



UNIVERSITE DE LARBI BEN M'HIDI OUM EL BOUAGHI
FACULTE DES SCIENCES ET DES SCIENCES APPLIQUEES
DEPARTEMENT D'HDRAULIQUE



Polycopie du cours :

Alimentation en eau potable

Elaboré par Dr : **BALAH Belkacem.**

Année universitaire : 2019-2020

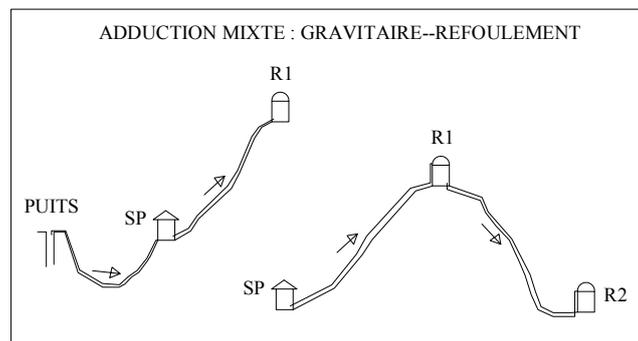
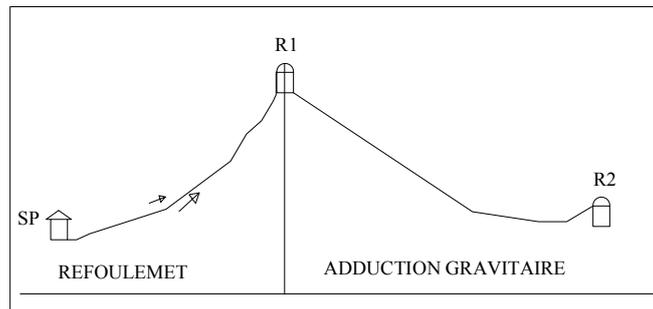
Chapitre III : Adductions d'eaux

1. Généralités :

L'adduction est l'ensemble des installations, reliant le point de captage (source, puits, lac forage, barrage) et l'ouvrage de stockage.

2. Différent types d'adduction :

a. Adduction gravitaire :



Lorsque la pente suffisante existe entre la zone de captage de l'eau et celle de son utilisation, il est possible si le relief n'est pas trop tourmenté de réaliser une adduction par gravité à écoulement libre. Il existe alors un écoulement à surface libre ou la pression est égale à la P_{Atm} .

L'eau écoule dans un canal ou dans une tuyauterie dont la section n'est pas jamais remplie.

b. Adduction par remouillage :

L'eau est transitée vers le réservoir de stockage avec des pompes dans les conduites forcées.

c. Quelques avantages et inconvénients de l'adduction à surface libre :

Si le relief très contourné nécessite pour ce type d'adduction de respecter une pente à peu près constante à allonger sensiblement la longueur de l'ouvrage

*/ absence du phénomène de coup de bélier ;

*/ risque de perte des qualités d'eau ;

*/ risque de pollution des quantités d'eau.

Choix entre les deux modes d'écoulements (surface libre, en charge) :

Le choix repose sur : les trois critères d'ordres techniques et économiques, par exemple les pertes d'eau dans les aqueducs étant faibles que les conduits en charges, Alors le choix entre les deux canaux dépend :

*/ nature de terrain : terrain plat .terrain accidenté, terrain peu accidenté

*/ conditions du tracé.

* Les moyens d'exécutions ainsi que la comparaison entre les dépenses de réalisation et d'entretien.

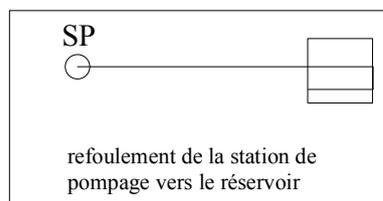
3. Système de distribution :

Aspect	Ramifié	maillé
- Perte de charge - Ecoulement	- Elevé - Risque de zones mortes aux extrémités élevées.	- Faibles. - Satisfaisant.
- Frais de pompage	- faible	- élevé

4. Système de distribution sans stockage :

Se système est caractérisé par un refoulement continu 24 /24 h avec un Q variable en fonction du régime de consommation. Ce système présente des inconvénients parmi lesquels :

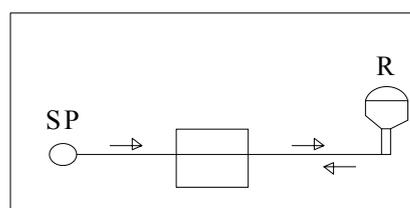
- En cas de panne de la pompe qui peut donner plusieurs heures d'où l'agglomération sera privée d'eau.
- En cas de fuite de débit de la section de pompage augmente ce qui provoque une perte d'énergie.



5. Système de distribution par refoulement avec stockage :

Se système est caractérisé par une distribution mixte, il est divisé en 02 systèmes :

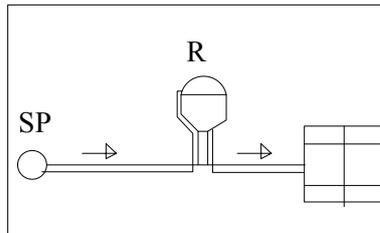
La station de pompage refoule vers le réseau puis en stockage dans le réservoir dans le cas de faible consommation et en cas de pointe, une partie du réseau est alimenté à partir de d'artois par refoulement et l'autre partir est alimenté à partir de réservoir par gravité.



La station de pompage refoule vers le réservoir de stockage puis la distribution sera faite à partir de ce réservoir. Ce système est appelé distribution avec un réservoir de tête.

6. Système de distribution par gravité :

Se système est le plus économique puisque ne consomme aucune énergie, il existe si est seulement si la source d'eau située au point le plus élevée de l'agglomération de tel façon à assurer la pression suffisante en tout point de réseau de distribution .



Chapitre IV : Réseaux de distributions

1) Généralités :

A partir du ou des réservoirs, l'eau est distribuée dans un réseau de canalisation sur laquelle branchements seront piqués en une de l'alimentation des abonnés.

Par définition, le réseau de distribution est un système de conduite connecté entre eux. L'eau est distribuée à partir de ce réseau qui doit être dimensionné de telles façons à assurer un Q_{\max} et la pression nécessaire des consommateurs.

2) Choix et types de réseau de distribution :

*/ Réseau maillé

*/ Réseau ramifié

*/ Réseau mixte

L'objectif de calcul de l'écoulement dans un réseau donné et la détermination des paramètres hydraulique du réseau tel que :

- Le débit, la vitesse, les pertes de charges dans les canalisations.
- Charge piézométrique et pression au nœud du réseau.

Remarque :

Les points à considérer dans le dimensionnement du réseau de distribution sont :

- ❖ La topographie des lieux pour les critères de pressions.
- ❖ la densité de la population et ses activités pour calculer et évaluer les besoins en eau des différents secteurs résidentiel, commerciaux et industriels.

Le réseau maillé permet, une alimentation en retour, une simple manœuvre de robinet permet d'isoler le tronçon, en raison de la sécurité qu'il procure, il doit toujours préférer au réseau ramifié.

