

**Université d'Aboubekr BELKAÏD -
Tlemcen-**

Faculté de Technologie
Département d'Architecture

**PLOMBERIE
SANITAIRE**

Niveau ciblé: 3^{ème} Année Architecture.

Système LMD -Semestre 6-

Année Universitaire : 2019-2020

- **Equipe chargé de la Matière :**
 - Mr. TERKI HASSAINE I.
 - Mr. HAMZA CHERIF R.
 - Mr. YAHIAOUI.

I/ LES OUVRAGES
HYDRAULIQUES
LES CHATEAUX D'EAU

A. INTRODUCTION

Le terme « Château d'eau » provient du constat que ceux-ci ressemblent souvent aux donjons des châteaux. Egalement appelé « réservoir surélevé » par les exploitants d'eau potable, ou « réservoir sur tour » par les constructeurs, dans d'autres langues, il garde la traduction de cette dernière dénomination : en anglais, le réservoir sur tour devient « water tower », et en espagnol, il est communément appelé « torre de agua ».

Un château d'eau est un réservoir dont le fond s'élève au-dessus du niveau du sol. Une telle construction est essentiellement composée de deux parties :

- ✓ le réservoir proprement dit ou cuve,
- ✓ le support, communément appelé fût.

L'aspect extérieur d'un château d'eau est déterminé en premier lieu par les caractéristiques techniques, plus précisément par la capacité et l'élévation de la cuve. Ensuite, ce seront la disponibilité des matériaux de construction et l'évolution du génie civil qui joueront un rôle.

Dès le début du XX^e siècle, le réservoir sur tour a pu s'associer à l'invention du béton armé. Quelques ouvrages datant de cette période sont encore sur pied, mais la majorité des châteaux d'eau en béton armé ont été conçus à partir des années cinquante. Le recours au béton dans la construction des réservoirs sur tour a eu de nombreux avantages, tel que le coût, la facilité de mise en œuvre et la création de nouvelles formes. Une solution avantageuse, pour répondre à la reconstruction d'après-guerre, et pour palier à la demande croissante due au développement démographique et économique.

Dans le présent projet, nous parlerons d'une manière générale, des procédés de construction des châteaux d'eau en béton armé.

A.1. Historique

Les premiers réservoirs sur tour remontent à l'époque de la civilisation romaine. En l'an 100 après Jésus-Christ, Rome compte 19 aqueducs, 250 châteaux d'eau et 1352 fontaines qui apportent l'eau courante à la ville.



Photo 1 – Vestige d'un château d'eau à Rome réalisé en l'an 226

Le château d'eau est le symbole de civilisations avancées sur le plan technique, mais aussi sur celui de l'organisation. Ainsi, toutes les grandes civilisations s'y sont frottées. Elles ont accordé beaucoup d'importance au ravitaillement des agglomérations humaines en eau saine et abondante. Les romains, dont nous sommes les héritiers sur ce point, maîtrisaient parfaitement l'adduction d'eau, grâce à des aqueducs qui alimentaient les fontaines, les thermes et les installations privées de leur ville.

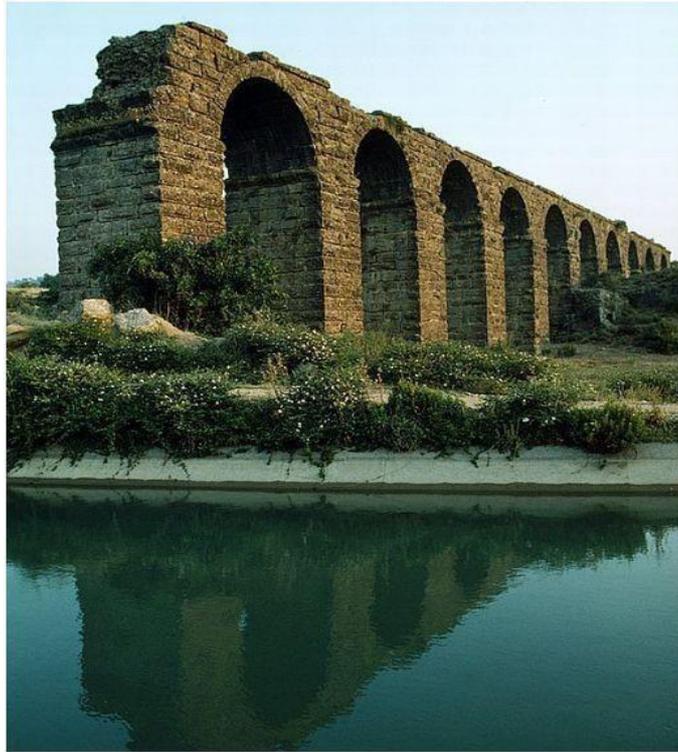


Photo 2 – Vestige d'un aqueduc romain construit il y a plus de 2000 ans

Cependant, après une longue éclipse dans la civilisation européenne, remplacé par un système plus rudimentaire, « le porteur d'eau », le château d'eau réapparaît au XIXe siècle en raison de l'essor des chemins de fer et des trains à vapeur, grands consommateurs d'eau. Ce besoin inépuisable en eau des locomotives va permettre aux châteaux d'eau d'être disséminés dans les gares, et même sur de petites haltes en campagne. S'ensuivra de nombreuses constructions pour les usines, afin de fournir une pression suffisante aux machines, les refroidir et lutter contre les incendies. Des réservoirs seront édifiés également pour des camps militaires afin d'en assurer l'autonomie, pour les établissements de santé afin d'y préserver l'hygiène, pour des propriétés privées et des châteaux afin d'alimenter les fontaines et jets d'eaux, etc...

A.2. Parcours de l'eau

Le château d'eau est un maillon de la chaîne de distribution d'eau potable. Pour comprendre le rôle du château d'eau, il est essentiel de connaître le parcours de l'eau :



Figure 1 – Illustration du parcours de l'eau

1. Phase 1 : captage

L'eau qui sert à la consommation est d'origine superficielle (rivières, lacs, fleuves, mers...) ou souterraine (nappes phréatiques). Elle est pompée par forage ou prélevée directement en surface.

2. Phase 2 : traitement

Une fois prélevée, l'eau subit plusieurs types de traitements afin de la rendre propre à la consommation.

Dégrillage et tamisage : l'eau est d'abord filtrée à travers une simple grille, afin d'arrêter les plus gros déchets présents dans l'eau (feuilles, insectes...). Elle passe ensuite dans des tamis à mailles fines retenant les déchets les plus petits (moins de 1 mm).

Floculation et décantation : un coagulant est ajouté à l'eau pour rassembler en flocons les déchets encore présents dans l'eau (poussière, particules de terre, œufs de poissons, etc...). Ces flocons, plus lourds que l'eau, se déposent au fond du bassin de décantation et 90% des matières en suspension sont ainsi éliminées.

Filtration sur sable : la filtration sur sable élimine les matières encore visibles à l'œil nu.

Ozonation : l'eau est désinfectée grâce à l'ozone qui a une action bactéricide et virucide. Ce gaz, mélangé à l'eau, agit aussi sur les matières organiques en les cassant en morceaux. Il améliore également la couleur et la saveur de l'eau.

Filtration sur charbon actif : les filtres à charbon actif retiennent les micropolluants comme les pesticides et consomment une partie de la matière organique « cassée » par l'ozone.

Chloration : ajout de chlore à la sortie de l'usine de production et sur différents points du réseau de distribution afin d'éviter le développement de bactéries et maintenir la qualité de l'eau tout au long de son parcours dans les canalisations.

3. Phase 3 : stockage

Une fois rendue potable, l'eau est transportée à travers un réseau de conduites fermées en fonte ou en acier vers des réservoirs situés généralement en hauteur : les bassins enterrés au sommet des collines ou les châteaux d'eau.

L'entreposage de l'eau dans le réservoir sur tour joue un rôle de tampon entre le débit demandé par les abonnés et le débit fourni par la station de pompage.

En effet, les besoins en eau d'une population ne sont pas permanents, ils varient en fonction de l'heure et des saisons. Les pompes, elles, ont un débit continu trop abondant la nuit et insuffisant aux heures de pointe. Les cuves permettent donc de stocker l'eau pendant les creux pour satisfaire plus tard la surconsommation.

L'entreposage de l'eau permet également de faire face aux demandes exceptionnelles en cas d'incendie.

4. Phase 4 : distribution

Les réservoirs d'eau sur tour fonctionnent selon le principe des vases communicants pour assurer une pression régulière et suffisante au sein du réseau en fonction du rythme de consommation.

L'eau est acheminée du point d'eau au réservoir. Si l'altitude du point d'eau est inférieure à l'altitude du réservoir, des pompes sont utilisées pour relever l'eau jusqu'à ce dernier. L'eau est ensuite envoyée dans un réseau gravitaire qui va assurer son acheminement vers l'ensemble des habitations.

L'eau est distribuée au consommateur via un système complexe de conduites dotées de vannes et d'appareils de régulation. Le niveau des réservoirs, le débit, la pression et la qualité de l'eau sont contrôlés en permanence, en de nombreux points du réseau.

La pression de l'eau qui est fournie au robinet des abonnés est proportionnelle au dénivelé qui existe entre le niveau d'eau dans le château d'eau et l'habitation : 10 mètres de dénivelé équivalent à 1 bar, 20 mètres à 2 bars, etc. (un robinet correct a une pression de sortie aux environs de 2 à 3 bars). Les plus grands châteaux d'eau peuvent contenir plusieurs dizaines de milliers de mètres cubes d'eau.

B CONSTRUCTION D'UN CHATEAU D'EAU

1. Différents types de châteaux d'eau - Nomenclature

Depuis le début de construction des réservoirs d'eau sur tour, différents types de structures se sont imposés au fil des temps. Suivant les matériaux et les connaissances techniques de l'époque, les châteaux d'eau ont eu une forme différente. Un classement des différents réservoirs sur tour modernes peut être donné :

1. Cuve cylindrique métallique

Ce type de réservoir a été utilisé au début du 20^e siècle par les compagnies ferroviaires, afin de ravitailler en eau les chaudières des locomotives à vapeur. D'une capacité inférieure à 100 m³, la cuve métallique repose sur un fût constitué de maçonnerie brique ou de poutres en béton et de maçonneries entre celles-ci.

