calculés dépendent du coefficient de pointe horaire de l'agglomération.

Le réseau ramifié se compose de la canalisation maîtresse R-1-2-3-4-5-6-7 et des branchements (tronçons).

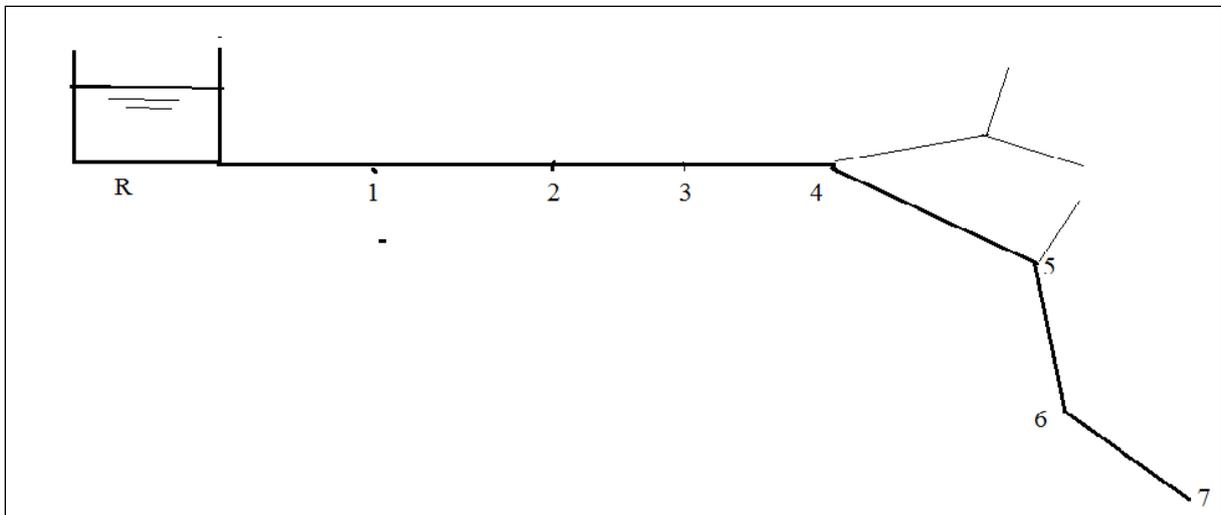


Figure 4. 8 Le réseau ramifié

4.4.1.1 Les données

On doit avoir :

- 1- les longueurs des tronçons du réseau
- 2- les cotes au sol dans chaque point
- 3- les débits dans chaque point
- 4- les pressions nécessaires au sol dans les points

4.4.1.2 Méthode de travail

- 1- Après avoir déterminé les débits consommés au tronçon, on détermine les débits en route et aval en partant de l'extrémité. Si la conduite est en impasse $P=0$
- 2- Le débit déterminé, se référer à l'abaque et tirer le diamètre, la vitesse et la perte de charge unitaire
- 3- Calculez la perte de charge totale J et la hauteur piezométrique aval ainsi que la pression au sol sachant que :

H piezométrique aval = H piezométrique amont - J

Pression au sol = H piezométrique aval - cote au sol

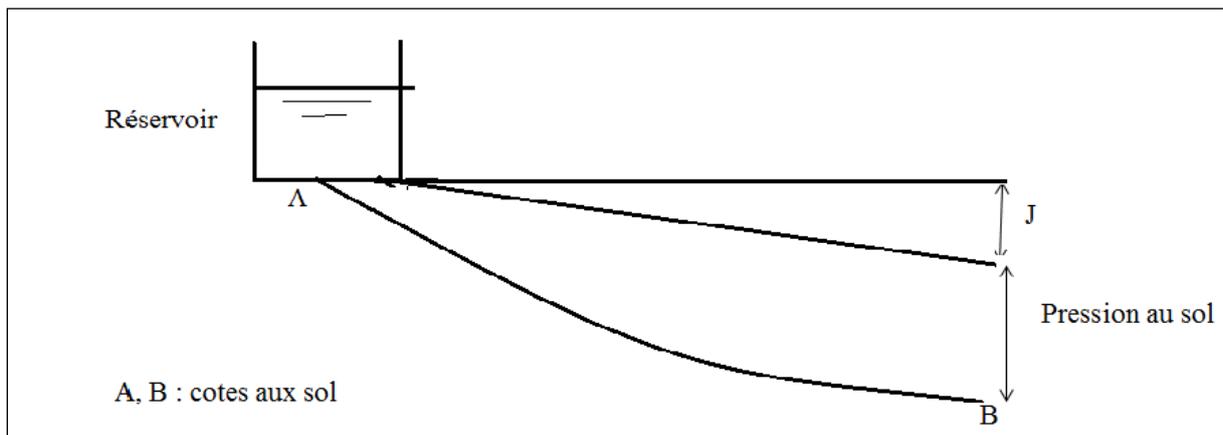


Figure 4. 9 Représentations des différentes cotes

Le débit est calculé d'après la formule suivante : $q = q_{\text{aval}} + 0.55 q_{\text{route}}$

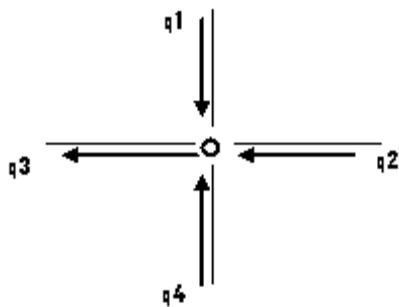
4.4.2 Calcul des réseaux maillés

Pour le calcul du débit, on applique les deux (02) lois de Kirchhoff

Première lois : loi des nœuds

En un nœud quelconque du réseau, la somme algébrique des débits est nulle c'est à dire : la somme des débits entrants est égale à la somme des débits sortants qui quittent ces nœuds (il n'y a pas d'accumulation d'eau dans ce nœud)