Le réseau ramifié dans lequel les conduits ne comportent aucune alimentation en retour, présente l'avantage d'être économique, mais il manque de sécurité et de souplesse en cas de rupture un accident sur la conduite principale privé d'eau de tous les abonnés.

A. Débit :

Les conduites devront pouvoir transiter les plus forts débits instantané en tenant en compte le débit de pointe Q_{pointe}

B. Choix Q :

Ce préfère aux diamètres économique normalisé donné par les constructeurs locaux.

C. Vitesse de l'eau :

Il n'existe aucune vitesse minimale au maximale à respecter, toute fois les vitesses nulles ou quasi nulles peuvent responsable de mauvaise qualité d'eau.

La vitesse de l'eau dans les conduits sera de l'ordre de (0.5 à 1.5) m/s.

On évitera les vitesses > 1.5 m/s de même que celle < 0.5 m/s. (la vitesse \max pour retarder la corrosion des conduites, évité que les pentes de charge excessive ne se produisent).

D. Pression :

Le réseau doit être calculé pour satisfaire notamment aux conditions de pression suivantes :

- Une charge minimale de 3 m doit être sur les orifices de puisage les plus élevés « robinet ».
- En vue de la bonne tenue des canalisations et notamment de leurs joints. il y'a lieu d'éviter en ville seulement des pressions supérieures à 40 m qui risquent d'apporter des bruits désagréable dans la installation des abonnés.
- A titre indicatif, selon la hauteur des immeubles, on prévoit des pressions maximales aux sols exprimées au (mce).

$$P_{Adm} = 10 + 4.N. \quad (\text{mce})$$

P_{adm} : pression admissible qu'il faut assurer au point le plus défavorable.

N : nombre d'étage ou bien.

12 ÷ 15 (m) pour 1^{ère} étage

16 ÷ 19 (m) pour 2^{ème} étage

20 ÷ 23 (m) pour 3^{ème} étage

24 ÷ 27 (m) pour 4^{ème} étage

29 ÷ 32 (m) pour 5^{ème} étage

33 ÷ 36 (m) pour 6^{ème} étage

37 ÷ 40 (m) pour 7^{ème} étage

Pour les immeubles les plus élevés ; les propriétaires se trouvent obligés d'installer dans les sons sol des groupes supresseurs.

❖ Dispositions constructives :

- Choix de matériaux,
- Les points singuliers :
 - les vannes ou robinet vannes de sectionnement permettent d'isoler un tronçon du réseau.
 - les purges placées aux points bas du réseau.
 - les ventouses aux points hauts.
 - les antis béliers généralement situés au point de production ou de suppression.

3) Conditions spéciales d'incendies :

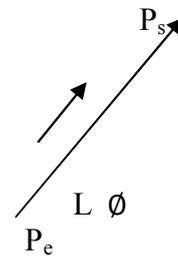
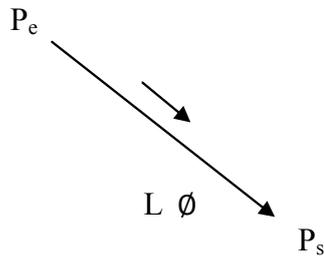
Les appareils hydrauliques utilisés pour pompiers soit des bouches d'incendie ou des poteaux d'incendie, doivent être espacés de (200 ÷ 300) m, si le risque est faible, l'espacement peut aller à 400m, ces bouches d'incendies sont installées sur les conduites maîtresses ou principale, la pression au sol est 10 mce

Connaissant les côtes du terrain naturel (CTN) de chaque point de réseau et les pertes de charges pour chaque tronçon. On détermine les côtes piézométriques de chaque point est donnée par la formule suivante :

$$CP_i = CP_{i-1} - J \quad \text{Avec} \quad P_i = CP_i - CTN$$

CP_i : Côte piézométrique du point considéré (m) ;

J : Pertes de charge entre les points considérés (m).



P_e : pression d'entrée ;

P_s : pression de sortie ;

P_i : pression de service au point considéré (m) ;

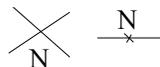
CP_i : côte piézométrique du point considéré (m) ;

CTN: côte du terrain naturel du point considéré (m).

4) Description du réseau :

a) **Nœud** : un nœud N est un point de réseau satisfaisant à l'une des conditions suivantes :

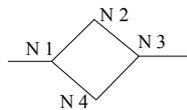
- C'est un point de jonction d'un nombre supérieur ou égal à trois canalisations.
- C'est un point où il s'avère nécessaire de distinguer entre partie amont et partie aval d'une canalisation.



b) **Arrêté** : un arrêté est la partie de canalisation comprise entre deux nœuds



c) **Maille** :



Une maille est constituée par un ensemble d'arrêtés formant un cycle fermé.

5) Calcul du réseau :

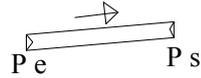
(a) Calcul du réseau ramifié :

Les problèmes relatifs aux conduites ramifiées peuvent être résolus :

- Soit par calcul en appliquant la méthode numérique.
- Soit par la méthode des courbes caractéristiques.

Dans les deux cas on calcul successivement chaque tronçon, on sait que pour sa connaissance parfaite, il faut connaître les 04 éléments : Q, V, D et J.

$$J = \sum_{i=1}^N J_i = l \cdot j$$



Le problème se pose généralement de deux façons :

- On connaît le débit Q , la pression et la longueur, il faut dimensionner le réseau en respectant la pression d'entrée au point A (P_e).
- On connaît le Q , la pression P_e en A et la longueur du tronçon.

Il faut dimensionner le tronçon en respectant P_s en B.

$$P_e = P_s + J$$

1^{ère} étape : Calcul $q_{\max h}$

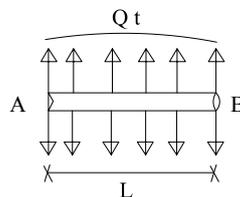
2^{ème} étape : $q_{\text{sp}} = \frac{q_{\max h}}{\sum L}$

3^{ème} étape : calcul le débit en route [débit propre pour chaque tronçon] : $q_{\text{route}} = q_{\text{sp}} \cdot \sum l$

4^{ème} étape : calcul les débits Nœudeux $q_r = 0,5 \sum q_r$

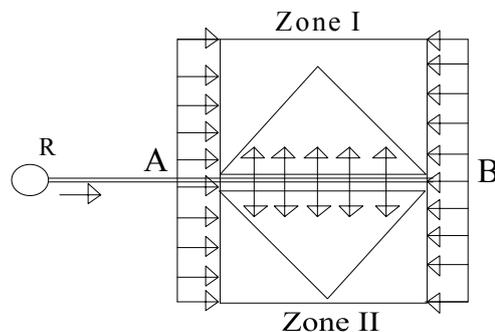
5^{ème} étape : calcul le débit propre pour chaque tronçon.

Le débit en route est un débit qui entre à l'amont du tronçon et ne sort pas à l'aval puisque, par définition, il est consommé par les abonnés tout au long du tronçon.



