

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.

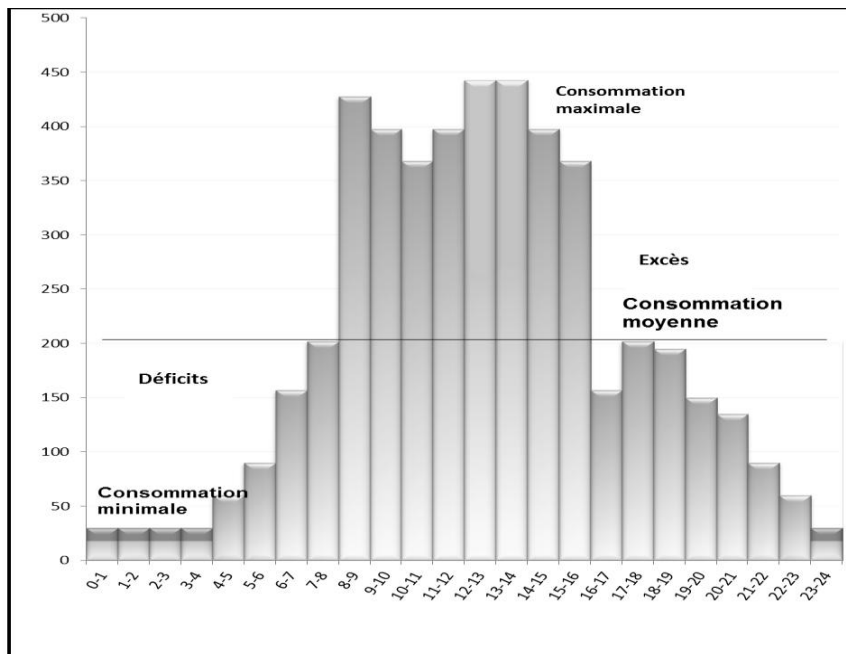


Figure 2. 1. Histogramme du débit horaire

2.4 EMBLACEMENT 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

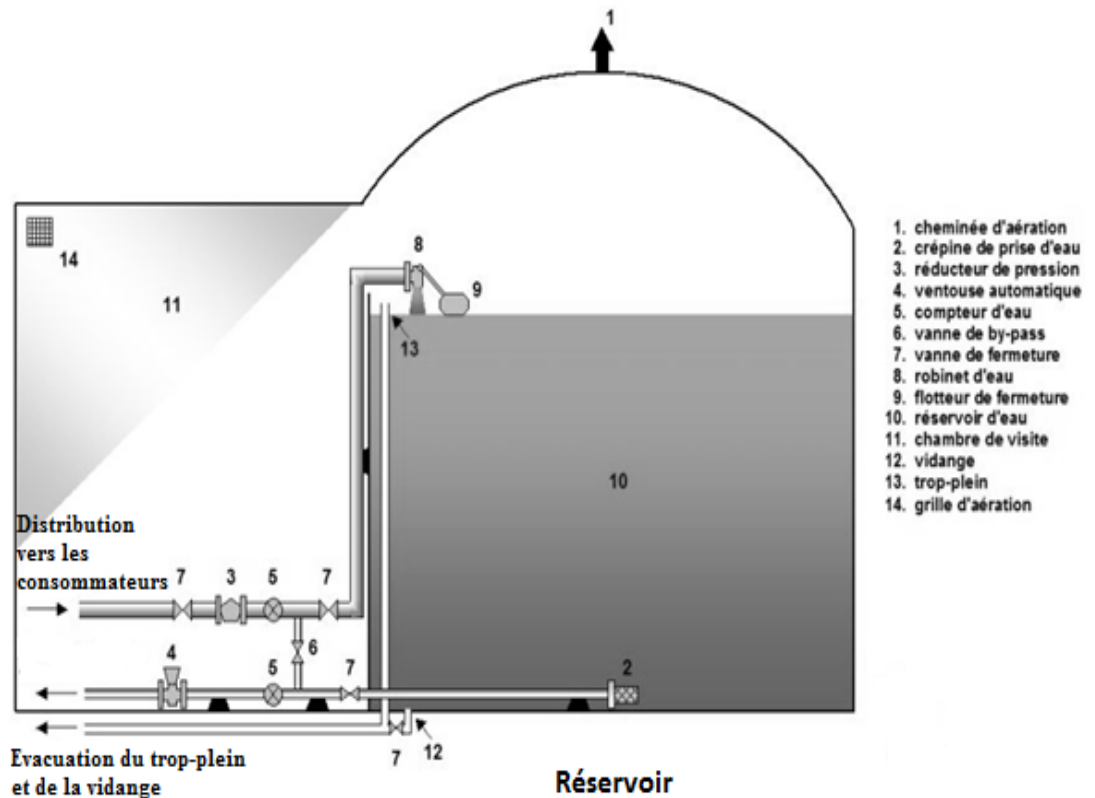
H_e : hauteur d'eau supplémentaire qui tient compte des appareils qui fonctionnent avec de l'eau (chauffe-eau, lave-linge...) = 1m.