Les débits entrants sont considérés positifs et les débits sortants sont négatifs



$$\sum_{i=1}^n q_i = 0$$

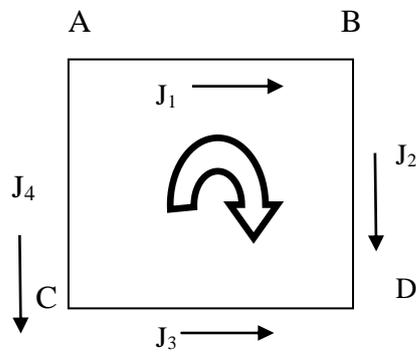
$$q_1 + q_2 - q_3 + q_4 = 0$$

$$q_1 + q_2 - q_3 + q_4 = 0 \quad \rightarrow \quad q_3 = q_1 + q_2 + q_4$$

On suppose que le débit qui arrive au nœud est positif et le débit qui sort du nœud est négatif

Deuxième lois de Kirchhoff : loi des mailles

Le long d'une maille qui forme un parcours orienté et fermé, la somme algébrique des pertes de charge est nulle



Cette loi est appliquée dans le circuit fermé ABCD où l'orientation positive est donnée par le sens du déplacement des aiguilles d'une montre

$$J_1 + J_2 - J_3 - J_4 = 0$$

Cette égalité n'est pas vérifiée dès la première approximation, le débit doit être corrigé avec la formule suivante :

$$\Delta q = \frac{-\sum J}{2 \sum J/q}$$

Si la deuxième loi n'est pas encore vérifiée, il faudrait de nouveau corriger les débits d'une nouvelle valeur Δq calculée comme précédemment.

4.5 RENDEMENTS DES RESEAUX

Le rendement du réseau dépend des indicateurs de performance. En général, Le premier travail de maintenance d'un réseau de distribution d'eau potable consiste à contrôler en permanence l'étanchéité de ce réseau

En plus des enquêtes sur sites, Il existe pour cela diverses méthodes et techniques à la disposition des exploitants dont l'opération de recherche de fuites.

Les fuites se manifestent sur les différents organes du réseau : les canalisations et leurs accessoires et les branchements particuliers. Trois grandes familles de fuites peuvent être distinguées, par débit de fuite croissant :

- Les fuites diffuses : ce sont des fuites qui ne peuvent pas être localisées avec les techniques courantes du fait de leur faible débit ;
- Les fuites détectables non-visibles : ce sont des fuites non-visibles que l'on peut détecter avec les moyens usuels d'investigation ;
- Les fuites visibles : ce sont des fuites dont la présence est visible en surface (écoulement, excavation, etc.).

4.5.1 Volumes utilisés en alimentation en eau potable

1. Volume produit: V_{pro}

Volume issu des ouvrages de production, acheminé vers un réservoir ou injecté directement dans le réseau de distribution.

2. Volume distribué: V_{dis}

Volume mis en tête du réseau à partir d'un ouvrage de distribution (réservoir) ou directement d'un ouvrage de production

3. Volume comptabilisé : V_{comp}

Somme des consommations relevées au niveau des appareils de comptage des clients aux autres points de livraison.

4. Volume de service du réseau : V_{serres}

Volume utilisé pour l'exploitation du réseau. V_{serres} : 1 à 2 %

5. Volume détourné : $V_{dét}$

Volume utilisé frauduleusement

6. Volume défaut de comptage : $V_{défcomp}$

Volume résultant de l'imprécision et/ou du dysfonctionnement des organes de comptage, et des erreurs de relevés. $V_{défcomp}$: ± 2 à ± 8 %

7. Volume de fuites : V_{fuit}

Volume résultant des défauts d'étanchéité du réseau de distribution (conduites, branchements et pièces spéciales V_{fuit} : 5 à 25 %

8. Volume facturé: V_{fact}

Volume résultant de la facturation, qui peut être différent de (V_{comp}) à cause des estimations, dégrèvements d'impôt ,etc

9. Volume des pertes en distribution: $V_{pertdis}$

$V_{pertdis} = (V_{dét})+(V_{fuit})+(V_{déf.comp})$

10. Volume utilisé : V_{uti}

$V_{uti} = (V_{comp})+(V_{cons.ss.comp})+(V_{serv.rés})+(V_{dét})+(V_{déf.comp})$

En général, Le premier travail de maintenance d'un réseau de distribution d'eau potable consiste à contrôler en permanence l'étanchéité de ce réseau

En plus des enquêtes sur sites, Il existe pour cela diverses méthodes et techniques à la disposition des exploitants dont l'opération de recherche de fuites

4.5.2 Calcul de rendement du réseau

C'est le rapport entre la quantité d'eau consommée et la quantité d'eau introduite dans le réseau.

$$Rd = V.comp / Vm.e.d \quad (\%)$$

V.comp = volume comptabilisé en m³

Vm.e.d = Volume mis en distribution en m³

Rd en milieu urbain: 75 à 80 %

Rd en semi-rural : 80 à 85 %

Rd en rural : 85 à 90 %

En général, les résultats sont évalués selon le tableau d'analyse suivante :

Tableau 4.2. Evaluation du rendement d'un réseau

Classe de rendement	Valeur en %
Bon	sup. à 80%
Moyen	70 à 80%
Mauvais	60 à 70 %
Très mauvais	inf. à 60%

4.5.3 Calcul des indices linéaires des réseaux

1. Formule de calcul de l'indice linéaire de pertes en réseau : ILP

Cet indice permet d'estimer les volumes d'eau moyens perdus par jour pour 1 km de réseau.