Un débit en route, supposé uniformément repartis sur toute la longueur du tronçon est calculé par l'une des méthodes suivantes :

*) Soit proportionnellement à la surface desservie par le tronçon, en fonction du nombre usagers à desservie par le tronçon pendant l'heure de pointe, il faut alors subdiviser l'agglomération en plusieurs zones suivant leurs sources d'alimentation.



$$Q_r(AB) = Q_{\text{Max}}(\text{zone I}) + Q_{\text{Max}}(\text{zone II})$$

*) Soit proportionnellement à la longueur du tronçon, on utilisant q_{sp} c'est-à-dire :

$$Q_r(AB) = q_{sp} \cdot L_{AB}$$

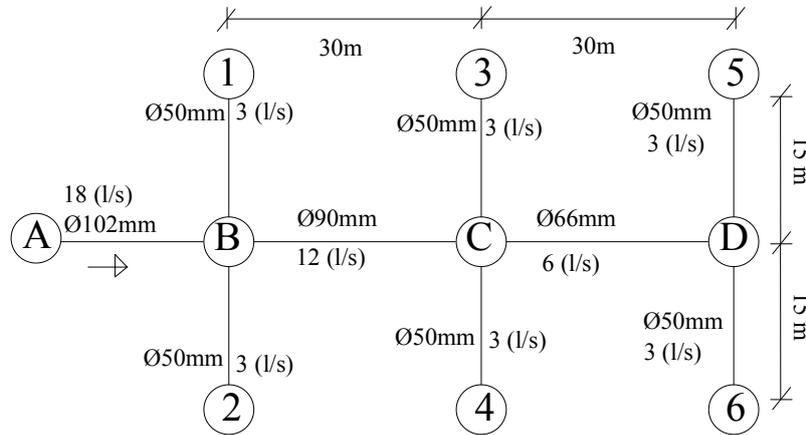
La deuxième méthode, bien quelle soit moins précise peut être utilisée dans l'alimentation des zones rurales, ou éventuellement quand la consommation est homogène dans toute les zone à alimenter.

\emptyset	Q	L	J (mce / m)	P_e	J	P_s

Exemple 1 :

Calculer la pression au sol P_s pour chaque nœud, sachant que la pression au point A est $P_a = 30$ mce.

Sachant la rugosité des conduites est $\epsilon = 0.01$ mm.



Solution :

Appliquant la formule de HAZEN Williams pour le calcul de pertes de charge h_p .

$$J = 10.69.L \frac{Q^{1.852}}{CHW^{1.852}} \cdot D^{4.87}$$

N°	Q (l/s)	\emptyset (mm)	i (m/m)	J (m)	$P_e - J$	P_s	Vérifier la vitesse (m/s)
A	18	102	0,047	0,71	29,29	30	2,2
B	3	50	0,055	1,65	27,64	29,29	1,53
1	3	50	0,055	1,65	27,64	27,64	
B	12	90	0,041	1,23	28,06	29,29	1,89
C	3	50	0,055	1,65	26,41	28,06	1,53
3	3	50	0,055	1,65	26,41	26,44	
C	6	66	0,051	1,54	26,52	28,06	1,75
D	3	50	0,055	1,65	24,87	26,52	1,53
5	3	50	0,055	1,65	24,87	24,87	

Nous remarquons que les valeurs des vitesses sont $>1,5$ (m/s), en conséquence, il est nécessaire de modifier le diamètre des conduites jusqu'aux les vitesses deviennes inférieures à 1,5 (m/s).

Exemple 2 :

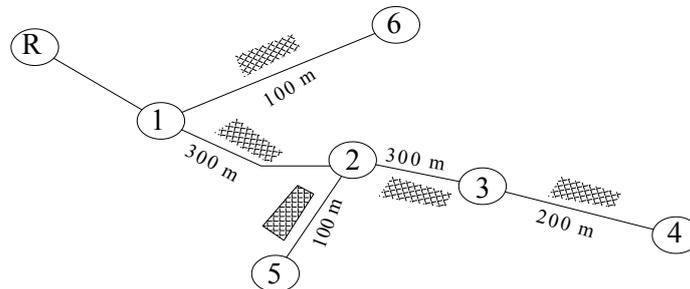
Soit un réseau de distribution représenté sur la figure ci-dessous.

Le débit maximal horaire $q_{\max h} = 20 \ell / S$

Questions : 1. calculer q_{sp}

2. calculer les débits nœudeux.

3. calculer les débits des conduits.



Solution:

$$1) \quad q_{sp} = \frac{q_{\max h}}{\sum L} = \frac{20}{1000} = 0,02 (\ell / s) \text{ mL}$$

$$2) \quad q_r = q_{sp} \cdot L$$

$$q_{r1-6} = q_s L_{1-2} = 0,02 \cdot 100 = 2 \ell / s$$

$$q_{r3-4} = 200 \cdot 0,02 = 4 \ell / s$$

$$q_{r1-2} = q_{sp} \cdot L_{1-2} = 0,02 \cdot 300 = 6 \ell / s$$

$$q_{r2-3} = q_{sp} \cdot L_{2-3} = 300 \cdot 0,02 = 6 \ell / s$$

$$q_{r2-5} = 100 \cdot 0,02 = 2 \ell / s$$

$$q_{\max h} = \sum q_r = 20 \ell / s$$

$$3) \quad q_{N4} = 0,5 \cdot \sum q_r = 0,5 \cdot q_{r3-4} = 0,5 \cdot 4 = 2 \ell / s$$

$$q_{N5} = 0,5 q_{r2-5} = 0,5(2) = 1 \ell / s$$

$$q_{N2} = 0,5 (q_{r2-5} + q_{r2-3} + q_{r1-2}) = 0,5 (2+6+6) = 7 \ell / s$$

$$q_{N3} = 0,5 (q_{r3-4} + q_{r2-3}) = 0,5 (4+6) = 5 \ell / s$$

$$q_{N1} = 0,5 (q_{r1-2} + q_{r1-6}) = 0,5 (2+6) = 4 \ell / s$$

$$q_{N6} = 0,5 q_{r1-6} = 0,5 \cdot 2 = 1 \ell / s$$

$$4) \quad q_{C3-3} = q_{N4} = 2 \ell / s$$

$$q_{C2-5} = q_{N5} = 1 \ell / s$$

$$q_{C2-3} = q_{C3-4} + q_{N3} = 2+5=7 \ell / s$$

$$q_{C1-6} = q_{N6} = 1 \ell / s$$

$$q_{C1-2} = q_{C2-5} + q_{N2} + q_{C2-3} = 7 + 7 + 1 = 15 \ell / s$$

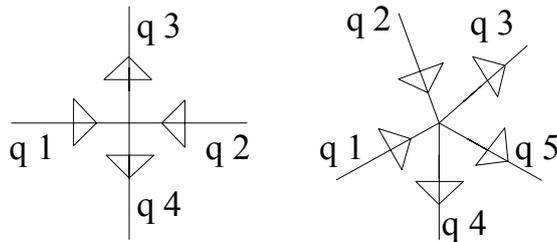
$$q_{C2-1} = q_{N1} + q_{C1-6} + q_{C1-2} = 20 \ell / s$$

b) calcul des réseaux maillés:

Le calcul des réseaux maillés est conduit par approximation successive selon la méthode de HARDY CROSS.