De tels types simples de réservoirs sur socle se retrouvent encore actuellement, surtout dans l'agriculture et l'horticulture.

Années de construction de ce type de réservoir : 1899 à 1954.

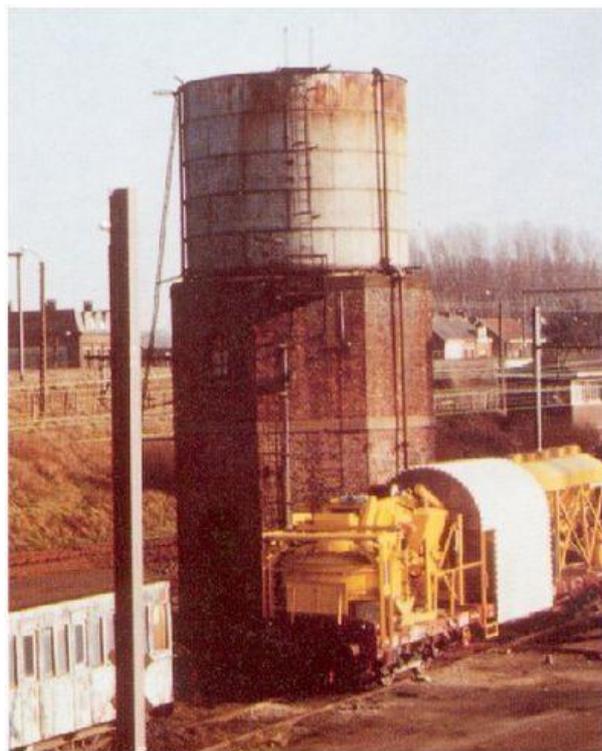


Photo 3 – Réservoir métallique sur fût maçonné du début du XXe siècle

B.1.2. Réservoir de type Hennebique

Les premiers réservoirs en béton armé sont de type Hennebique, du nom de leur concepteur François Hennebique, ingénieur Français, l'un des premiers à utiliser le béton armé dans la construction. Ils sont constitués de six ou huit appuis en béton armé disposés de façon cylindrique ou pyramidale, et reliés entre eux par des poutres circulaires. La cuve en béton en encorbellement est portée par des poutres en béton disposées en croix ou reposant radialement sur les poutres verticales.

De par leur coût peu élevé, ces châteaux d'eau sont essentiellement associés à la distribution d'eau industrielle.

La capacité de cuve de ce type de réservoir reste encore réduite, et est comprise entre 50 et 150 m³.

Années de construction de ce type de réservoir : 1900 à 1940.

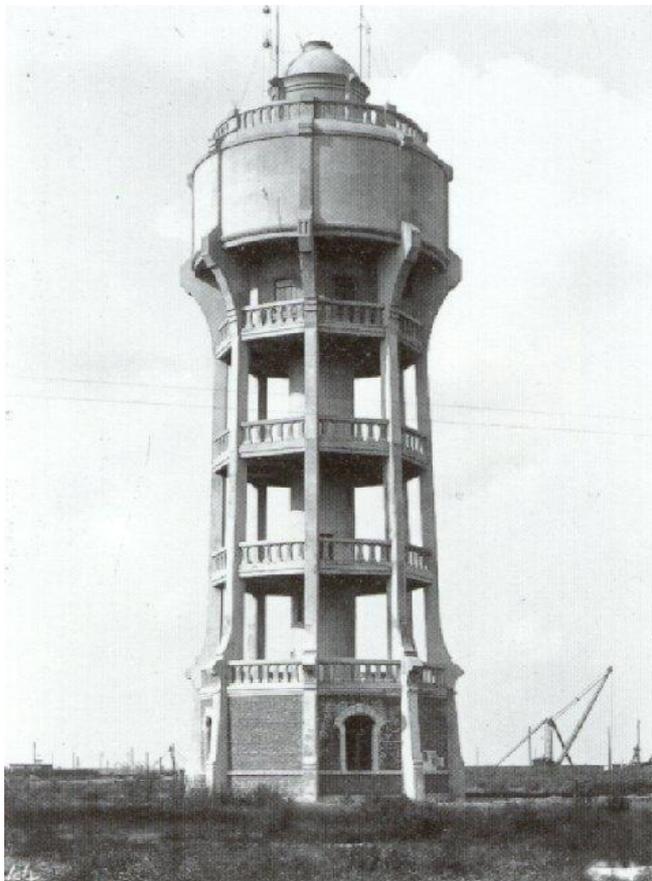


Photo 4 – Réservoir construit en 1907

B.1.3. Réservoir de type Monnoyer

C'est un réservoir avec un fût polygonal tronconique sur semelle, constitué d'un assemblage de parpaings moulés à cet effet, qui s'emboîtent les uns dans les autres, créant à chaque jonction une sorte de demi-colonne creuse dans laquelle est coulé le béton armé.

Début de construction de ce type de réservoir : 1930.



Photo 5 – Réservoir construit en 1934

B.1.4. Réservoir de type colonne

Le diamètre du fût et de la cuve est identique et constant sur toute la hauteur. Des variantes existent : elles présentent des contreforts sur toute ou partie de la hauteur du réservoir, et une distinction peut se faire entre la cuve et le fût par la présence d'un léger encorbellement sur la base de la cuve. Ce type de réservoir est construit avec une cuve en béton armé et un fût en maçonnerie ou en béton armé. Années de construction 1906 à 1984 pour les réservoirs de grande hauteur (Photo 7) et 1892 à 1909 pour les réservoirs de faible hauteur (Photo 8)



Photo 6 – 1936-700m³

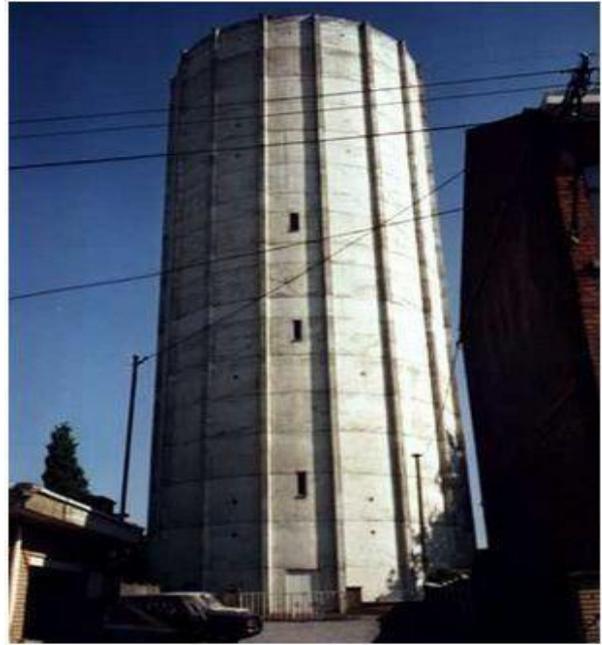


Photo 7 – 1979-100m³

B.1.5. Cuve à faible encorbellement ou champignon

Elle se caractérise par une cuve droite en béton reposant sur un fût en béton ou en maçonnerie. La base de la cuve connectant cette dernière au fût, est légèrement inclinée.

Année de construction : 1900 à 1960.



Photo 1 - 1950 – 60 m³



Photo 2 - 1930 – 500 m³

B.1.6. Cuve conique avec fût droit ou fût conique

Ce type de réservoir se caractérise par une forme conique inversée de la cuve. Cette dernière repose sur un fût conique ou droit. La capacité de ces réservoirs ne dépasse pas les 500 m³.

Année de construction : 1964 à nos jours.



Photo 11 - 1977 – 200 m³



Photo 12 - 200 m³

B.1.7. Cuve à fort encorbellement

Elle se caractérise par une cuve avec un voile fortement incliné ou droit, et un fût étroit et haut sur lequel est implantée la cuve. Le diamètre du fût peut être variable sur la hauteur.

De tels châteaux d'eau sont conçus pour emmagasiner des volumes d'eau compris entre 1500 et 3000 m³, et sont construits suivant un procédé différent. Le fût est réalisé en premier, et après la cuve est assemblée sur le sol et hissée ou élevée au moyen de vérins tel un élément préfabriqué (voir Paragraphe III.2.5 – Construction de la cuve).

Année de construction : 1960 à nos jours



Photo 3 - 1985 – 1600 m³



Photo 4 - 1983 – 2000 m³

B.1.8. Réservoirs sphériques

Dans ces réservoirs métalliques, la cuve est sphérique. Pour les réservoirs de capacité ne dépassant pas 500 m³, le support est généralement composé d'un fût cylindrique légèrement conique de faible diamètre par rapport à celui de la cuve. Pour les réservoirs sphériques de grande capacité, leur support comprend une série de colonnes tubulaires qui permettent de masquer les tuyauteries et les échelles d'accès.

Année de construction : 1960 à 1980.



Photo 5 - 1974 – 1000m³

B.1.9. Réservoirs sphéroïdaux

La cuve métallique de ces réservoirs présente une forme de bulbe qui est plus avantageuse du point de vue de la résistance. Ces réservoirs peuvent atteindre des capacités de 2000 à 3000 m³. Le support est constitué comme les précédents d'un fût central.

Année de construction : 1980 à nos jours.



Photo 6 - Réservoir à cuve sphéroïdale

B.1.10. Réservoirs à fond sphéroïdal

La cuve métallique de ce type de réservoir est composée de deux calottes sphériques raccordées par un élément en forme de cylindre. Ce type de réservoir est utilisé pour des grandes capacités de 1 000 à 10 000 m³.

Année de construction : 1980 à nos jours



Photo 7 - Réservoir à fond sphéroïdal

B.2. La structure d'un château d'eau en béton armé

Le béton armé est le matériau de prédilection pour la construction des châteaux d'eau modernes, comme il le fut déjà dès le début du 20^e siècle.