Sa valeur évolue selon la densité de population raccordée au réseau. L'ILP est jugé satisfaisant si sa valeur est inférieure aux valeurs de références suivantes :

$$ILP = V \text{ per dis} / Lr \quad (m^3/j/km)$$

Avec : Vper dis : volume des pertes en distribution (m³) pendant une journée

Lr : longueur du réseau hors branchement (km)

Tableau 4.3 .Valeur de l'ILP en fonction de la densité d'abonnés

Densité d'abonnés	Valeur maximum d'ILP (m ³ /j/km)
inf. à 25 abonnés/km	2,5
25 à 50 abonnés/km	5
sup. à 50 abonnés/km	10

2. Indice linéaire de fuites: ILF

$$\text{ILF} = (\text{V.Ft}) / \text{Lr} \text{ (m}^3\text{/j/km)}$$

V.Ft = volume des fuites en m³

Cet indice est utilisé comme indicateur servant pour déterminer la répartition spatiale des fuites dans un réseau,

3. Indice linéaire de consommation : ILC

$$\text{ILC} = \text{Vcomp} / \text{Lr} \text{ (m}^3\text{/j/km)}$$

Vcomp : Volume comptabilisé en m³

ILC : Cet indice peut être utile pour déterminer la nature d'un réseau (situation administrative)

Tableau 4.4. Récapitulatif des différents indicateurs

Type	Rural	Intermédiaire	Urbain
Densité	D < 20	20 < D < 40	D > 40
Type de réseau	ILC < 10	10 < ILC < 30	ILC > 30
Excellent	ILP < 0.7	ILP < 1.5	ILP < 3.3
Moyen	0.7 ≤ ILP ≤ 2.5	1.5 ≤ ILP ≤ 5.2	3.3 ≤ ILP ≤ 12.8
Médiocre	2.5 < ILP	5.2 < ILP	12.8 < ILP

4.6 RECHERCHE DES FUITES

La recherche des fuites consiste en une investigation de terrain visant à localiser avec précision les fuites en vue de leur réparation. Les quatre points d'action pour diminuer les pertes d'eau sont :

- rapidité d'intervention,
- recherche active des fuites par différentes techniques,
- contrôle de la pression,

- restauration ou renouvellement ciblé du réseau.

Ces actions demandent une connaissance précise du terrain, du réseau et le repérage des canalisations. Les points ci-dessous déterminent les actions à mettre en œuvre pour une lutte efficace contre les fuites :

- Le classement pour archivage
- Les recherches de fuites terrain
- Les approches visuelles
- Les manœuvres des vannes
- Les pré-localisations par enregistreurs de bruits
- Les écoutes directes
- Les corrélations acoustiques
- Le test pression des branchements

La recherche des fuites passe par une enquête préliminaire qui consiste à envoyer sur place une équipe dès que l'anomalie a été signalée. Cette enquête préliminaire comporte les points suivants :

- Visiter les lieux et préciser l'emplacement exact de l'infiltration ou fuite (repère sur terrain).
- Vérifier les divers appareils de réseau proches de l'infiltration.
- Faire des manœuvres sur le réseau, mesures des pressions au manomètre.
- Faire éventuellement un test de présence de chlore dans l'eau.
- Procéder à une écoute rapide sur les branchements ou autres points accessibles voisins à l'aide d'un amplificateur de bruit.
- L'expérience montre que dans 60% des cas, cette enquête préliminaire permet de définir le périmètre de la fuite

4.6.1 La recherche de fuites pour un diagnostic terrain du réseau

La recherche de fuite se déroule généralement en deux phases :

- Phase 1 : pré localisation des fuites, c'est un repérage global des foyers (exemple par quartier)
- Phase 2 : localisation plus précise des fuites (rue, ruelle, tronçon.....)

Les méthodes utilisées sont :

- L'écoute au sol
- La corrélation acoustique
- La localisation des fuites

Les appareils pour la recherche des fuites sont :

- Les amplificateurs mécanique et électronique
- Les corrélateurs acoustiques
- Les prés localisateurs de fuites

L'écoute au sol pour détecter les fuites se fait à l'aide des amplificateurs mécaniques et électronique.

a. Amplificateurs mécaniques

Les appareils mécaniques sont de conception simple, utilisés généralement pour des écoutes directes sur réseau, ils donnent généralement satisfaction du fait de leur simplicité et de leur robustesse. Le niveau d'amplification est légèrement réglable et il n'y a aucun dispositif de filtrage. Le plus répandu de ces appareils est l'Hydrosol (figure).



L'hydrosol est fabriqué en fonte d'aluminium
Dimensions :
Hauteur : 120 x 125mm Ø
Tube allongé : 1 mètre



Figure 4. 10. Hydrosol

L'hydrosol amplifie environ 200 fois les sons captés, cet appareil est fabriqué en fonte d'aluminium. En cas de fuite dans une canalisation sous pression, la canalisation vibre au point de sortie d'eau.

C'est cette vibration que détecte l'Hydrosol, il est utilisé pour :

- les recherches et détections de fuites d'eau
- la recherche de canalisations enterrées sous pression

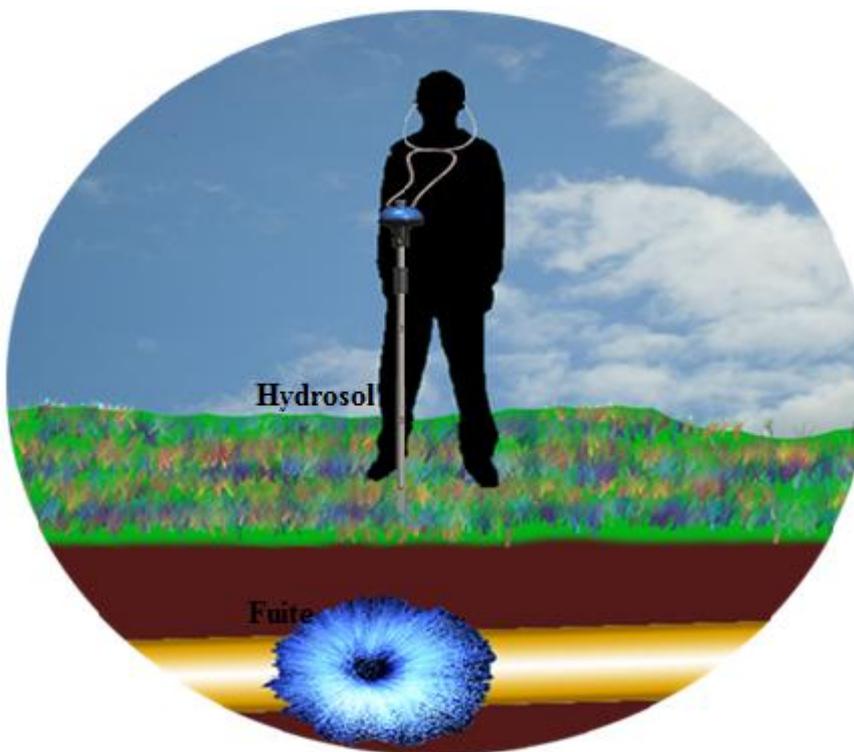


Figure 4. 11. Détection de la fuite par l'hydrosol

b. Amplificateurs électronique

Les appareils électroniques comportent un capteur de type piézo-électrique, un amplificateur réglable, un filtre de fréquence, un casque d'écoute et un dispositif visuel indiquant l'intensité du bruit capté. Toutefois, les dispositifs de filtrage sont très limités et le contrôle visuel peu efficace.