Cette méthode repose sur les deux lois suivantes :

1^{ère} loi : en un nœud quelconque de conduite, la somme des débits qui arrivent à un nœud est égale à la somme des débits qui en partent.



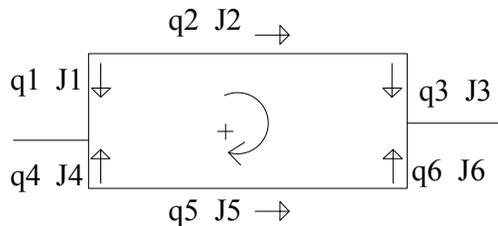
$$q_1 + q_2 = q_3 + q_4$$

$$q_1 + q_2 = q_3 + q_4 + q_5$$

Cette loi est évident est à rapprocher de la loi de Kirchoff en électricité.

2^{ème} loi : le long d'un parcours de la maille, la somme algébrique des pertes de charge est nulle c'est-à-dire :

$$-J_1 + J_2 + J_3 + J_4 - J_5 - J_6 = 0$$



La méthode consiste donc :

1. sélectionner la maille à étudier dans les grands réseaux on peut se maitre en considération les mailles principales et on négligeant les mailles secondaires.

2. à effectuer un sens arbitraire d'écoulement du Q pour chaque tronçon lorsque le Q réel s'écoulera suivant ce sens, il sera positif (+), si non, il sera négatif (-), l'orientation positive est donné par le sens du déplacement des Eguilles d'une montre pour le sens d'écoulement de l'eau indiqué par les flèches.

*) En fin à effectuer à chaque tronçon un Q provisoire qui sera ajusté par la suite.

*) si la distribution des débits posés est correctes le principe d'équilibre des pertes de charges est vérifié.

*) si l'hypothèse initiale sur les débits n'est pas validée corriger les débits.

Des valeurs corrigées supposant :

$$Q_{cor} = Q_0 \pm \Delta q$$

Avec :

Q_0 : Débit initial proposé ;

Q_{cor} : Débit corrigé ;

Δq : Débit correctif.

Le calcul s'arrête quand la correction devient négligeable c'est-à-dire : $\Delta q \cong 0$

$$\Delta q = -\frac{1}{2} \frac{\sum J_i}{\frac{\sum J_i}{\sum |q_i|}} \quad \text{Formule de FAIRE}$$

$\sum J_i$: Somme des pertes de charge dans toutes les tranches pour chaque maille par la formule de DARCY Weisbach.

$$J = \lambda \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} = 8\lambda L_{eq} \frac{Q^2}{\pi^2 \cdot 2g D^5} = R \cdot Q^2$$

Avec :

Q : débit transité par cette branche (m^3/s)

D : diamètre de la conduite (m) ;

R : résistance de la conduite ;

g : Accélération de pesanteur.

λ : Coefficient de pertes de charge.

$L_{eq} = 1,15 L$

L_{eq} : longueur équivalent.

Remarque :

Les pertes de charges singulières estimées de 15% de perte de charge linéaire pour chaque tronçon de maille. On calcul une correction de débit de la manière suivante :

$$\Delta q_i = -\frac{\sum R_i \cdot Q_i^n}{\sum n \cdot R_i \cdot Q_i^{n-1}}$$

n = 2 cas de régime turbulent

Ou bien

$$\Delta q_i = -\frac{1}{2} \cdot \frac{\sum R_i \cdot Q_i^2}{\sum R_i \cdot Q_i}$$

Si en remplaçons l'orientation de la maille, les nouveaux débits devient :

$$q_1 + \Delta q_1 = q'_1$$

$$- q_2 - \Delta q_2 = q'_2$$

Si la 2ème loi n'est pas vérifiée, on doit faire une nouvelle correction des débits et on s'arrête les approximations jusqu'aux :

$$\sum J < 0,5 m$$

$$\Delta q \leq 0,4 (\ell /s)$$

Remarque :

Une fois obtenus l'équilibre des mailles, il reste à calculer les réseaux ramifiés à l'intérieur.

CHAPITRE V :

Les ouvrages de stockage d'eau potable

1- Généralité

Très souvent, les installations d'adductions et de distributions d'eau comportent un réservoir, ce réservoir à une double fonction :

a- il assure la sécurité de la distribution, soit en cas de défaillance de courte durée, soit pour fournir rapidement une quantité d'eau importante.

b- il assure une régulation entre les différents débits :

* débit consommé, qui est le plus souvent presque nul la nuit, et peut s'atteindre (3÷4) fois le débit moyen journalier $Q_{moy j}$.

* débit des sources d'approvisionnement, généralement peu variable au cours de la journée.

* débits des pompes d'adductions.

2- rôle du réservoir

- Un outil de sécurité pour la lutte contre l'incendie.

- Un impératif technique et économique.

- Un impératif technique et sanitaire.

- Permet la régularisation des pressions et de débit entre le régime de production et le régime de consommation dans le réseau.

- D'emmagasiner l'eau lorsque la consommation est inférieure à la production et la restituent lorsque la consommation devient supérieure à la production.

3- Emplacement de réservoir

Le choix de l'emplacement du réservoir est effectué en tenant compte des conditions suivantes : topographiques et géologiques.

Le choix du site est dicté essentiellement par des considérations de pression aux points d'alimentation, il est recommandé que cette pression atteigne 10 m de colonne d'eau, et si possible 20m, il est souhaitable de ne pas dépasser 40 m, exceptionnellement 60m (certains équipement ne peuvent en aucun cas respecter plus de 70m).

On tiendra compte de la cote des points d'alimentation les plus bas et les plus hauts.

4- Type de réservoirs d'eau potables

Les réservoirs d'eau potables peuvent être de type souterrain en béton armé ou hors terrain en acier. Pour les constructions hors terre, on trouvera les réservoirs de type élevés ou cylindriques.

4-1- Réservoirs souterrains

Ce type de réservoirs est employé lorsque le réservoir est construit à même station de traitement de l'eau ou lorsque le site est suffisamment élevé afin d'assurer une pression adéquate par gravité.

Remarque :

La section rectangulaire est surtout adoptée pour les réservoirs de grande capacité (supérieure à 10000 m³).

La section circulaire est généralement adoptée pour les réservoirs de capacité inférieure à 10000 m³.

4-2- Réservoirs cylindriques

Lorsqu'il n'y a aucun site ayant une élévation suffisante pouvant assurer une pression adéquate dans le réseau à partir d'un réservoir souterrain, on utilise parfois un réservoir cylindrique, le quel comprend une réserve de soutien assurant l'élévation nécessaire à la réserve utile.

4-3- Réservoirs élevés

Lorsqu'il n'a aucun site ayant une élévation suffisante pouvant assurer une pression adéquate dans le réseau, ce type de réservoir est supporté par des piliers.

Les capacités courantes des cuves s'échelonnent entre 150 et 6000 m³ la hauteur d'eau peut atteindre (7÷ 8) m.

4-4- Réservoirs sous pression

Les réservoirs hydropneumatiques ne sont acceptables que pour les petits réseaux desservant 50 logements au moins et n'assurant aucune production contre les incendies.