L'art du coffrage, l'excellente connaissance théorique et pratique du matériau, dans sa composition et dans sa mise en œuvre, sa résistance et sa faible sensibilité à la corrosion, moyennant le respect de quelques règles, permettent de donner une grande variété de formes aux réservoirs.

Ci-dessous, un schéma de principe structurel d'un réservoir sur tour moderne à cuve conique :

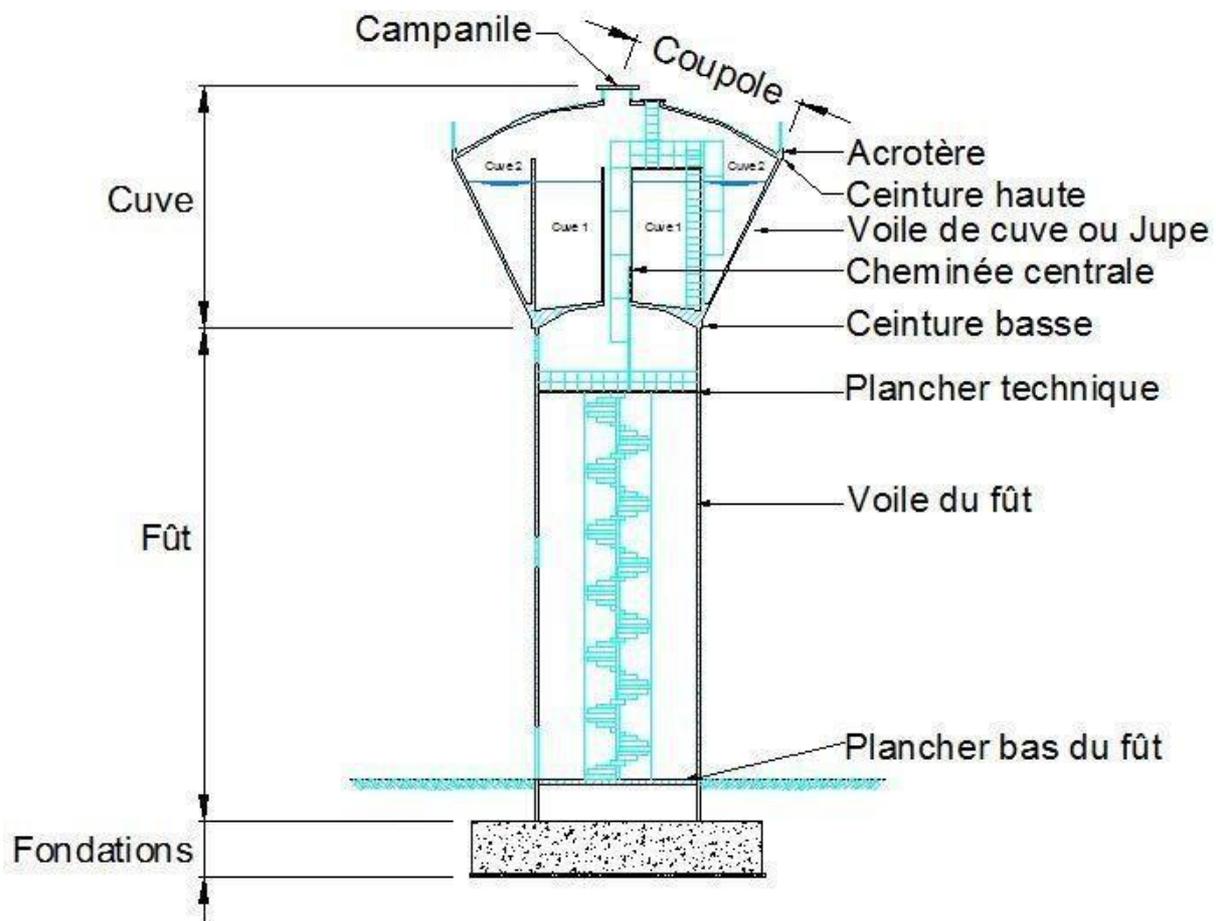


Figure 2 – Schéma de principe structurel d'un réservoir à cuve moderne

B.2.1. Les fondations

La fondation des châteaux d'eau est toujours importante car elle reçoit une charge de plusieurs milliers de tonnes que constitue le fût avec la cuve.

Elle dépend évidemment en premier lieu de la qualité du sol (figure 3).

En bon terrain, une fondation directe sur semelle suffit (semelle annulaire sous piliers et semelle ou petit radier sous fût).



Photo 9 - Début de réalisation d'une fondation de château d'eau après fouille



Photo 8 - Fondation d'un château d'eau réalisée

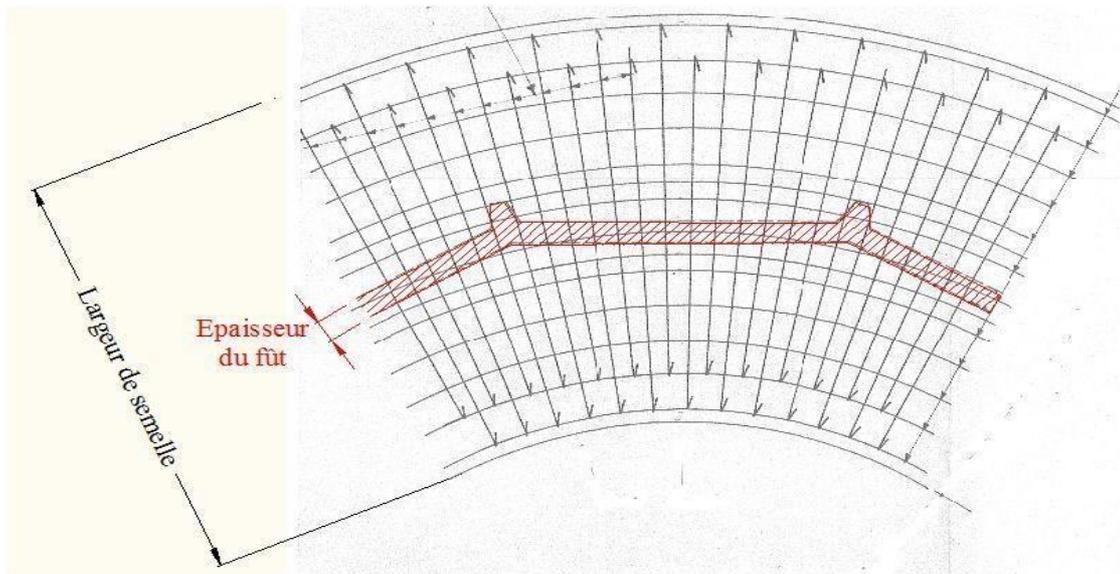


Figure 3 - Vue en plan du ferrailage d'une semelle de fondation circulaire

Un terrain de portance plus médiocre réclame un radier. Les couches de sol sous radier peuvent être améliorées par remplacement ou battage de colonnes de gravier. Enfin, des pieux en béton armé, battus ou forés, sont réalisés quand le terrain possède des caractéristiques mécaniques faibles sur une grande profondeur. Cette solution est d'ailleurs souvent plus économique et meilleure vis-à-vis des tassements, qu'un radier général de grande étendue.

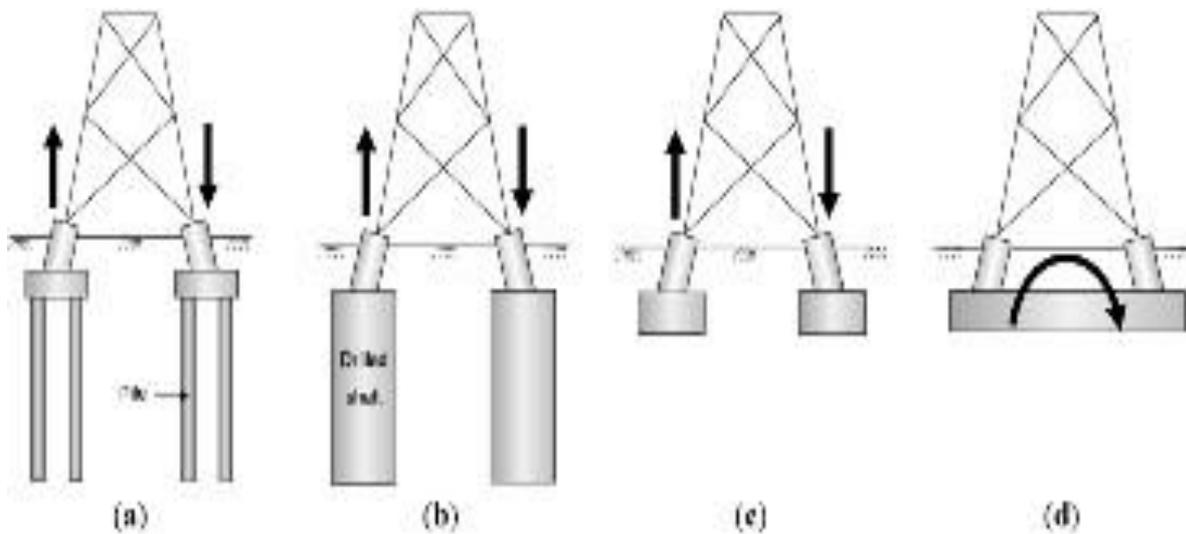


Figure 4 - Les types de fondation possible

B.2.2. Le fût

Les fûts cylindriques des ouvrages en béton à cuve conique ou droite reprennent seuls la charge verticale et les efforts du vent, et sont donc sollicités à la fois en compression et en flexion. Leur relative flexibilité impose la vérification à la résonance, phénomène oscillatoire produit par les rafales de vent.

Classiquement, le château d'eau en béton est construit à l'aide d'un échafaudage.

En raison de la hauteur de l'ouvrage, de l'étendue de la cuve et des charges élevées qui lui sont transmises en cours de travaux, cette construction provisoire doit être robuste et occupe dans l'espace un volume important. Son montage et son immobilisation représentent une fraction substantielle des charges du chantier. D'autre part, le coffrage dans ses méthodes traditionnelles, appliquées à des formes complexes, dans des conditions de travail difficiles, représente le coût prépondérant dans le gros-œuvre de l'ouvrage.