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

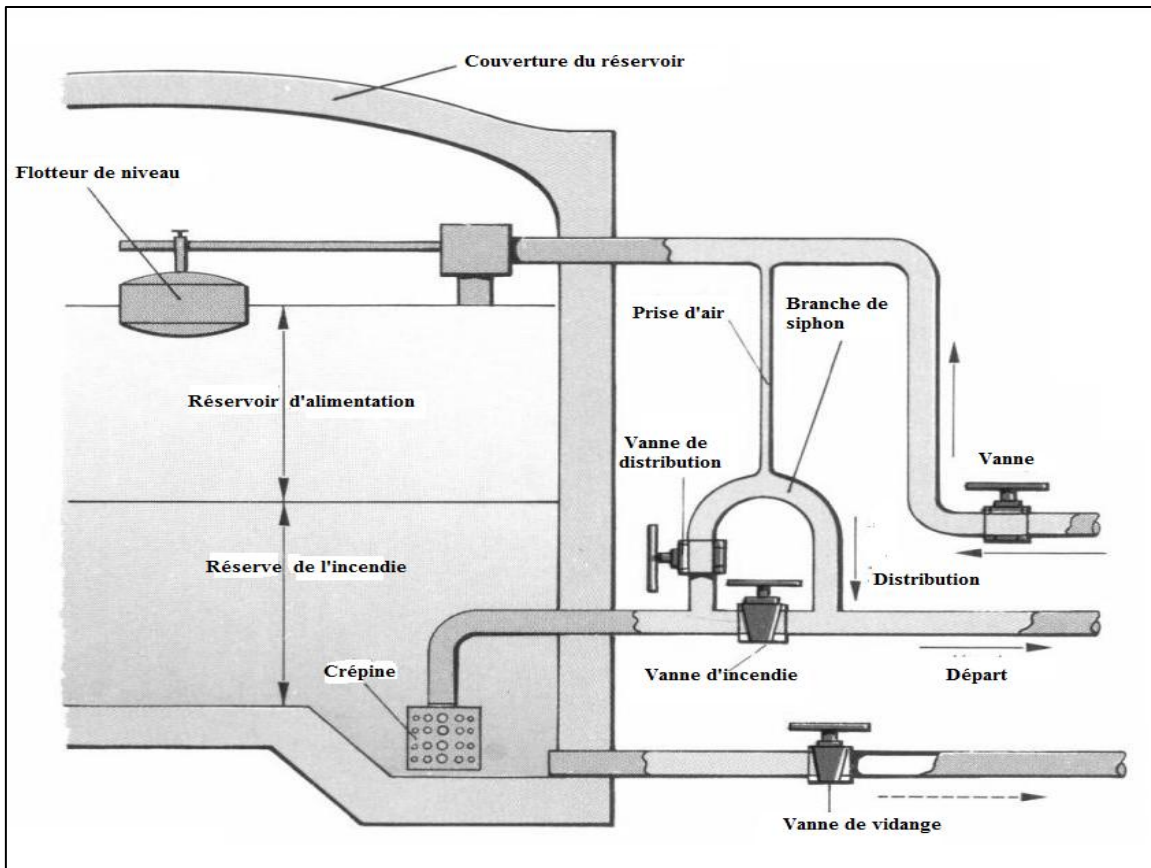


Figure 2. 4.Equipement d'un réservoir

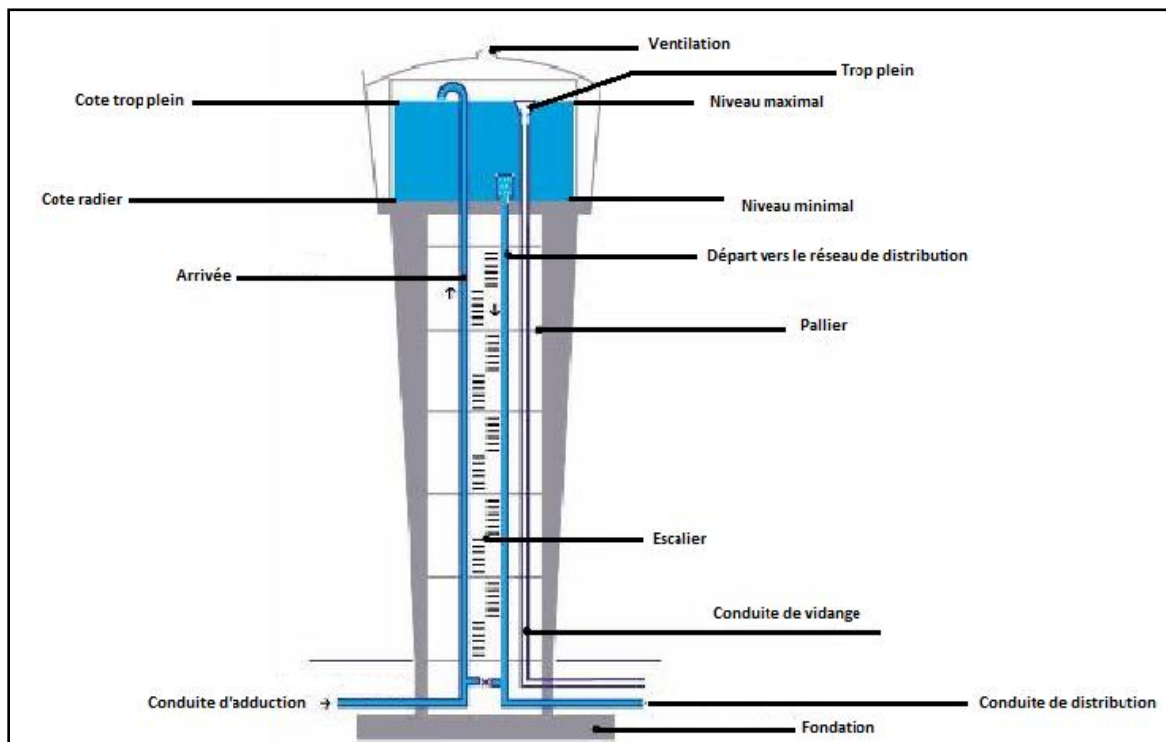


Figure 2. 5.Equipement d'un château d'eau (réservoir surélevé)(Guide technique – Veolia)

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)

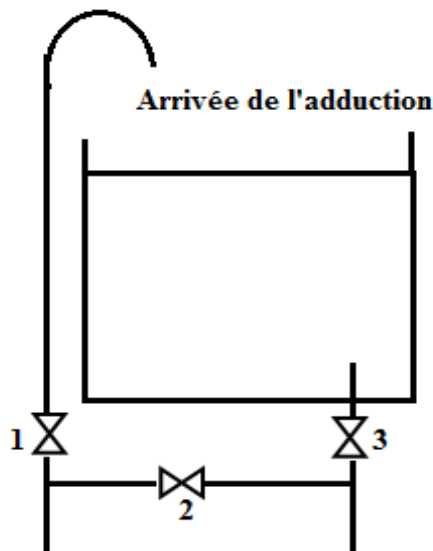


Figure 2. 6. By-pass entre l'adduction et la distribution

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/m^3 , 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.

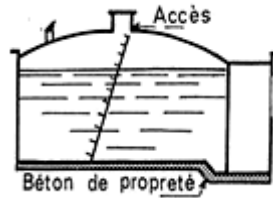


Figure 2. 7. Isolation thermique

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.