5- Château d'eau

Le château d'eau fait partie de la famille des réservoirs d'eau. Lorsque la topographie permet de disposer d'un point haut pour construire un réservoir au sol, et lorsque ne présente pas de point assez haut. Le concepteur du réseau a le choix entre un château d'eau et un réservoir au sol alimentant un sur- presseur.

Avantages du château d'eau par rapport au réservoir au sol avec sur- presseur

On peut distinguer les avantages suivants :

- Sur le plan énergétique ;
- Sur la fiabilité ;
- Sur le coût de fonctionnement.

6- Capacité du réservoir

Le volume des réservoirs est établi comme étant la somme de la réserve d'opération et de la réserve d'incendie. Cette capacité oscille alentour du volume moyen journalier d'eau consommée. Le remplissage du réservoir se fait par pompe d'alimentation de façon automatique pour maintenir un niveau constant dans le réservoir.

Les volumes des réservoirs les plus utilisés sont :

250 ; 500; 1000; 1500; 2000; 3000 ; 5000; 7500; 10000; 12000; 15000 et 20 000 m³.

A – Réserve d'opération

La réserve d'opération permet de faire face aux variations horaires de débits dans le réseau de distribution.

b – Réserve d'incendie

Le débit d'incendie requis pour les agglomérations dépend de la superficie et de son type de construction. Au nombre de risque et de densité de la population

Capacité pratique

Généralement en alimentation urbaine, il est admis que la capacité de réservoir n'excède pas (20 à 30) de $Q_{\text{moy j}}$

D'où :
$$V_r = (20 \div 30)Q_{\text{max j}} + V_{\text{inc}}$$

$V_{\text{inc}} : 3,6 Q_{\text{inc}} \cdot T$

Q_{inc} : débit d'incendie

T : durée d'une incendie (2 ÷ 3) h

Condition d'exploitation	Capacité utile
- Adduction nocturne	- 90% volume journalier
- Adduction avec pompage solaire 8(h/j)	- 50% volume journalier
- Adduction continue 24h/24	- 30% volume journalier
- Adduction du jour durant les périodes de consommations	-10 à 30% volume journalier

On utilisant la méthode des coefficients horaires

$$V_r = | \Delta V_{MAX}^+ | + | \Delta V_{MAX}^- | + V_{\text{inc}}$$

Formule pour pré dimensionné un réservoir circulaire semi enterré

Selon la méthode de FONLLADOSA

$V \text{ (m}^3\text{)}$

Diamètre de la cuve

$$D = 1.405 \sqrt[3]{V} \text{ (m)}$$

Hauteur d'eau utile

$$h = 0.46 d \text{ (m)}$$

Hauteur libre du niveau de l'eau

Jusqu'a la base de ceinture de calotte

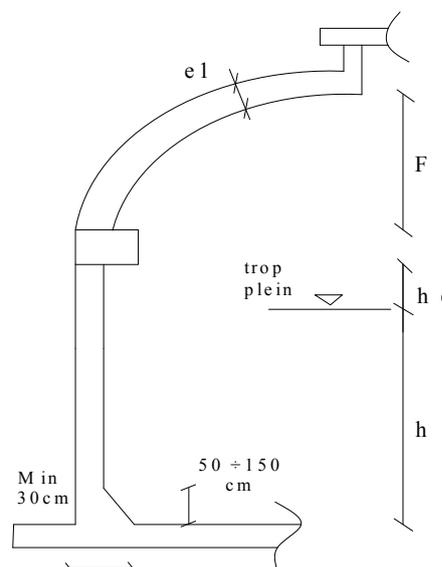
$$h_0 = 0.1 d$$

Flèche de la coupole

$$F = 0.104 d$$

Epaisseur de la calotte

$$e_1 = 0.112d^2 \text{ (d en (m) , } e_1 \text{ (cm))}$$



Épaisseur maximale de la paroi à la base

$$e_{\max} = 0,207 d^2$$

e_{\max} est basé sur les contraintes maximales σ_{\max} en traction de 10 bars

Paroi (selon cahier des clauses techniques du béton armé CCBA règles de BEAL 68)

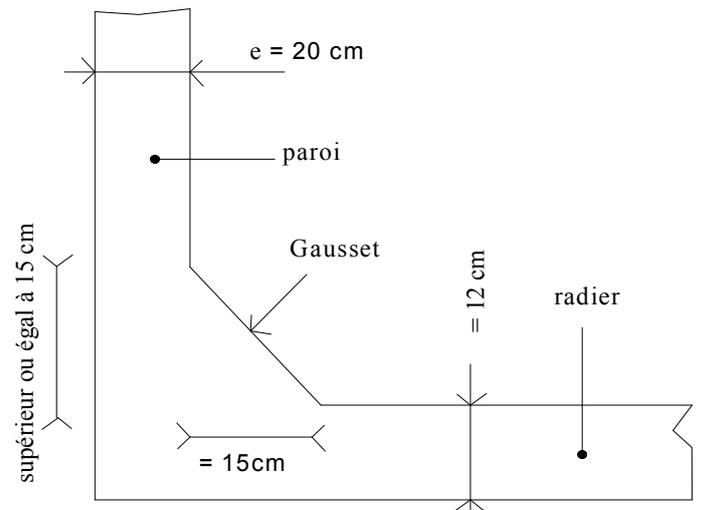
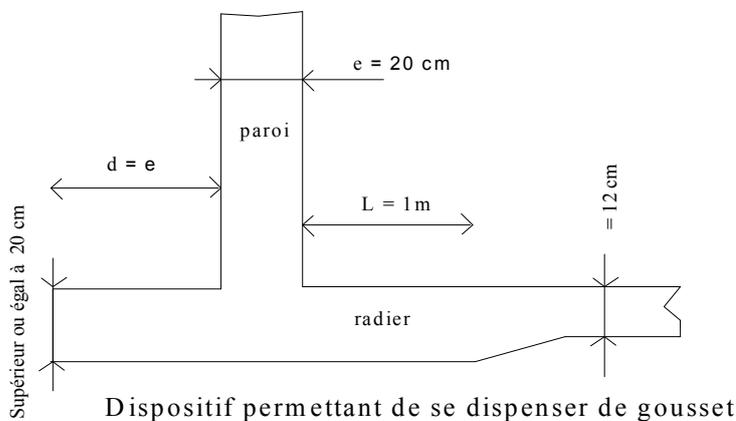
L'épaisseur (e) des parois moulées ne doit pas être inférieure à 12 cm.

Les textes réglementaires prévoient normalement une section minimale d'armature principale, le diamètre minimal de ces armatures est de :

- 8 mm s'il s'agit de ronds lisse.
- 6 mm s'il s'agit de barre ou de fils à haute adhérence.

Les quadrillages formés par les armatures principales et les armatures de répartitions doivent avoir des mailles de dimensions au plus égale à 15 et 20 cm ; deux nappes de quadrillages, une par face, sont à prévoir dès que l'épaisseur de la paroi dépasse 15cm.