Le coffrage grimpant permet la réalisation, par tranches verticales successives, du fût du château d'eau. Il comporte les passerelles de travail nécessaires et prend appui sur la structure même (voir photo 20).



Photos 20 et 21 - Coffrage grimpant du fût

Il en est de même du coffrage glissant, à cette différence que ce dernier monte de façon continue, jour et nuit, de la base au sommet du fût. Quelques jours suffisent pour atteindre une hauteur de plusieurs dizaines de mètres.

Ces méthodes s'appliquent le plus facilement à des éléments prismatiques ou de section peu variable. La seconde permet une économie de temps considérable. Leur avantage est cependant réduit du fait qu'elles n'évitent pas, dans la plupart des cas, la construction d'un échafaudage pour la construction de la cuve.



Photos 22 et 23 - Phase finale de réalisation du fût

3. Plancher bas et planchers intermédiaires

Les différents planchers, du plancher bas aux planchers intermédiaires sont réalisés au fur à mesure de l'avancement du fût.

Dans le cas de la mise en place d'un escalier hélicoïdale en béton, ou métallique, celui-ci est également monté en avancement avec la construction du fût.

4. La cuve

Les cuves des châteaux d'eau sont presque entièrement composées de parois relativement minces (épaisseur minimale de 15 cm pour les ouvrages de Classe A, et épaisseur minimale de 12 cm pour les ouvrages de Classe B et C – voir définition des Classes au paragraphe C.2. « *Description des différents équipements* »), à symétrie de révolution.

La base de la cuve est le siège d'efforts horizontaux considérables, qui doivent être repris par des ceintures travaillant, selon le cas en traction ou en compression.



Photo 24 - Echafaudage pour la réalisation de la cuve

Les parois et les ceintures tendues des cuves en béton reçoivent un ferrailage important, qui assure seule leur résistance, le béton étant inapte à reprendre la traction. Les tensions dans le béton doivent y être limitées, pour éviter sa fissuration. Les sections sont donc assez importantes. Ce qui a conduit à utiliser pour ces éléments, dans les ouvrages importants, la précontrainte, mise en compression préalable du béton par câbles ou fils, qui conduit à une réduction considérable des quantités d'armatures et est très favorable pour l'étanchéité.

La paroi latérale des cuves cylindriques à fond plat est encastrée à la base et donc soumise à la fois à un effort annulaire de traction et à flexion. Le fond est, de son côté, fléchi entre ses supports, colonnes et fût, auxquels il transmet intégralement le poids de l'eau.

B.2.4.1. Cuve coffrée en tête du fût

Ordinairement, la cuve béton d'un réservoir se construit avec un échafaudage de grande hauteur mis en place en périphérie du fût. Ce dispositif provisoire permet ainsi d'accueillir le coffrage de la cuve, sur lequel seront mises en place les armatures de construction, et dans lequel le béton sera mis en œuvre. Pour l'aspect fini et lisse, un enduit de type mortier hydraulique a été mis en place sur de nombreux réservoirs anciens.



Photo 25 - Mis en place de l'échafaudage



Photo 26 - Coffrage de la cuve



Photo 27 - Réalisation de la cuve

Cette technique de construction de la cuve a l'inconvénient d'immobiliser un important dispositif de coffrage.

B.2.4.2. Cuve coffrée au sol

Des constructeurs ont pu éliminer cet inconvénient en concevant la cuve au sol, autour du fût déjà réalisé, et en levant celle-ci à l'aide de vérins et de câbles placés en tête du fût. Une fois la cuve mise en place, elle est fixée au fût par des éléments précontraints.

Ce procédé permet ainsi un gain de temps manifeste, et réduit la quantité de matériel nécessaire à la réalisation de la cuve. Cette technique est bien adaptée à l'exécution de réservoirs de grande hauteur, et à cuve de fort encorbellement.



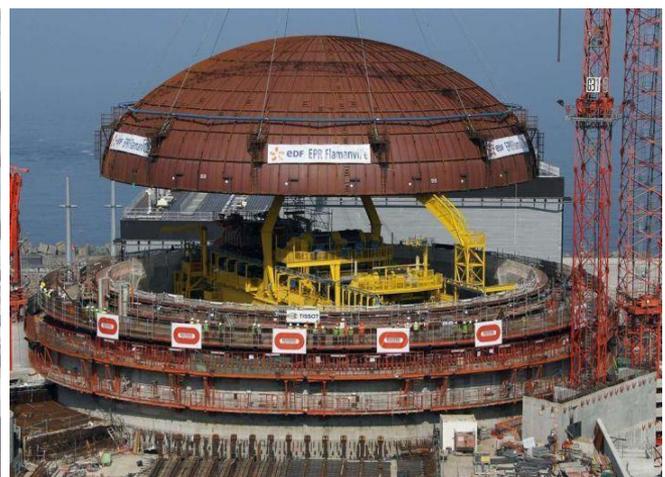
Photo 28 - Coffrage au sol de la cuve



Photo 29 - Levée de la cuve par câbles

B.2.5. La coupole de couverture

La coupole est l'élément voûte en forme de demi-sphère qui repose sur la cuve et qui la rend clos. Cet élément beaucoup plus léger que la cuve, est en béton armé pour les réservoirs modernes. Elle est fabriquée au sol, et levée à l'aide d'une grue pour être mis en place sur la cuve. Elle peut également être coffrée et coulée en place.



Photos 30 et 31 – Coupole d'une cuve : réalisation et montage

Sur les châteaux d'eau plus anciens, les coupoles peuvent être constituées de maçonnerie enduite d'un mortier présent en intrados et en extrados.

C. LES EQUIPEMENTS

1. Les équipements de sécurité

Les réservoirs surélevés ont une hauteur souvent supérieure à la dizaine de mètres. L'accession à la cuve et aux différents organes de fonctionnement nécessaires à la distribution d'eau potable exige des équipements qui soient fonctionnels et sécuritaires.

Dans le cas du réservoir sur tour, les différents équipements de sécurité se répartissent sur toute la hauteur du réservoir (voir figure 4). On distingue de bas en haut :

- La porte d'accès
- Les escaliers (hélicoïdale, droit, ...)
- La fenêtre d'éclairage
- L'échelle de cheminée, l'échelle de cuve et l'échelle d'accès à la coupole
- Le capot d'obturation en tête de cheminée
- Le campanile d'accès à la coupole (figure 5)
- Les garde-corps de la coupole
- L'étanchéité intérieure de la cuve

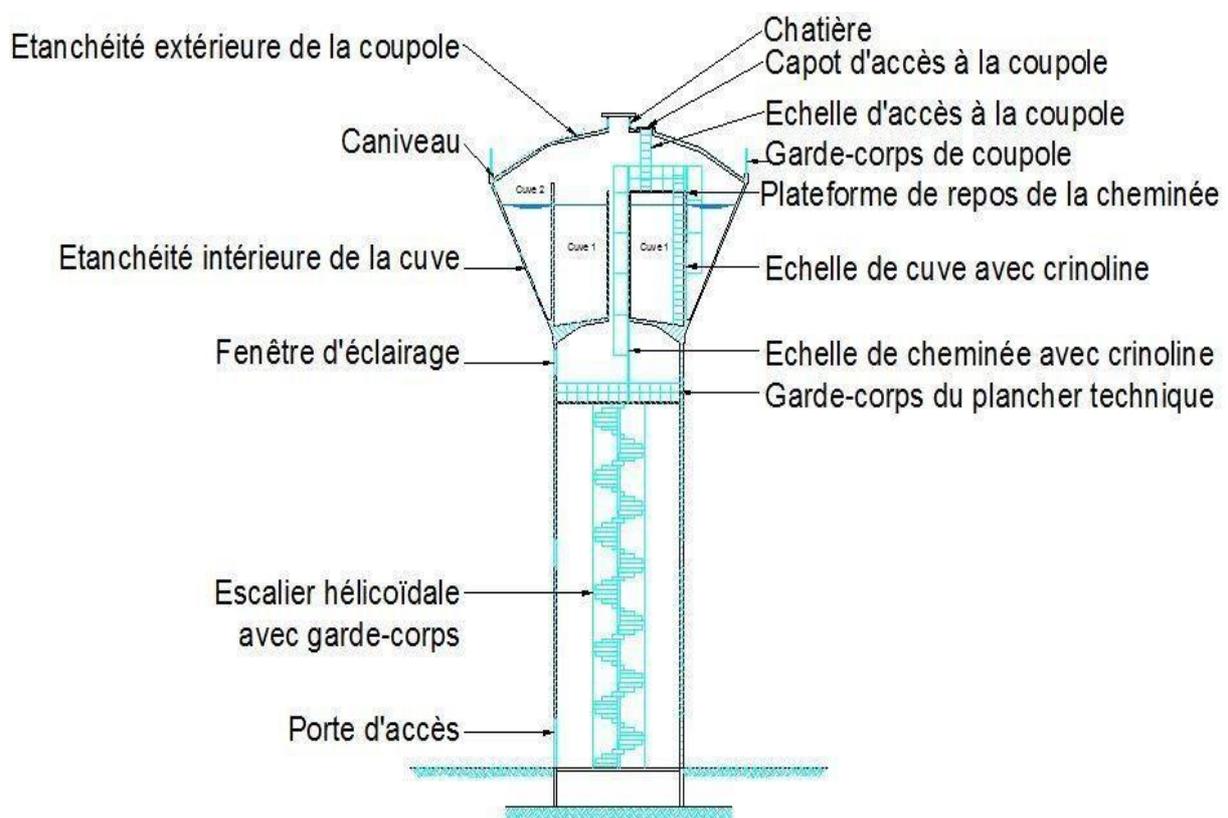


Figure 5 – Différents équipements du réservoir



Figure 5 – Equipements de sécurité : le campanile d'accès et les garde-corps

C.2. Les équipements hydrauliques

Les canalisations intérieures du château d'eau sont en acier inox, à brides boulonnées (figure 6). Leur diamètre est souvent réduit par rapport à celui des conduites extérieures enterrées qui aboutissent à l'ouvrage. L'économie et le plus faible poids des pièces à manipuler compensent les pertes de charges accrues sur quelques dizaines de mètres de canalisations. Elles sont revêtues d'époxy, ou métallisées et peintes ensuite, ou encore plastifiées à chaud