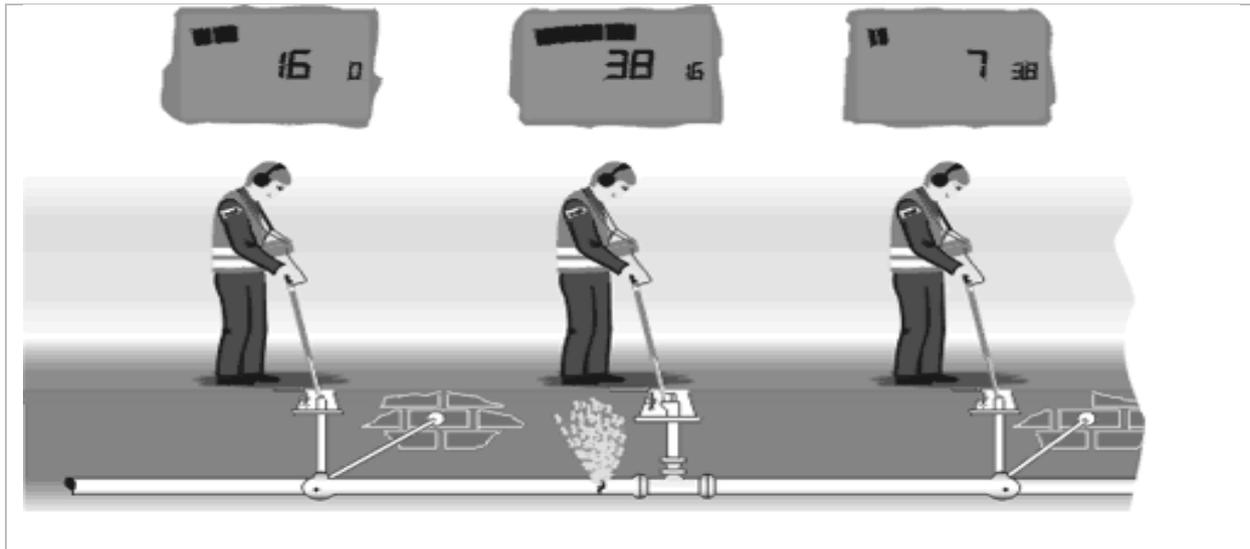


Figure 4. 12. Amplificateur mécanique (Document ONEP)

c. Corrélateur acoustique : corrélation acoustique

Le corrélateur acoustique est une nouvelle technique de recherche de fuites qui a fait son apparition en Europe. La corrélation acoustique est la détection par calcul du positionnement des fuites d'eau sur les réseaux de canalisations en charge et enterrés.

L'équipement de base d'un corrélateur acoustique comprend :

- Une unité centrale
- Des amplificateurs de signal
- Capteurs de bruit de la fuite (type de capteur a choisir selon la nature des matériaux des conduites accéléromètres pour les conduites métalliques et amiante ciment et les hydrophones pour les conduites en plastique)
- Système de liaison avec l'unité centrale (liaison hertzienne, liaison câble)
- Chargeur de batterie
- Casque d'écoute
- Paire d'antenne



Figure 4. 13. Recherche des fuites par corrélation acoustique (Document ONEP)

a. Principe de corrélation

Le bruit de fuite se propage dans la canalisation en s'éloignant de sa source dans les deux directions, la vitesse de propagation est constante et dépend du matériau et du diamètre de la conduite.

Dans un intervalle de temps donné, le bruit parcourra la même distance de part et d'autre de la fuite. Cette situation est illustrée dans le schéma suivant :

Calculateur du corrélateur

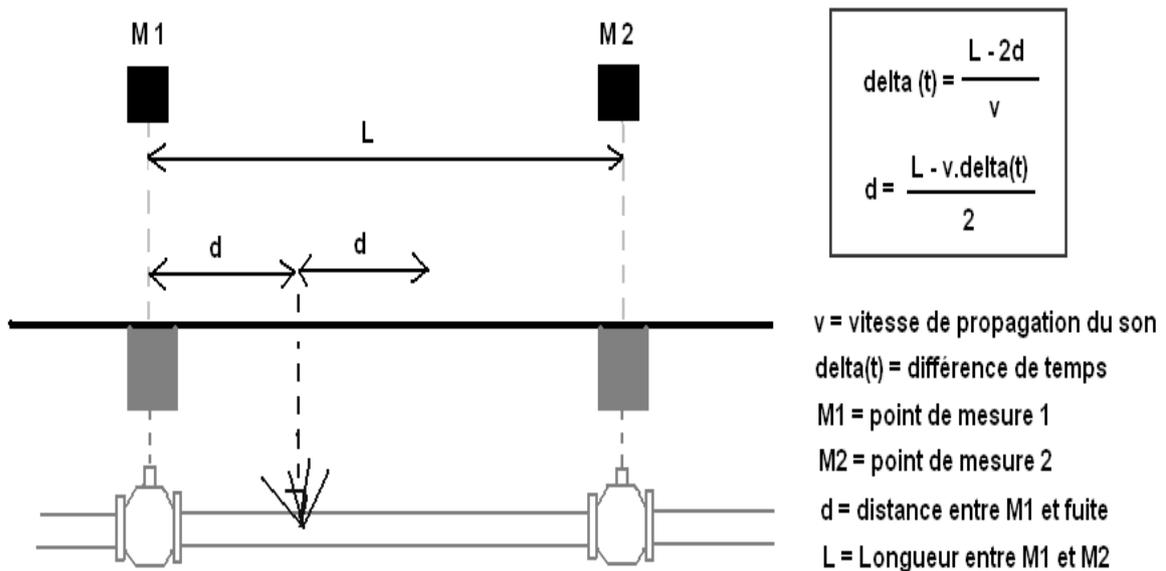


Figure 4. 14. Principe de calcul de la position d'une fuite par le corrélateur acoustique