Lorsque la stabilité d'une paroi est principalement assurée par un encastrement sur le radier ou sur une autre paroi, des goussets (coulés en même temps que le radier) sont généralement nécessaire à moins que les parois ne soient peu hautes et que l'épaisseur du radier ne soit au moins égal à 20cm.



En général on détermine empiriquement l'épaisseur de béton à la base par la formule suivante:

$$e = \frac{H.D}{4}$$

Épaisseur (e) en cm, H et D en m.

Coupole de fond:

Cette coupole se calcule de la même manière que la coupole de couverture.

Remarque :

La hauteur de l'eau dans les réservoirs doit être (3 ÷ 6) m et 8 m dans des cas exceptionnelles.

Calcul de la côte du radier de réservoir

Il faut, évidemment, que l'emplacement choisi pour édifier le réservoir soit compatible avec l'un des rôles qu'il doit jouer, c à d donner aux abonner une pression suffisante au moment de la pointe.

La cote du radier de réservoir est donnée par formule suivante :

$$C_T = C_{TN} + P_S + \sum H_I$$

C_{TN} : Côte de terrain naturel (m)

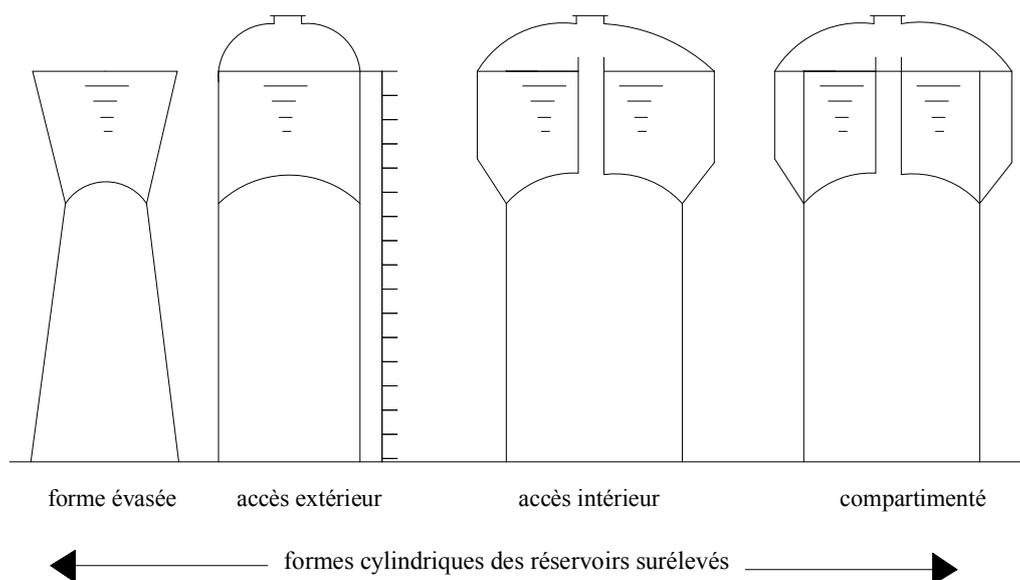
P_S : Pression impose au sol (m)

$\sum H_I$: Somme des pertes de charges le long du trajet du radier jusqu'à le point le plus défavorable.

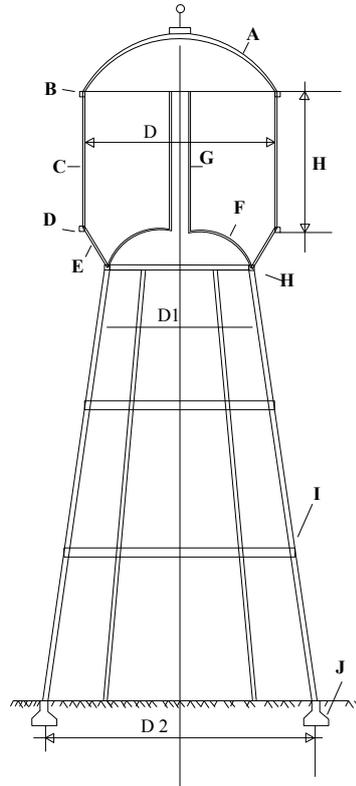
7- Château d'eau (réservoir sur élevés sur tour ou sur pylône)

Les capacités courantes des cuves s'échelonnent entre 150 et 6000 m³. La hauteur d'eau peut atteindre 7 à 8m. Le réservoir sur élevé demande une architecture appropriée au site ; il ne doit pas détruire l'environnement et doit s'insérer normalement dans le paysage.

La cuve doit être, de plus, visitable ventilée, et la chambre de manœuvre se situe au pied de la tour où se trouvent réunies les vannes. Seule la vanne de la vidange se manoeuvrera à partir d'une plate forme ménagée sous la cuve.



Les châteaux d'eau dont la forme classique comprennent les éléments suivants :



a/ coupole sphérique de couverture avec un trou de sortie au centre ;

b/ ceinture supérieure B ;

c/ réservoir cylindrique ;

d/ ceinture intermédiaire D ;

e/ tronc de cône E remplacé quelque fois par une surface torique ;

f/ coupole sphérique du fond F ;

g/ cheminée d'accès au réservoir G ;

h/ poutre circulaire H sous le tronc de cône (ceinture inférieure) ;

i/ poteaux au nombre de 4, 6, 8 ou 12 entretoisés par les poutres horizontales

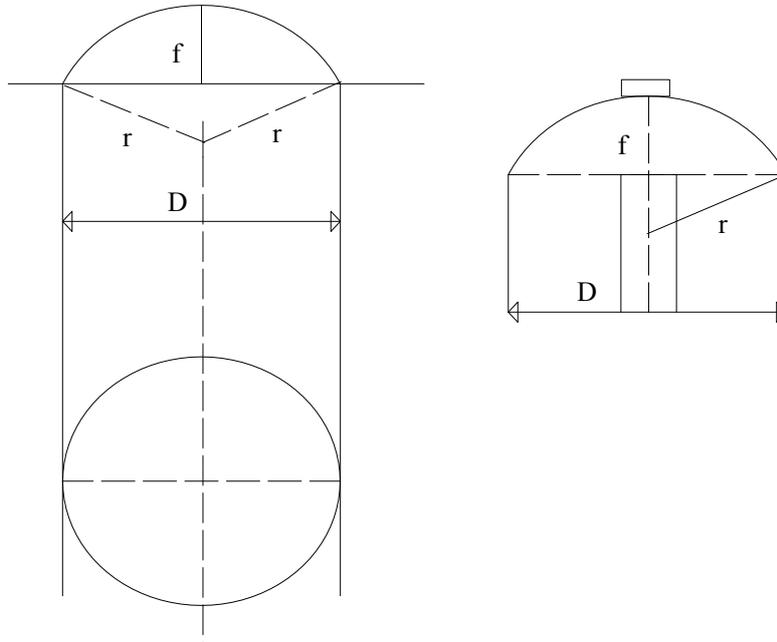
Les poteaux sont remplacés quelquefois par au tour en maçonnerie ou en béton armé ;

j/ semelles J sous poteaux.

7-a/ Coupole sphérique de couverture

La coupole supérieure doit, outre son poids, supporter une charge de neige, et peut être aussi appelée à supporter une couche de terre d'isolation et/ou équipement géodésique.