Photo 32 – Raccords entre les canalisations

Les principales canalisations (figure 6) sont les suivantes :

- La conduite d'amenée d'eau
- La conduite de distribution d'eau
- La canalisation de trop-plein

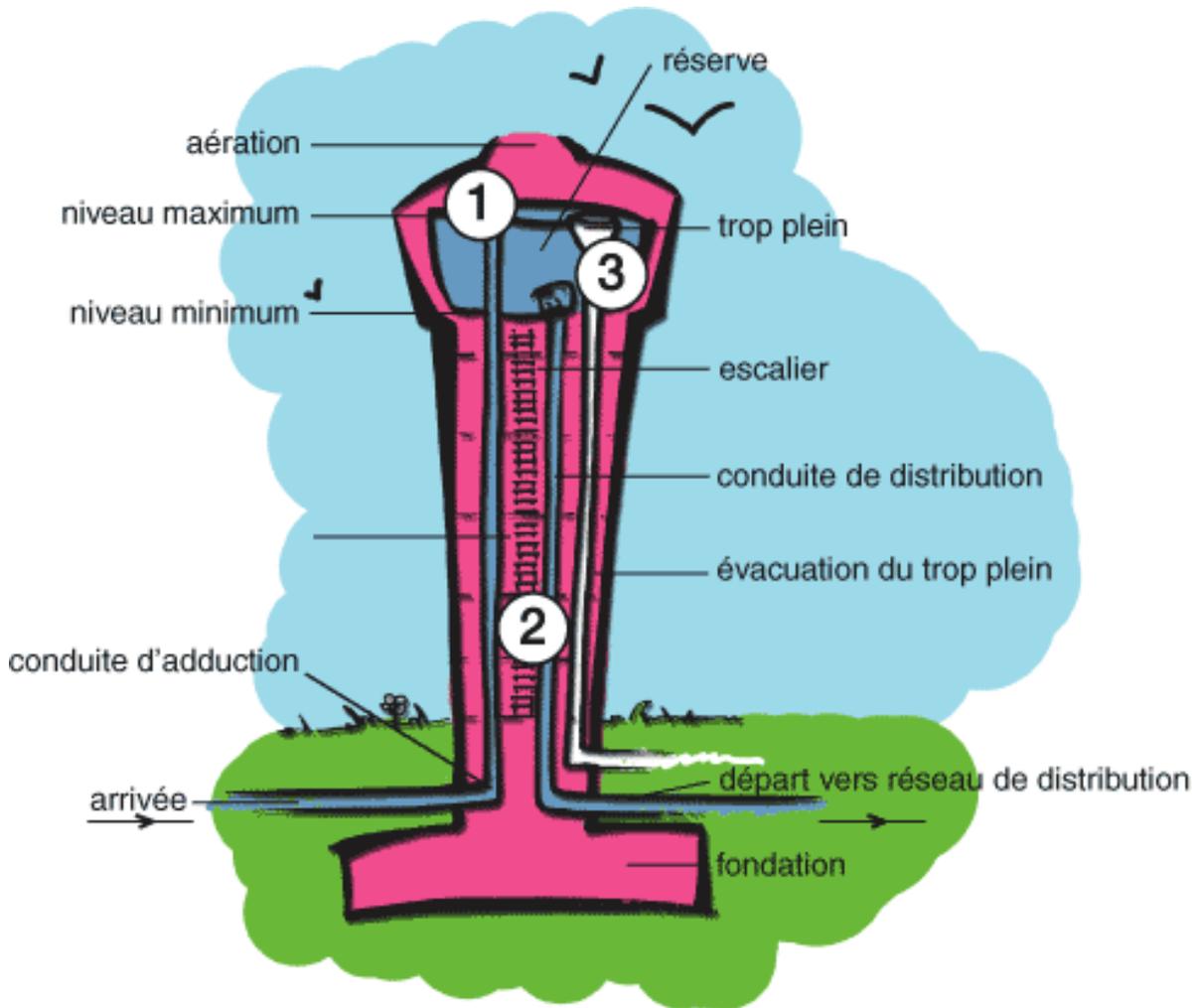


Figure 6 – Les canalisations intérieures du château d'eau

C.3. Autres équipements

Grâce au point haut qu'ils représentent, de nombreux réservoirs sur tour sont utilisés comme emplacement d'antenne relais des différents opérateurs de téléphonie mobile. Ces antennes sont placées sur le campanile de la coupole, fixées sur les bords périmétriques de la cuve, ou au sol à proximité du château d'eau.

D. Réalisation de l'étanchéité des cuves

1. Les types de revêtement d'étanchéité

A l'intérieur des cuves de château d'eau, plusieurs types de revêtement ont été adoptés pour assurer l'imperméabilité des parois :

- Étanchéité de type enduit hydraulique (classe B)
- Étanchéité à base résine époxy (classe C) :
- Étanchéité à base polyuréthane (classe B)
- Étanchéité de type membrane bitumineuse
- **Étanchéité à base de membrane de hauts polymères (Classe C)**
- Étanchéité extérieure de la coupole

D.2. Étanchéité en membrane de hauts polymères – Les Coques en PEHD

Le matériau d'étanchéité est composé d'une plaque PEHD avec des crampons. La plaque et les crampons, souvent appelés coque, sont fabriqués en une seule phase permettant ainsi d'obtenir une résistance élevée à l'arrachement. L'étanchéité est mise en place au coulage du béton.



Figure 7 – Plaque PEHD munie de crampons

D.2.1. Les voiles ou parois verticales

La plaque est posée directement sur le coffrage (photo 33 et figure 8). Elle est maintenue mécaniquement en tête et en pied. Le raccordement des panneaux entre eux est réalisé par un profilé dit « à déchirer » (photo 34). Celui-ci permet de conserver un écartement constant et limite le nettoyage ultérieur au droit de la zone à souder. Ce profilé est conducteur, ce qui permet de contrôler la soudure au peigne électrique (figures 9 et 10). Les raccordements au droit des pénétrations : canalisations, écarteurs (photo 35), sont réalisés par extrusion après coulage du béton.



Photo 33. Mise en place de l'étanchéité sur les banches

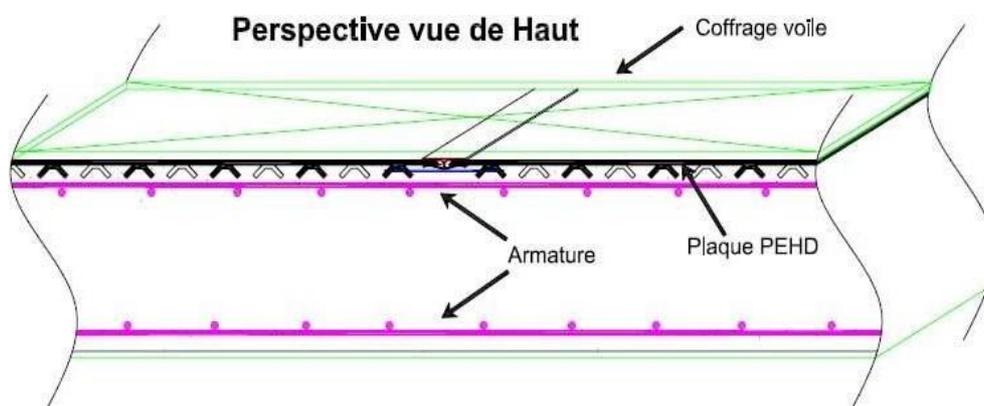


Figure 8 – Schéma selon photo 33.



Photo 34 – Raccordement des panneaux par le Profilé « à déchirer »

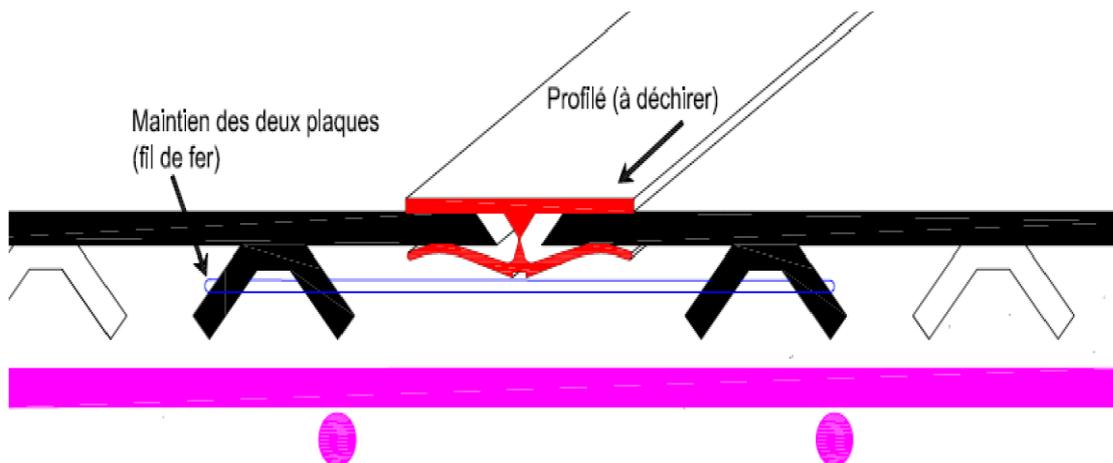


Figure 9 – Détail du profilé « à déchirer »