En théorie, le bruit d'une fuite peut se propager sur des grandes distances, mais en pratique, il est amorti durant son trajet dans les canalisations. De ce fait, l'atténuation est d'autant plus grande que la distance depuis la fuite augmente

Aussi, l'atténuation varie généralement selon la nature des matériaux comme l'indique le tableau ci après (Source ONEP / office national des eaux potables)

Tableau 4.5 Atténuation de la fuite en fonction du matériau (Document ONEP)

Acier	Peu d'atténuation
Fer	↓
Cuivre	
Béton	
Plomb	
Amiante ciment	
PVC	
Polyéthylène haute densité	
Polyéthylène basse densité	Grande atténuation

4.6.2 La localisation des fuites : prés localisateurs de fuites

- a. Principe : Il consiste en la pose d'enregistreur de données acoustiques sur des points d'accès (vannes).

L'écoute se fait la nuit entre 2h et 4h, aux heures de plus bas mouvement de l'eau mais également aux heures où le bruit environnant est le plus faible.

Le pas de temps de l'enregistrement est faible (1s), ce qui réduit considérablement les erreurs commises à cause de bruits ponctuels.



Figure 4.15. Pré localisateur de fuite

b. Interprétation des résultats :

L'interprétation des résultats fait appel à :

- Une lecture visuelle sur les appareils
- Un logiciel d'interprétation des résultats stockés dans les prés localisateurs
 - Si le bruit est < 20 dB : pas de fuites
 - Si le bruit est de 20dB à 30 dB : possibilité de fuites – effectuer des recherches approfondies sur terrain
 - Si le bruit est de 80 dB : fuites probables

Ces appareils indiquent des valeurs en dB et le degré de probabilité de la fuite, le calcul de degré de probabilité de fuite se fait de la façon suivante :

- calcul de différentes caractéristiques de bruit qui sont significatifs de la présence d'une fuite.
- Le « seuil critique de bruit » qui correspond au niveau sonore le plus bas, dépassé pendant 99% du temps d'enregistrement. C'est le paramètre le plus important parce qu'il indique le niveau sonore lorsque aucun autre bruit aléatoire (tel que le bruit de la circulation) ne s'ajoute au bruit de fuite.
- Le « pic » est le niveau sonore le plus fréquemment enregistré, c'est à dire qu'il s'agit du niveau sonore en dB qui se présente le plus souvent (mesuré à intervalle d'une seconde). Plus cette valeur est élevée, plus cet enregistreur risque d'être proche d'une fuite.

c. Caractéristique d'un bruit de fuite

- Le bruit de fuite est « aléatoire », c'est à dire que, si on le représente par une fonction $F(t)$ et $F(t + T)$ pour toutes valeurs de T , ne présentent entre elles aucune ressemblance.
- La propagation du bruit de fuite dans la conduite se fait à vitesse égale de part et d'autre de son origine (à condition que la conduite soit homogène en matériau et diamètre). Ce mode de propagation résulte d'une interaction entre l'eau et la conduite.

- Le bruit de fuite est permanent, alors que la plupart des bruits environnants sont transitoires, et ainsi malgré une puissance instantane importante, peuvent être discriminés par un traitement sur une période longue de l'ordre de 10 secondes ou plus.

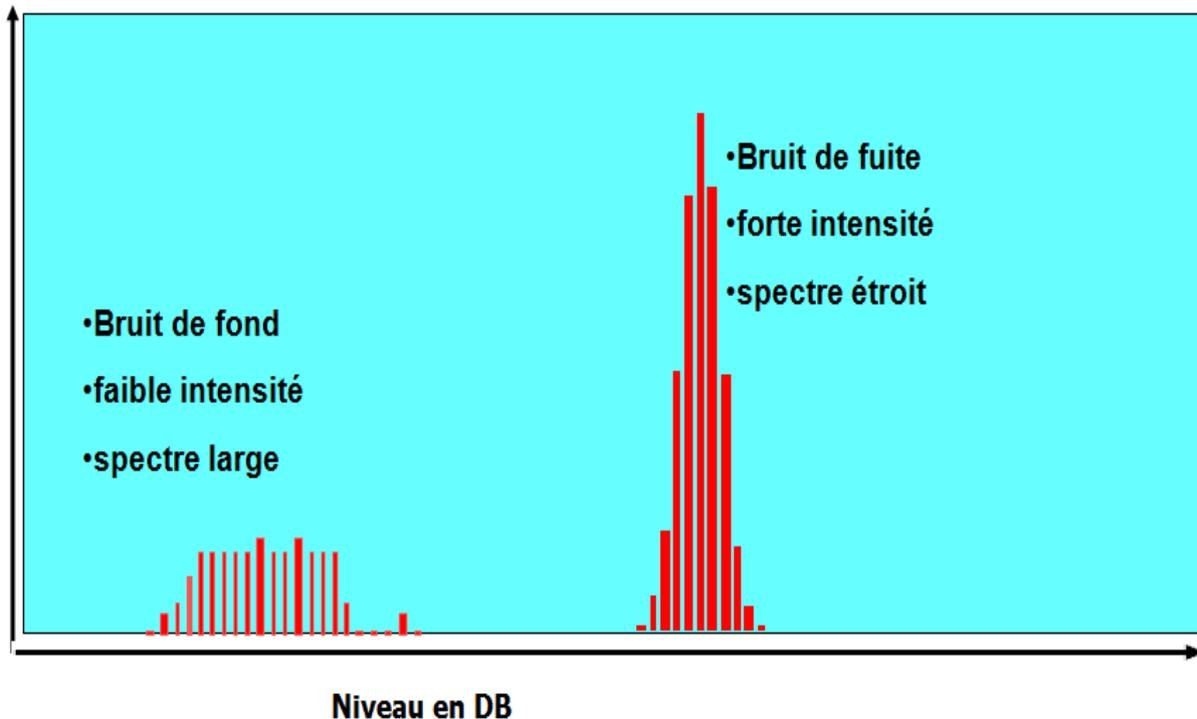


Figure 4. 16. Représentation du spectre d'une fuite (Document ONEP)

4.6.3 Détection et réparation des fuites.

Détecter les fuites par le matériel de localisation des fuites.