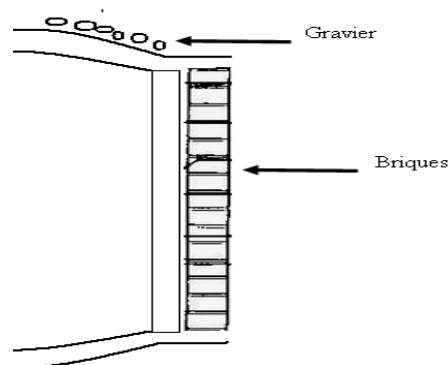


Figure 2. 8 . Isolation thermique

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

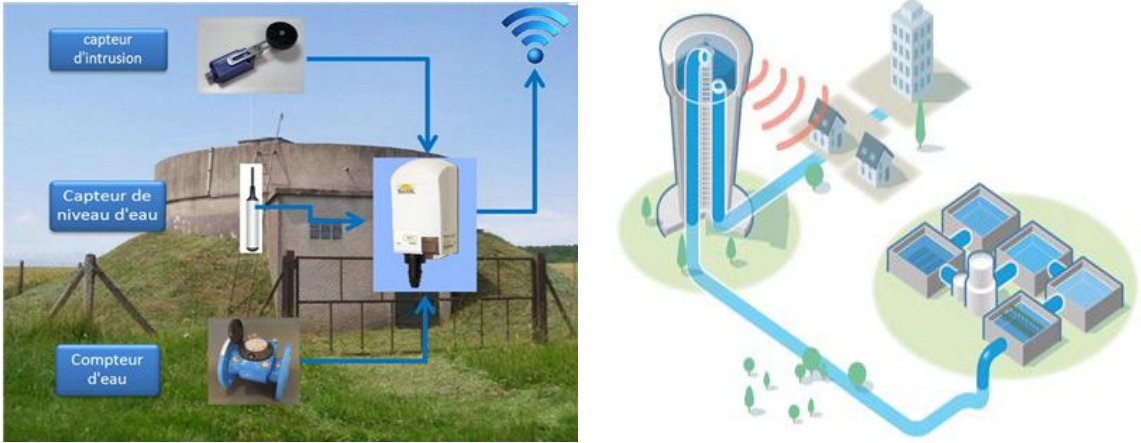
$$f = 0.104 .D$$

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)

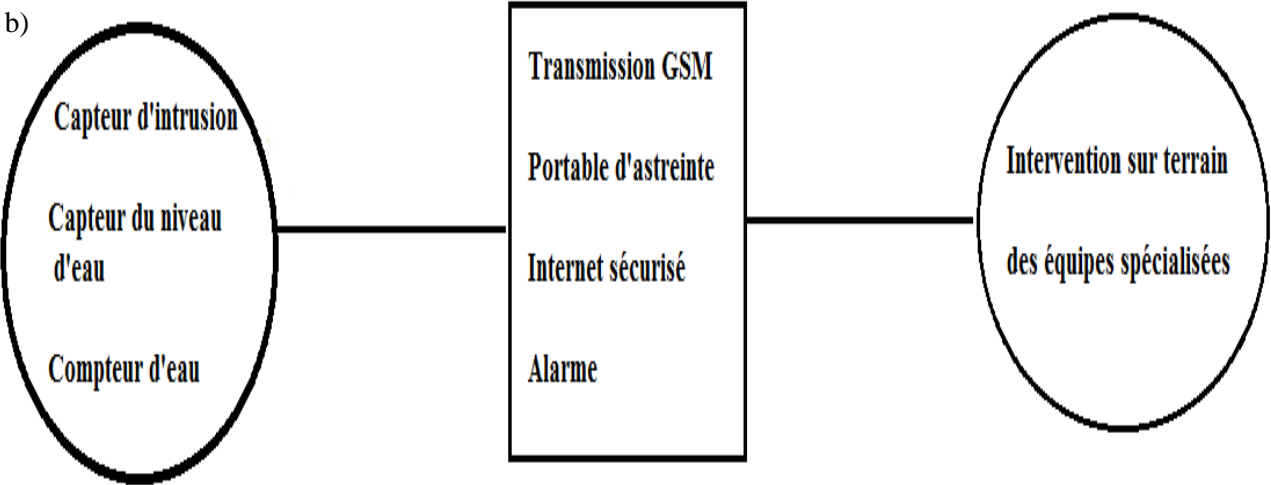


Figure 2. 11. Télécommande à distance des réservoirs d'eau potable (a) <https://www.lacroix-environnement.fr/reservoir-eau-potable>