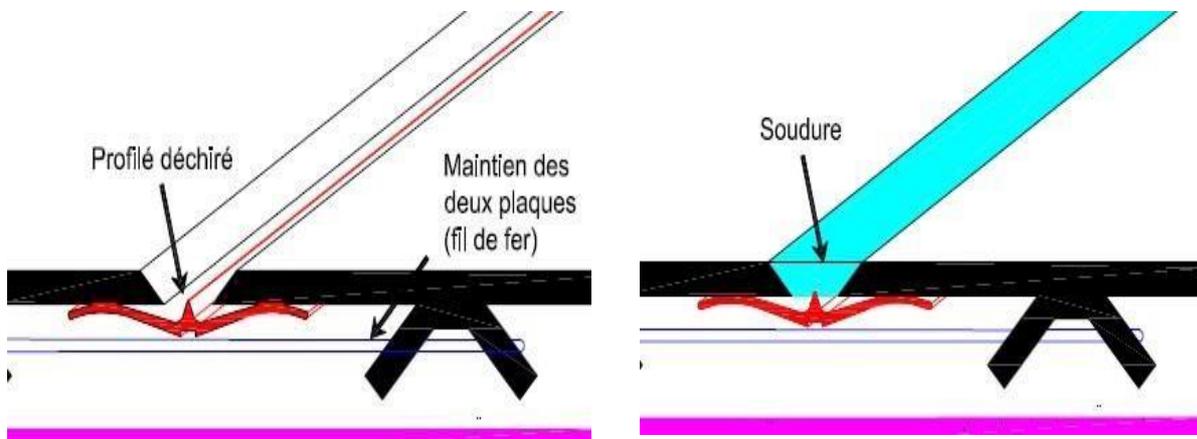


Figure 10 – Profilé déchiré (à gauche) puis Soudure par extrusion (à droite)



Photo 35 – Raccordement sur canalisation

D.2.2. Le radier

Un quadrillage de nus en béton est mis en œuvre pour assurer la planéité du radier et pour servir d'appui à la mise en œuvre des plaques (figure 11). La disposition de ces nus est fonction de la géométrie de l'ouvrage et des dimensions des plaques retenues. Sur chaque nu est ancré un profilé PE électro-conducteur.

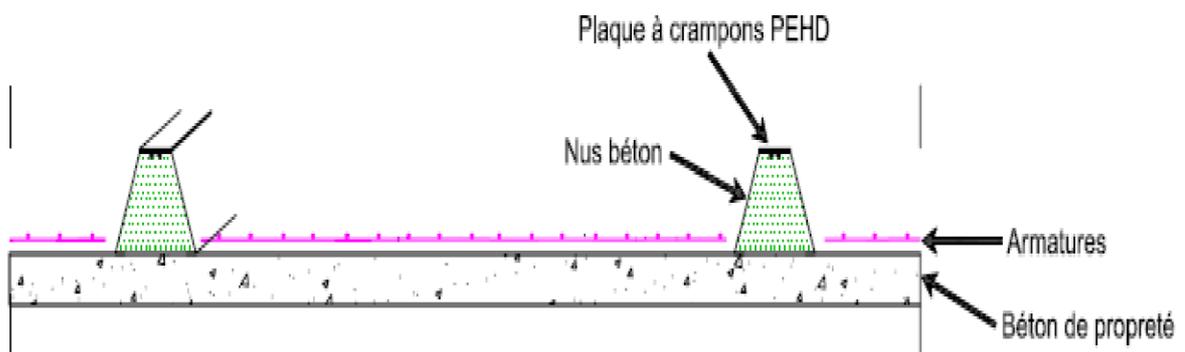


Figure 11 – Nus en béton avec plaque PEHD électro conducteur

On coule du béton entre les nus en béton (photo 36, figure 12).



Photo 36 – Coulage du béton entre les nus

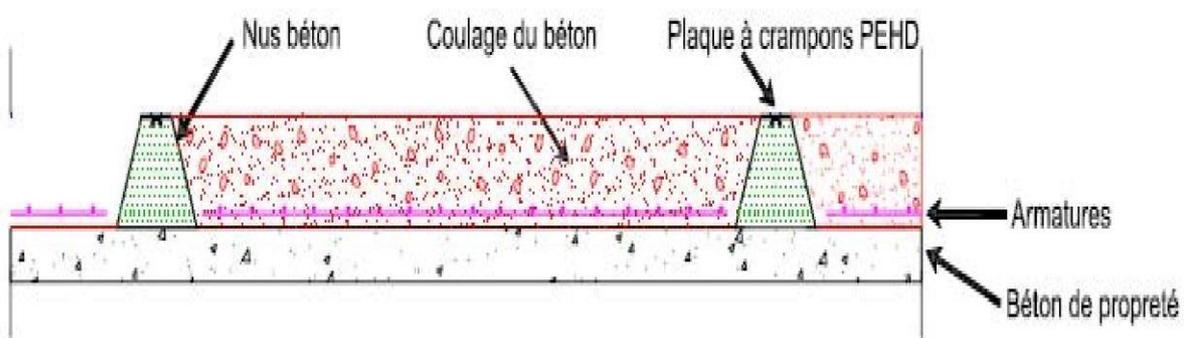


Figure 12 – Coulage du béton entre les nus

Une fois la dalle tirée, on vient mettre la plaque (photo 37, figure 13). On leste celle-ci en plaçant un contreplaqué de répartition et un lestage efficace pour une bonne prise des crampons dans le béton (figures 14, Photo 38).



Photo 37 – Mise en place de la plaque

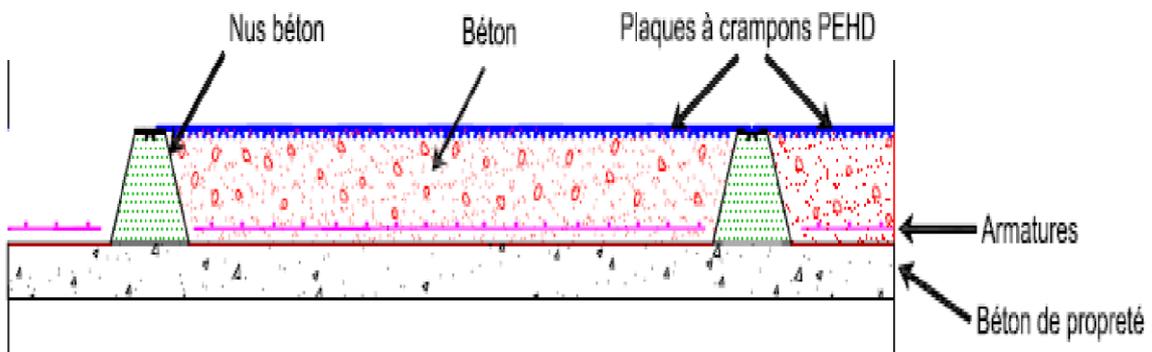


Figure 13 – Plaque PEHD posée sur le béton frais

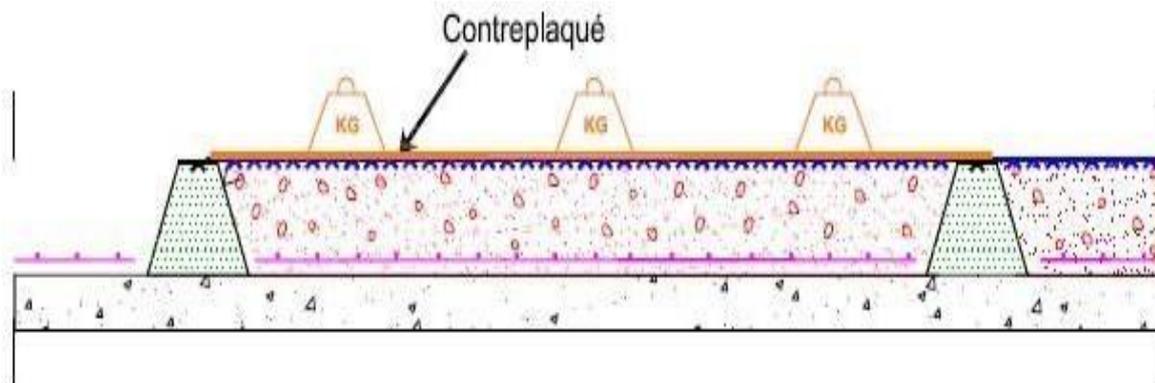


Figure 14 – Contreplaqué de répartition + lestage



Photo 38 – Lestage



Photo 39 – Trous d'évents

Lors de la mise en place des plaques dans le béton frais, le volume des crampons crée un surplus de matériaux qui s'échappe sur les côtés par des ouvertures laissées dans les nus. Pour la mise en place de la dernière plaque, ce surplus de béton ne peut s'échapper que par le dessus. On pratique alors une ouverture dans la plaque (photo 39), qui sera rebouchée ultérieurement.

D.2.3. Les soudures

Après la prise du béton, les coffrages sont retirés et les soudures sont effectuées (photo 40). Une préparation soigneuse de la soudure est nécessaire : grattage et nettoyage des parties à souder (figure 19).

Nota : Toutes les soudures sont contrôlées au peigne électrique (figure 15).