Dresser une liste des fuies détectées avec marquage sur le schéma réduit du réseau.

Procéder à la réparation des fuites détectées avec la constitution d'un document descriptif sur les fuites réparées faisant ressortir certaines informations (parties endommagées, causes probables, pièces de rechange utilisées, main d'œuvre etc.....)

Reprendre des essais de recherche au niveau des tronçons ayant fait l'objet de réparation (car une fuite peut cacher une autre)

4.7 EVALUATION DE L'OPERATION APRES LA REPARATION DES FUTES DETECTEES

Une fois les fuites réparées, une contre mesure de débit de nuit doit être réalisée dans le même jour calendaire et la même période nocturne ou la première mesure a été effectuée et ce en vu d'évaluer le débit de fuite qui a été récupéré.

D'après les statistiques des travaux réalisés par l'office national de l'eau potable :

- 90% des fuites sont localisées au niveau des branchements dont :
 - 50% des fuites sont localisée au niveau des robinets de prise en charge.
 - 30% des fuites au niveau des tuyaux en PE.
 - 10% des fuites au niveau des colliers de prise en charge.
 - 10% des fuites au niveau des raccords des compteurs, des raccords en PE à serrage rapide, coude en PE....etc.
- 2% des fuites au niveau des conduites
- 8% des fuites au niveau des pièces spéciales des réseaux

CHAPITRE 5. ORGANES, ACCESSOIRES ET ROBINETTERIE

Le réseau d'eau potable représente graphiquement les objets permettant le transport de l'eau potable. Il comporte les canalisations, les ouvrages de stockage, les accessoires et les équipements spéciaux.

- les vannes ou robinets-vannes de sectionnement permettant d'isoler un tronçon de réseau ;
- les purges placées aux points bas du réseau ;
- les ventouses aux points hauts pour évacuer les éventuelles poches d'air lors du remplissage des canalisations.
- les anti-béliers généralement situés au point de production ou de surpression.

Tous ces éléments sont placés sous bouches à clé ou dans des regards de visite. Les éléments de robinetterie représentent les composants intercalés dans les tuyauteries, employés pour régler le flux d'eau qui circule dans le réseau afin d'optimiser son exploitation, les appareils de robinetterie d'un réseau peuvent se subdiviser en :

- Vannes de sectionnement.
- Crépine
- Bouches et poteaux d'incendie.
- Vannes de régulation hydraulique
- Clapets de non-retour

5.1 VANNES DE SECTIONNEMENT ET DE REGULATION

Les vannes de sectionnement assurent la protection des réseaux en adduction d'eau potable. Leur principal rôle est de réguler le débit ou d'arrêter l'écoulement dans le cas de la réparation d'une conduite. Ce sont des dispositifs hydromécaniques destinés à couper le flux d'eau dans une conduite grâce à un obturateur. Leur fonctionnement sera de type tout ou rien : ouverture ou fermeture totales : les positions intermédiaires correspondent à des situations provisoires ou exceptionnelles. Ces vannes permettent une régulation amont et aval du débit comme expliqué dans la figure 5.1

1- En régulation amont :

La manœuvre en A ne se fera pas sentir immédiatement au réservoir. Plus la conduite est longue, plus le temps de réponse est grand. En particulier, une fermeture totale du robinet en A ne se traduira pas par un arrêt total et immédiat en B

2- En régulation aval :

La manœuvre en B se répercutera immédiatement au réservoir

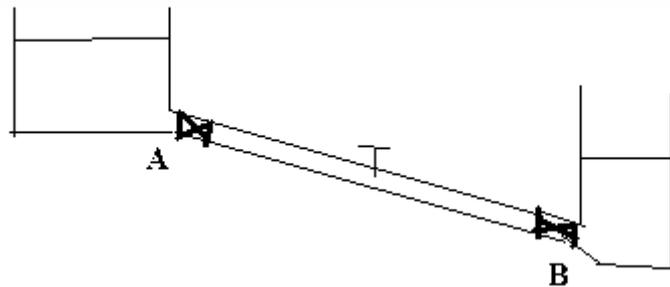


Figure 5. 1.Régulation amont et aval dans la conduite

Dans le cas de la pression maximale dans la conduite

- 1- Régulation amont : le profil piézométrique s'articule autour de B, AB profil piézométrique maximal
- 2- Régulation aval : Donc la pression maximale que devra supporter la conduite sera plus élevée en régulation aval qu'en régulation amont

Les vannes de régulations permettent d'équilibrer le débit dans le cas où le réseau comporte une partie haute et une partie basse pour éviter de grands écarts de pression (figure 5.2).