Dans les cas courants l'épaisseur est de 6 à 8cm au sommet, et 8 à 12 à la base.



Le rayon de la coupole sera donné par : $r = \frac{D^2 + 4f}{8f}$ d'où

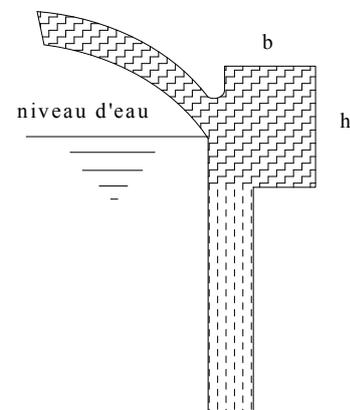
f : Flèche de la coupole.

D : diamètre de la cuve

Surface (s) est égale à : $S = \pi \left[\left(\frac{D}{2} \right)^2 + f^2 \right]$

7-b/ Ceinture supérieure

La ceinture supérieure se calcul comme un anneau soumis à une pression interne.

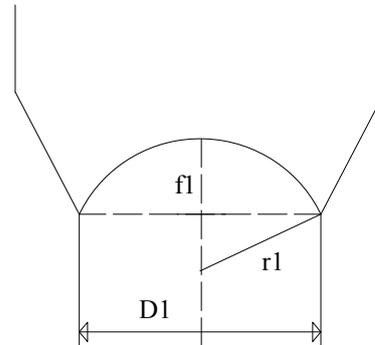


7-c/ Coupole sphérique du fond

Cette coupole se calcule de la même manière que la coupole de couverture, avec le rayon r_1 , flèche f_1 et de surface S_1 c'est-à-dire :

$$r_1 = \frac{D_1^2 + 4f_1}{8f_1}$$

$$S_1 = \pi \left[\left(\frac{D_1}{2} \right)^2 + f_1^2 \right]$$



7-d/ Ceinture intermédiaire

La ceinture intermédiaire est soumise aux charges de la coupole supérieure, aux poids propre de la ceinture supérieure et de la paroi cylindrique et à son propre poids.

7-e/ Ceinture d'appui sur les poteaux

La ceinture d'appui permet comme son nom l'indique, l'appui de la cuve sur son support.

La charge totale sur la poutre circulaire sera :

$$S = \pi \cdot D_1 \cdot V$$

V : c'est la charge verticale sur les poteaux

D_1 : c'est le diamètre de la coupole sphérique

Le tableau ci-dessous donne les moments et les efforts tranchants dans une poutre circulaire de rayon (r) soumise à la charge totale (S), suivant le nombre de poteaux sous la poutre :

Nombre de poteaux	Charge sur chaque poteau	Effort tranchant max	Moment fléchissant		Moment de Torsion max
			Au droit des poteaux	Au milieu	
4	$\frac{1}{4} S$	$\frac{1}{8} S$	-0.03415.S.r	+ 0.001762.S.r	0.00530.S.r
6	$\frac{1}{6} S$	$\frac{1}{12} S$	-0.01482.S.r	+ 0.00750.S.r	0.00151.S.r
8	$\frac{1}{8} S$	$\frac{1}{16} S$	-0.00827.S.r	+ 0.00416.S.r	0.00063.S.r
12	$\frac{1}{12} S$	$\frac{1}{24} S$	-0.00365.S.r	+ 0.00190.S.r	0.00018.S.r

7-k/ Vérification de la stabilité

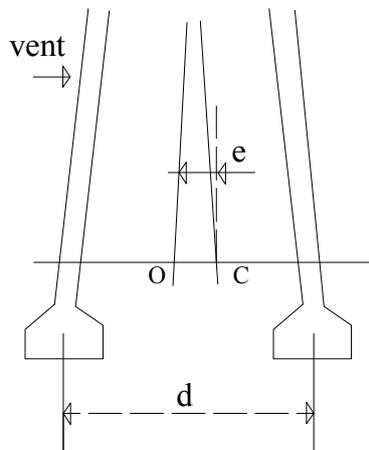
Pour que la stabilité de la construction soit assurée, il est nécessaire que la résultante des forces dues au poids propre et à la pression du vent tombe dans le tiers central de la distance (d) entre les poteaux diamétralement opposés.

L'hypothèse la plus défavorable à envisager sera celle du déversoir vide soumise à la pression maximum du vent si (M) est le moment de renversement dû à la pression du vent et (P) le poids propre de la construction avec le réservoir vide, la résultante (N) traverse le sol au centre des pressions C est on doit avoir

$$\text{Excentricité : } OC = e = \frac{d}{6} \dots\dots\dots(1)$$

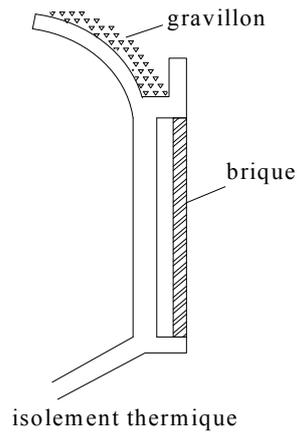
L'hypothèse du réservoir plein sera plus favorable, puisque la charge sera plus grande et l'excentricité (e) plus petite. Si la condition (1) ci-dessus est satisfaite tous les poteaux seront comprimés et la stabilité sera parfaitement assurée. Dans le cas contraire, il faut écarter les poteaux à la base et rechercher la distance (d) telle que la résultante N reste à l'intérieur du tiers central de cette distance.

D'où N : est le résultante des pressions horizontales et sa distance au sol.



Remarque

Pour la préservation de l'eau contre les variations de température, on peut surmonter la couverture d'un métal de sable de 0.20m d'épaisseur les parois de la cuve sont parfois doublées d'une enveloppe en brique creuses.



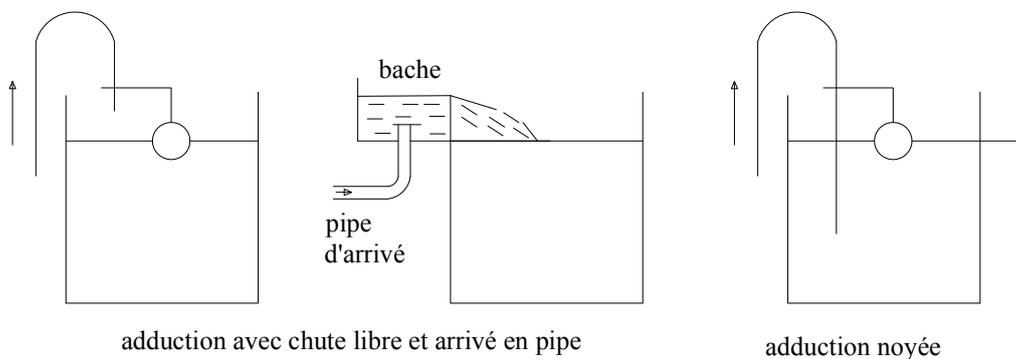
Les réservoirs sont exécutés ordinairement en béton armé ou en précontraint. Selon leur importance, la cuve repose sur un radier établi au dessus d'un béton de propreté.