Photo 40 – Soudure par extrusion



Figure 15 – Peigne électrique

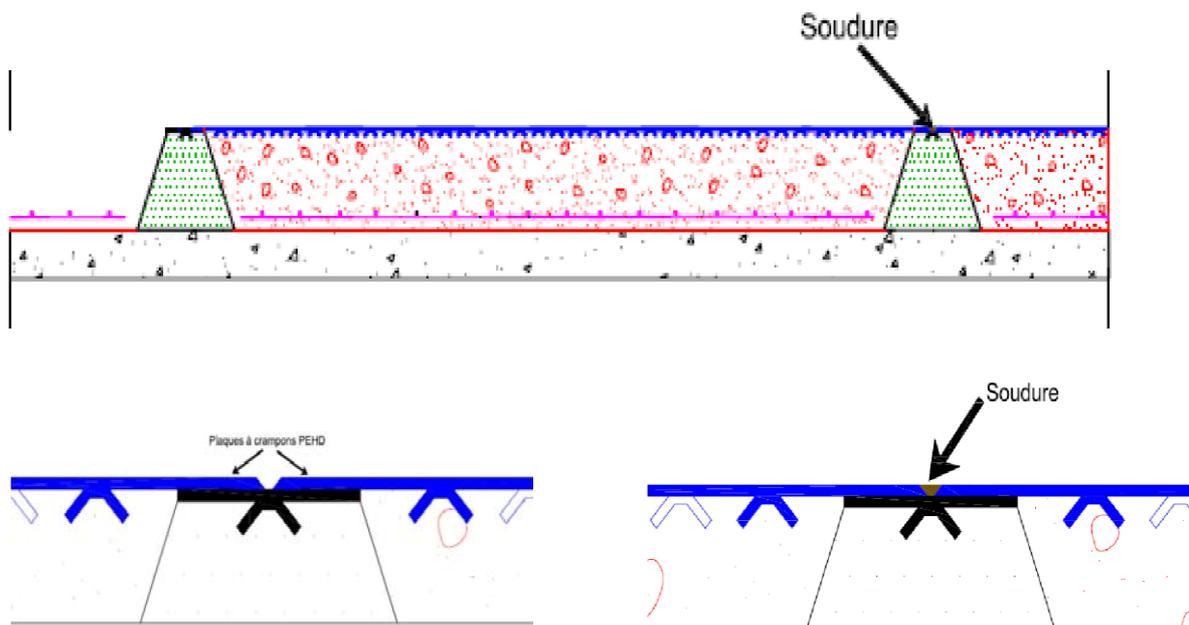


Figure 16 – Grattage au droit des parties à souder puis soudure

Le raccordement entre le radier et les voiles est réalisé selon les mêmes procédés (figure 17).

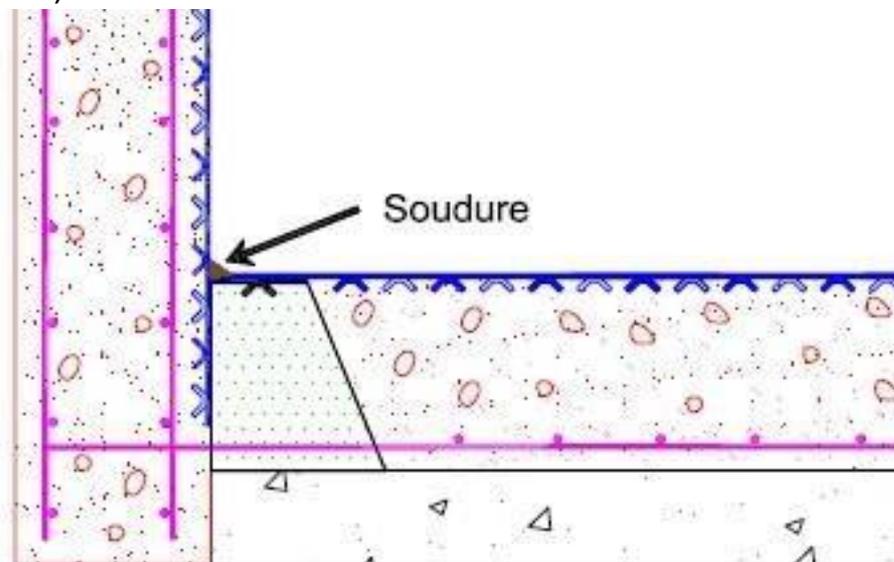


Figure 17 – Détail d'un raccordement radier / voile

D.2.4. Le plafond

Pour la réalisation du plafond, étant donné la hauteur de la cuve (8 m), l'entreprise a eu, on peut avoir recours au système poutres préfabriquées et prédalles. Ces éléments sont coulés en usine, la plaque PEHD ayant été mise en fond de coffrage. Les éléments composant le plafond sont ainsi arrivés sur chantier pré-étanchés. Au préalable, des réservations ont été réalisées pour recevoir des poutres (photos 41 et 42).

Les poutres et les prédalles sont posées de façon traditionnelle puis la dalle de compression est ensuite coulée. Les raccordements poutres / prédalles et voiles sont effectués par soudure, en plafond, selon la même méthode que précédemment (figures 18 et 19).



Photo 41 – Réserve pour la pose d'une poutre



Photo 42 – Vue d'ensemble de l'ouvrage avant le coulage du plancher



Photo 43 – Vue de l'ouvrage terminé

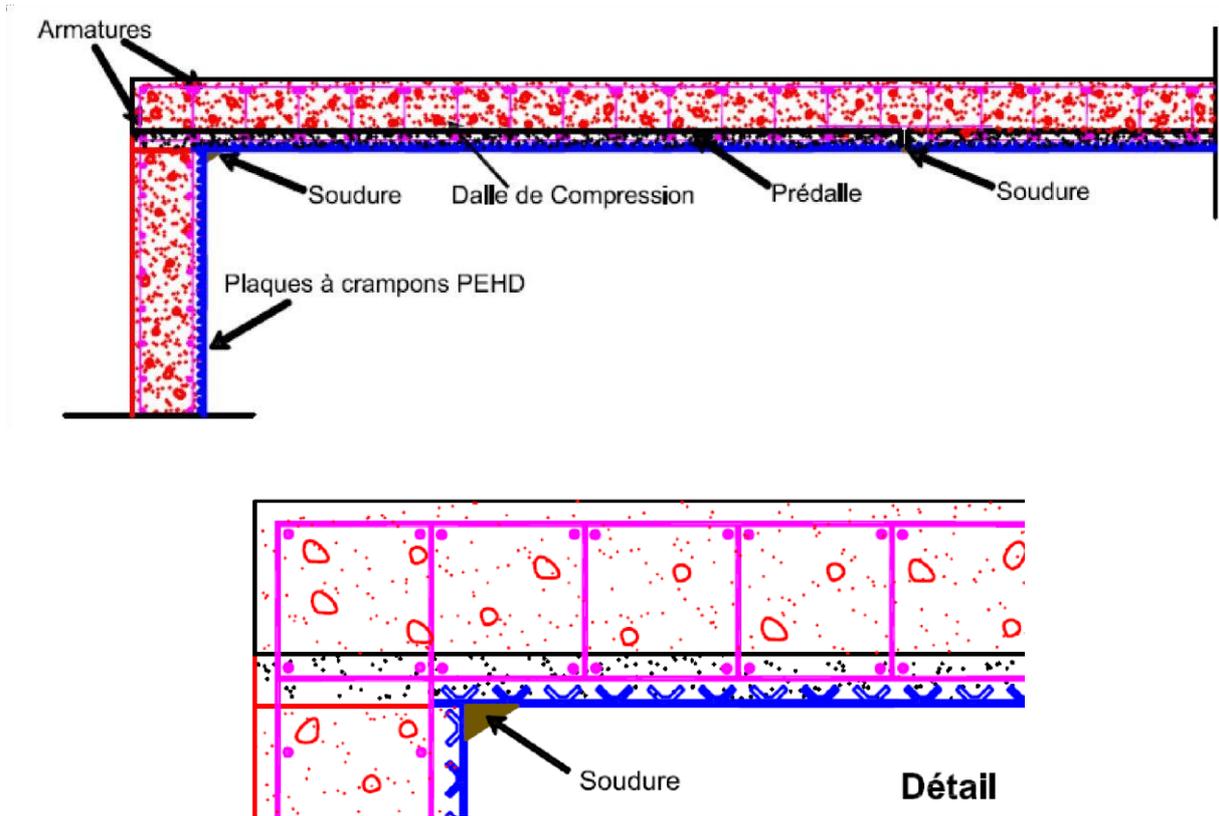


Figure 18 – Raccordement voile / plancher

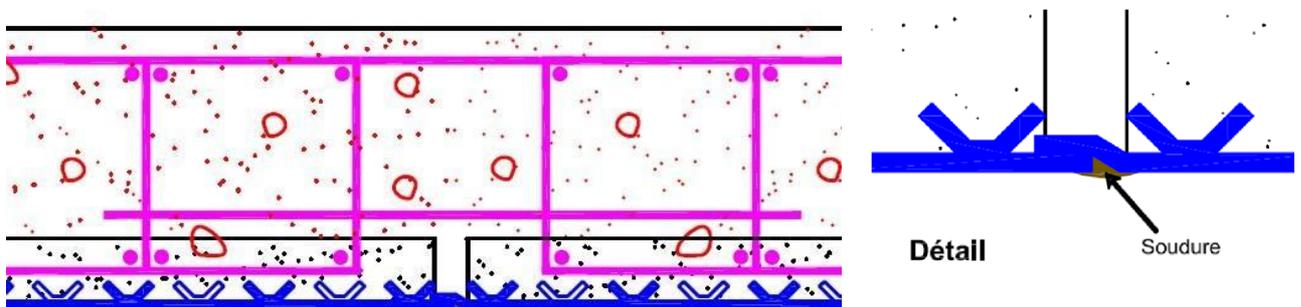


Figure 19 – Raccordement entre 2 prédalles

II/ LES OUVRAGES
HYDRAULIQUES
LES RESERVOIRS

II-1 Rôles et intérêts :

Dans la conception d'un réservoir d'eau potable, on doit viser à assurer la stabilité et la durabilité de l'ouvrage ainsi que la qualité de l'eau traitée emmagasinée.

Les réservoirs d'eau potable peuvent être de type souterrain en béton armé ou hors-terre en acier. Pour les constructions hors-terre, on retrouvera les réservoirs de type élevé ou cylindrique. Les réservoirs d'eau potable hors-terre en béton précontraint ne sont pas acceptés.

Les réservoirs de stockage ont pour rôle essentiel de :

- Se substituer aux adductions et aux ouvrages de captage en cas de pannes ou d'interruption au niveau de la production (fonction de réserve).
- Faire face aux modulations de la demande par rapport aux débits provenant de l'ouvrage de captage (fonction de demodulation).
- Assurer la mise en pression de réseau de desserte, bornes fontaines, et/ou du réseau de distribution (cas de branchements particuliers).
- Assurer la régulation du fonctionnement du groupe de pompage équipant l'ouvrage de captage, cas d'une adduction de refoulement (fonction de régulation).
- Permettre une sécurité en matière de protection contre l'incendie (cas des centres et agglomérations urbaines, équipés de bouches d'incendie).