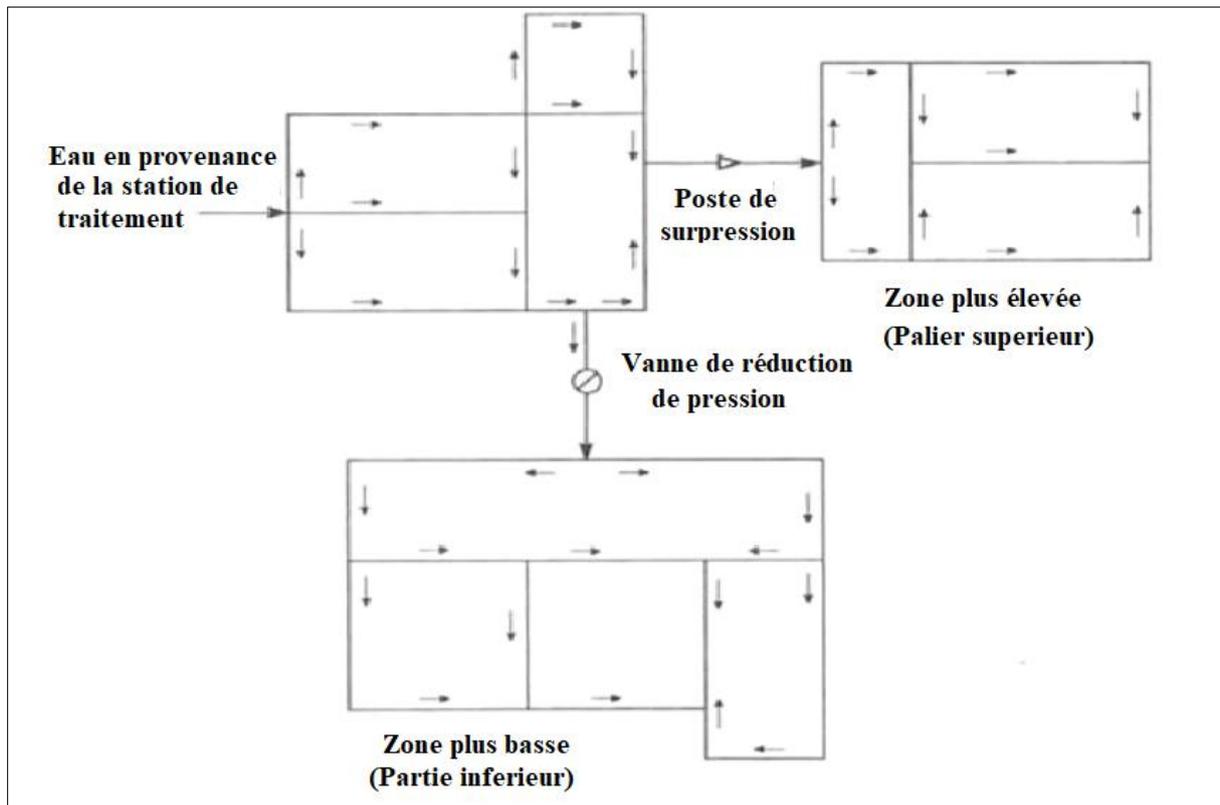


Figure 5. 2. Régulation de pression

Dans ce groupe les plus utilisées sont : le robinet vanne et la vanne à papillon.

5.1.1 Robinet-vanne

Le robinet-vanne est un appareil de robinetterie dont l'obturateur ou opercule se déplace perpendiculairement à l'axe de l'écoulement du fluide et conçu pour être utilisé en position ouverte ou fermée. Le robinet-vanne est appelé également vanne à opercule.

Les robinets vannes doivent avoir un passage intégral, lorsque l'obturateur est totalement relevé

Rôle :

- Contrôler l'écoulement de l'eau
- réguler le passage de l'eau
- Arrêter le flux de l'eau
- En fonction de son usage, ce robinet s'équipe d'un type de vanne différent :
- vanne papillon qui permet un écoulement « TOR »
- robinet à vanne pointeau qui permet le réglage du débit
- vanne à boisseau sphérique, pour les utilisations courantes

5.1.2 Vanne à papillon

La vanne à papillon s'utilise dans le sectionnement de fluides sous pression, grâce à un obturateur en forme de disque ou lentille. L'obturateur dit papillon se déplace dans le fluide par rotation autour d'un axe orthogonal à l'axe d'écoulement du fluide. Son fonctionnement normal est l'ouverture ou la fermeture totale. L'utilisation exceptionnelle des vannes papillon est également possible pour les robinets vannes-vidange de réservoir.

Tout comme les robinets-vannes, les vannes papillon ne doivent pas être utilisées en régulation, elles ne font que créer une perte de charge singulière et ne sont pas conçues pour cela. Des appareils spécifiquement conçus pour cela existent et font de la vraie régulation de pression et de débit.

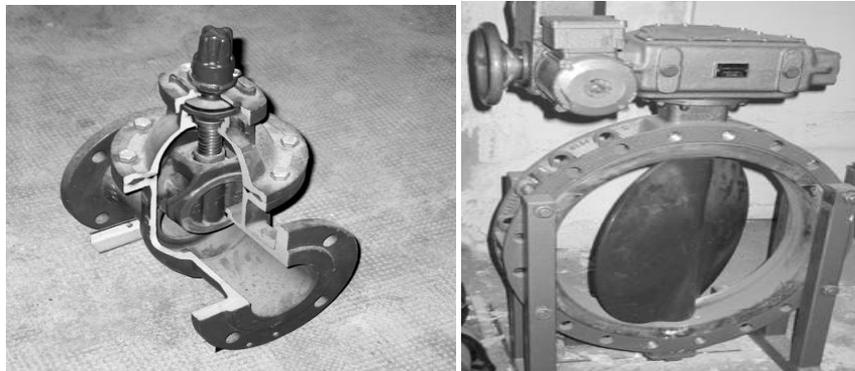


Figure 5.3. Vanne à opercule et vanne papillon (Fiche technique SFERACO)

5.2 CREPINE

Les crépines protègent les équipements sensibles aux sables et autres éléments présents dans les réseaux. Elles sont donc obligatoires sur les vannes de régulation hydraulique. Les crépines sont utilisées pour les réseaux d'adduction et de distribution d'eau. C'est une pièce métallique en tôle perforée ou en matière plastique, évidée et percée de trous, servant à arrêter les corps étrangers à l'entrée du tuyau d'aspiration d'une pompe ou d'un vidage par gravité. La crépine est constituée l'élément principal de l'équipement d'un ouvrage d'exploitation d'eau. Placées à la suite du tubage plein, face à une partie ou à la totalité de la formation aquifère, les crépines doivent :

- Permettre la production maximale d'eau claire sans sable.
- Résister à la corrosion due à des eaux agressives.
- Résister à la pression d'écrasement exercée par la formation aquifère en cours