8- Fontainerie d'équipement des réservoirs et château d'eau

A- Conduite d'adduction

Elles sont d'alimenter le réservoir.

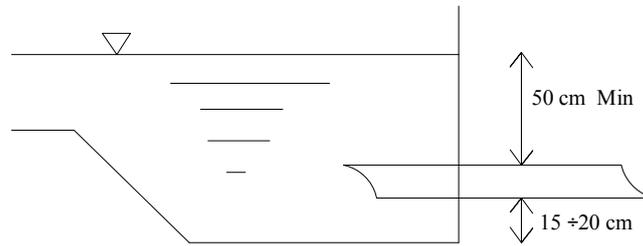
L'adduction s'effectue par différentes formes soit en chute libre soit en prolongeant la conduite de façon que son extrémité soit toujours noyée.



L'arrivée en chute libre provoque une oxygénation de l'eau, par contre l'arrivée noyée elle présente toutefois un inconvénient : en cas d'accident sur les conduites de refoulement le réservoir se vide par siphonage.

b- Conduite de distribution

Le départ de la conduite de distribution s'effectue à (0,15 ÷ 0,20) m au dessus du radier en vue d'éviter d'introduire dans la conduite des boues et des sables.



C- Conduite trop pleine

Cette conduite devra pouvoir évacuer la totalité du débit Q arrivant au réservoir. Elle ne comporte pas de robinet sur son parcours.

Le débit évacuer dans ces conditions est donné par

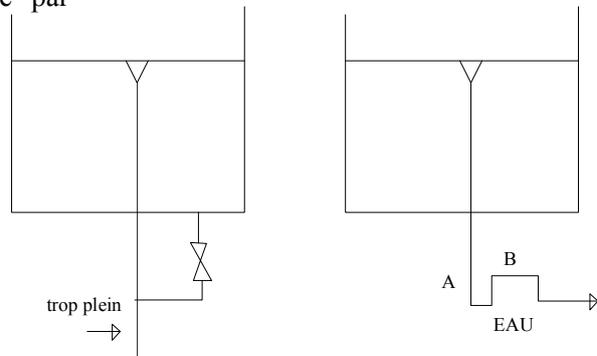
(LENCASTRE)

$$Q = 27,828 \mu R h^{\frac{3}{2}}$$

h : hauteur divergences

R : rayon du cône

μ : Coefficient de débit $\mu = f\left(\frac{h}{R}\right)$



Généralement

$\frac{h}{R}$	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5
μ	0,415	0,414	0,41	0,404	0,393

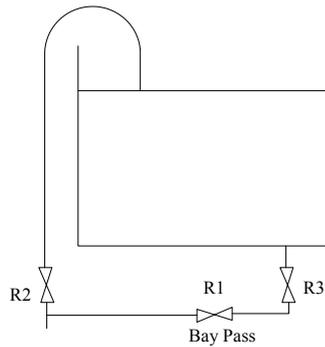
$$Q = 11,15 R h^{\frac{3}{2}}$$

d- Conduite de vidange

Elle part du point bas du réservoir et se raccorde sur la canalisation de trop-plein. Elle comporte un robinet vanne.

e- By-pass

C'est un organe qui permet de connecter la conduite de distribution et de l'adduction. Dans le cas de nettoyage les vannes (2) et (3) sont fermées et (1) ouverte.



f- Ventilation

Des ouvertures entre le toit et murs de réservoirs ne sont pas acceptables comme moyen de ventilation. Les conduites de ventilations doivent :

- empêcher l'intrusion d'eau de surface ou de pluies.
- éviter l'entrée d'oiseaux ou autre animaux.
- Empêcher l'entrée d'insectes et de poussières. Pour de réservoir élevé ou cylindrique un grillage non corrosif est obligatoire.

g- drainage du toit

Le toit de tout réservoir doit être drainé efficacement. Les gouttières de descente ne doivent pas pénétrer à l'intérieur du réservoir.

h- passerelle intérieure

Toute passerelle surplombant un plan d'eau à l'intérieur d'un réservoir doit avoir un plancher sans trou pour empêcher la chute de débris dans l'eau.

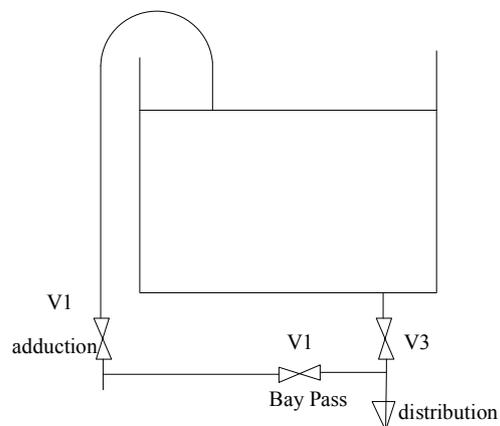
Matérialisation de réserve d'incendie

Deux dispositifs permettant de garder la réserve d'incendie dans le réservoir.

1^{er} dispositif :

En cas normal vanne (1) ouverte vanne (2) fermée

En cas de sinistre vanne (1) et (2) sont ouvertes



2^{ème} dispositif :

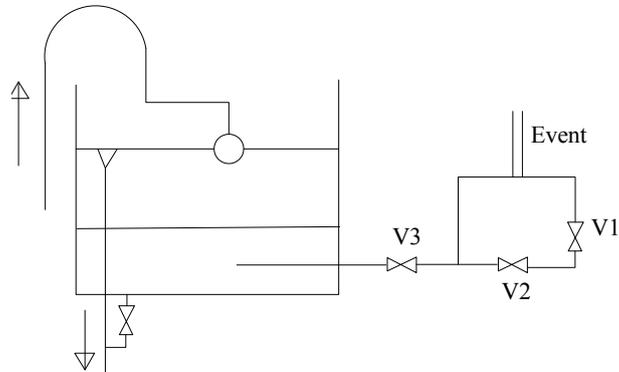
C'est le dispositif le plus utilisé, constitue par un siphon qui se désamorce quand le niveau de la réserve est atteint en service normal

Vanne (1) ouverte (2) fermée

En cas normal les vannes (1), (3) sont ouvertes

Vanne (2) reste fermée

Cas d'incendie : vannes (1), (2) et (3) sont ouvertes



e- accès

Tout réservoir doit avoir des ouvertures d'accès pour permettre le nettoyage et réparation. L'accès peut également être prévu dans l'axe vertical du réservoir, par un escalier en colimaçon sur lequel seront accrochées toutes les canalisations.

Variation de niveau

La variation maximale entre le haut et bas niveau d'eau à l'intérieur d'un réservoir dont la fonction est d'assurer le maintien d'une pression adéquate dans le réseau ne devrait pas excéder 9m.

Stagnation de l'eau

Une bonne circulation de l'eau dans le réservoir est nécessaire afin d'éviter la stagnation.

Protection sanitaire

Quand le fond de réservoir se situe sous la surface du sol, aucune conduite d'égout, conduite de gaz naturel, mare d'eau stagnante ou autre source semblable de contamination ne doit se situer à moins de 15m des parois des réservoirs.