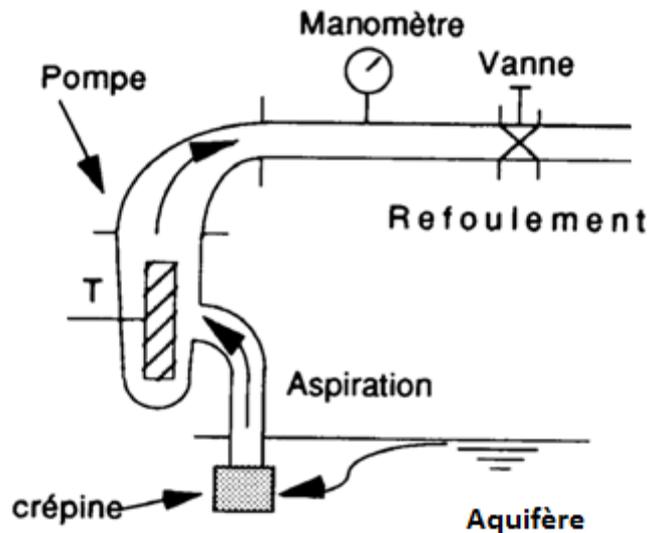


Figure 5. 4. Fonctionnement de la crépine

5.3 LES PURGEURS

Les purgeurs et ventouses protègent les canalisations des effets néfastes engendrés par l'accumulation d'air dans les points hauts ou les points singuliers des réseaux :

- interruption totale ou partielle du débit par la présence d'une poche d'air dans un point haut du réseau ;
- coups de bélier dus à la détente de la poche d'air ou à son déplacement dans les canalisations ;
- désamorçage des pompes et des siphons.

Les purgeurs assurent le dégazage à faible débit de l'air accumulé aux points hauts des canalisations en exploitation (0,3 bar). Ils existent dans 4 types de connectivité différents : avec bride, sans bride, avec robinet et sans aucune spécificité.

5.4 LES VENTOUSES

Les ventouses sont positionnées sur les points hauts des conduites et tous les 600 m, sur des conduites très longues.



Figure 5. 5. Les ventouses simple fonction (<http://www.cowalca.be/catalogue-produit>)

a. Fonction des ventouses

Leur fonction est la sortie et entrée d'air :

- la vidange d'air (désaérag) au remplissage car les poches d'air non évacuées rétrécissent jusqu'à obturation la veine liquide.
- Dégazage : Purge d'air en fonctionnement
- le remplissage d'air (aérag) en cas de dépression pour éviter la succion des joints, la collapse des tubes plastiques.

Les ventouses ont une triple fonction :

- évacuation d'air à haut débit lors de la mise en eau des canalisations
- admission d'air à grand débit lors de la vidange des canalisations (protection du réseau contre la mise en dépression des canalisations en cas de rupture de conduite)
- dégazage à faible débit en exploitation

b. Pose des ventouses

Les points hauts doivent être équipés de ventouses à triple fonction, PN 16.

Ces ventouses seront posées sous regards accessibles de dimensions suffisantes pour le passage de l'appareil. Si le trou du regard n'est pas au-dessus de la ventouse, prévoir, dans la couverture de la chambre, une bouche à clé à l'aplomb exact du robinet d'arrêt.

Les débits d'air à évacuer au remplissage, ou à aspirer à la vidange, peuvent être très importants, il importe donc de prévoir dans la chambre une conduite ou un orifice convenable de mise en communication avec l'air libre ayant une section au moins égale à celle de la tubulure. Prévoir également une vidange reliée à un drainage

5.5 ORGANES DE SECURITE

5.5.1 Le clapet

Le clapet a pour fonction d'assurer la circulation de l'eau dans un sens et d'empêcher le retour en cas de reflux. Chaque clapet possède sa particularité et sa propre fonctionnalité :

- Le clapet battant
- Le clapet à double battant
- Le clapet à disques concentriques
- Le clapet à ressort
- Le clapet de non-retour
- Le clapet pied de crépine : utilisé pour les stations de pompage. À l'arrêt des pompes, il retient automatiquement la colonne d'eau pour en éviter le désamorçage.



Figure 5. 6. Les clapets

Les clapets vont principalement être installés autour d'une pompe. Cette dernière doit obligatoirement être en charge pour qu'elle n'aspire pas d'air au démarrage. Elle doit aspirer un fluide pour pousser de l'eau dès le démarrage. Sans ces clapets, la pompe pourrait se vider et aspirer de l'air. Les clapets permettent donc qu'elle soit auto-amorcée.

5.5.2 Les accessoires

- Les vannes d'isolement pour isoler un tronçon dans le cas d'une réparation, contrôle ou autre
- Les vannes de vidange ou de décharge : placées au point bas servent à évacuer l'accumulation de l'eau qui se fait dans les points bas
- Les ventouses : placées aux points hauts, servent à éliminer l'air
- Le clapet : permet le passage de l'eau dans un seul sens
- Les coudes : permettent la liaison de deux (02) conduites
- Les tés : permettent la liaison de trois (03) conduites
- Les croix : permettent la liaison de quatre (04) conduites
- Les cônes convergent : ce sont des réducteurs de débit



Figure 5. 7. Raccordement en coude dans un réseau d'alimentation en eau potable (photo prise par Baba Hamed à la Souterraine – Office internationale de l'eau – Limoge, 2011)

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **Baba Hamed S (2011)** . Sources photos : Visite de l'Office internationale de l'eau - La Souterraine lors du colloque international sur la gestion de l'eau –Colloque International « La gestion de l'eau, défi du XXIème siècle » Limoges, France, 19 – 21 octobre 2011
2. **Carlier M** « Hydraulique générale et appliquée » Edition Eyrolles Paris 1986
3. **Dupont A** « Hydraulique urbaine Tome I - Hydrologie- Captage et traitements des eaux » -Editions Eyrolles, 1978
4. **Dupont A** «Hydraulique urbaine Tome II - ouvrages de transport - élévation et distribution des eaux -Editions Eyrolles, 1979
5. Document ONEP – Office national des eaux potables
6. Document technique Alcahyd
7. **Gomella C, Guerree H** « Alimentation en eau potable dans les agglomérations urbaines
8. **Goupe Chiali** - Catalogue technique – Réseaux d'eau potable
9. **Lencaster A** « Hydraulique générale » Edition Eyrolles Paris 1999
10. Manual Técnico Tuberías de Polietileno de AseTUB – Catalogue AGBAR
11. **Pimenov A , Tagui-Zade Kh** «Hydraulique générale» Office des publication universitaire 1993
12. **SFERACO** . Robinetterie et raccord
13. www.panoramio.com photos of the world
14. www.si.ens.cachan.fr
15. <https://www.lacroix-environnement.fr/reservoir-eau-potable>