II.2 Types de réservoirs d'eau potable :

Les réservoirs peuvent être classés de différentes façons selon le critère retenu :

- **Par rapport au sol :**

- 1-Réservoir souterrain ou semi-enterré (au sol) :**

Ce type de réservoir est généralement employé lorsque le réservoir est construit à même la station de traitement de l'eau ou lorsque le site est suffisamment élevé afin d'assurer une pression adéquate par gravité pour le réseau desservi. Lorsque construit à même la station de traitement de l'eau, le réservoir sera généralement utilisé en combinaison avec une station de pompage de type « haut niveau » qui assure un débit et une pression convenables au réseau de distribution.



Réservoir souterrain



Réservoir semi-enterré :

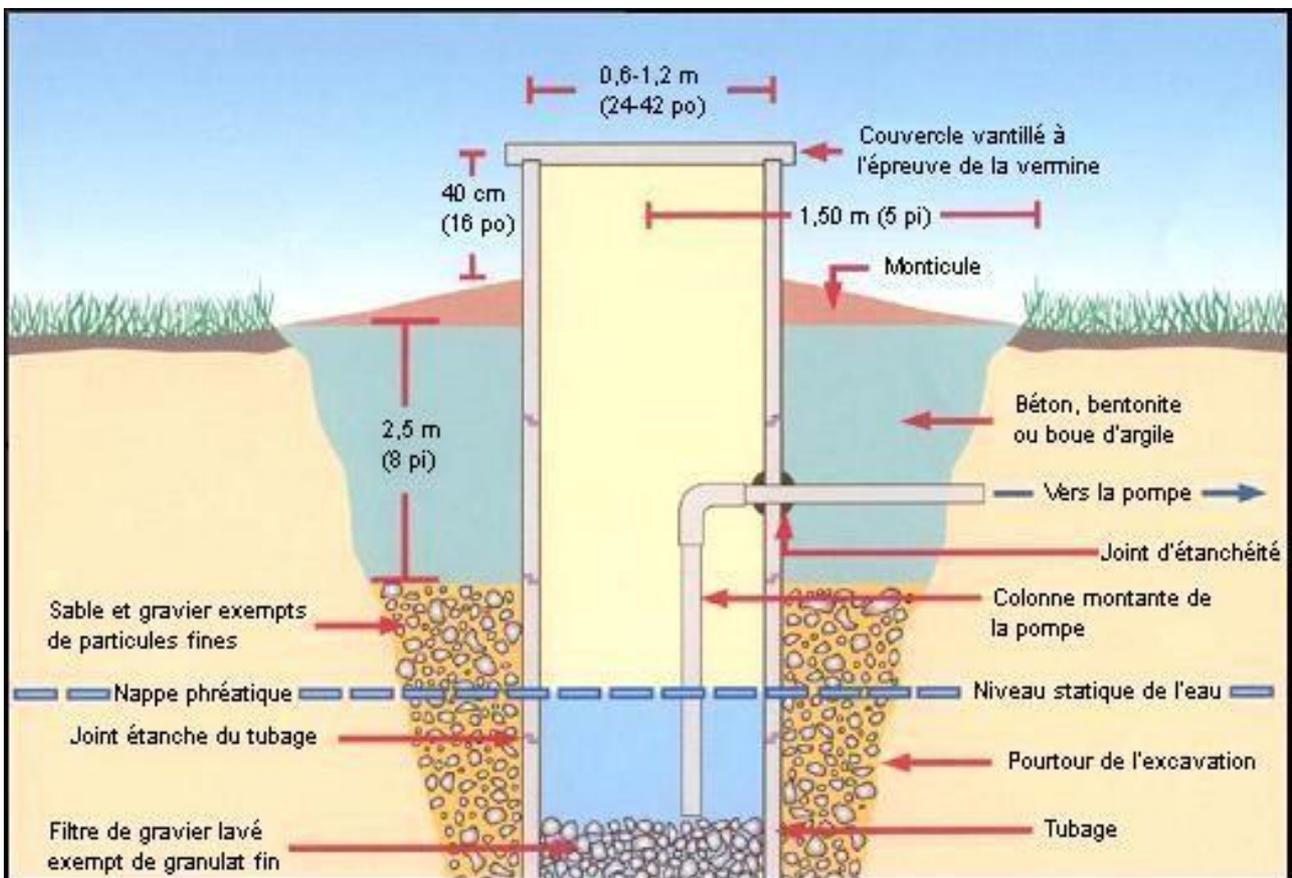


Schéma d'un réservoir enterré :

Types	Utilisations	Avantages	Inconvénients
Paroi plane	<ul style="list-style-type: none"> • Réservoirs parallélépipédiques ; • Piscines, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Coffrage plus simple, moins cher ; • Ferrailage quadrillé. 	Calcul de dalles à chargement trapézoïdal avec conditions d'encastrement variables.
Paroi circulaire	<ul style="list-style-type: none"> • Réservoirs cylindriques ; • Coupoles, voûtes, canalisations, etc. 	Calcul de révolution plus simple.	<ul style="list-style-type: none"> • Coffrage courbe difficile; • Ferrailage avec espacement variable ; • Calcul délicat des parois minces.

Tableau 1. Types de structures d'un réservoir

▪ **Par les matériaux de construction utilisés :**

- ✓ Maçonnerie
- ✓ Béton armé
- ✓ Béton précontraint
- ✓ Acier
- ✓ Plastiques

▪ **Situation par rapport à la distribution :**

- ✓ Réservoir en charge sur le réseau
- ✓ Réservoir nécessitant une surpression

⇒ **Le réservoir rectangulaire semi-enterré :**

La section rectangulaire est surtout adoptée pour les réservoirs de grande capacité (supérieur à 10 000 m³) ; plusieurs étages sont possibles, les niveaux supérieurs étant alimentés par pompage et affectés, par exemple, à l'alimentation en période de pointe.

Ils seront exécutés en béton armé ordinaire ou précontraint.

Un réservoir rectangulaire est plus coûteux de 10% en moyenne (en béton, en acier et en étanchéité) qu'un réservoir circulaire. Cependant, des considérations de construction, de mise en place des coffrages et parfois d'encombrement amènent les projecteurs à préconiser des réservoirs rectangulaires ou carrés.

A chaque fois cela sera possible, il sera préférable d'avoir recours au réservoir enterré, semi-enterré ou, au plus, en élévation au-dessus de sol avec radier légèrement enterré.

Ces types de réservoirs, les deux premiers principalement, présenteront par rapport au réservoir sur tour, les avantages suivants :

- Économie sur les frais de construction,
- Étude architecturale très simplifiée et moins sujette à critiques,
- Étanchéité plus facile à réaliser,
- Conservation à une température constante de l'eau ainsi emmagasinée.

Ces types de réservoirs s'imposeront, d'ailleurs, dès que la capacité deviendra importante.

-Comparaison des réservoirs selon les matériaux :

Dans cette sous-partie, nous avons détaillé les avantages et inconvénients principaux des différents types de réservoirs.

- Réservoir en béton

Le béton est un terme générique qui désigne un matériau de construction composite fabriqué à partir de granulats (sable, gravillons) agglomérés par un liant (ciment).

Avantages :

- Sable disponible sur place
- Gravier remplaçable par des coquillages
- Matériau de longue durée de vie
- Facile d'entretien
- Construction sur place par des entreprises locales

Inconvénients :

- Grosse mise en œuvre
- Excavation plus profonde que lors de l'utilisation de bêche
- Risque de mauvaise étanchéité (fissures difficiles à réparer)
- Restrictif quant à la forme du bassin
- Finitions délicates
- Nécessité d'une couche imperméable pour le recouvrir

- Réservoir en métal

Avantage:

-Faible coût d'investissement

Inconvénients :

-Difficile à entretenir

-Frais d'entretien et de maintenance élevés

-Mise en œuvre difficile (elle doit être réalisée par un professionnel et à l'étranger)

-Réservoir en résine

Les résines s'appliquent sur des supports (en béton par exemple) et assurent l'étanchéité du bassin. La résine polyester sur support de fibres de verre présente de nombreux avantages en termes de réalisation, solidité, fiabilité mais également en termes de prix de revient et de technicité à la pose.

Avantages :

-Très bonne qualité de matériau

-Grande liberté pour donner les formes du bassin

S-olidité maximum de la résine polyester / fibre de verre dans le temps

Inconvénients :

-Coût très élevé de la résine polyester / fibre de verre (fournitures et temps de réalisation),

-Température de pose de la résine polyester / fibre de verre comprise entre 15 et 25 degrés et par temps sec

-Mise en œuvre difficile (elle doit être réalisée par un professionnel)

-En se basant sur les aspects cités ci-dessus, nous adopterons dans le cadre de ce projet un réservoir en béton armé.

II-3 Dimensionnement des réservoirs de stockage :

Calcul de la capacité du réservoir(volume) :

En règle générale, si l'adduction unique, sans alimentation

d'appoint $V = Q$ journalière maximale+ réserve

incendie

Pour un Château d'eau : $V = 0.5 \times Q$ journalière maximale + $0.5 \times r$

Avec : r : réserve incendie

V :vitesse(m /s)

Période de dimensionnement :

- 20 ans pour les réservoirs enterrés
- 30 à 40 ans pour les châteaux d'eau

La durée utile de vie théorique d'un réservoir est limitée à 50 ans, celle des équipements techniques à 20 ans.

Cas de plusieurs réservoirs :

V total= Q journalière maximale + réserve incendie

V maximale= $2 \times Q$ journalière moyenne+réserve

incendie En règle générale : $Q_{dmax} = 2 \times Q_d$

$Q_{dmin} = \frac{2}{3} \times Q_d$ $Q_{dmax} = 3 \times Q_{dmin}$

Pression maximale de service et pression nominale

- La pression maximale de service est la pression la plus élevée existante
- dans une canalisation, pour un régime de fonctionnement donné :
- Pour un fonctionnement gravitaire, elle est égale à la pression hydrostatique dans le cas du régime statique (débit nul et vanne fermée à l'arrivée).
- Pour un tronçon en refoulement, elle est égale à la pression maximale dans le cas du régime dynamique (débit nominal).

Pour déterminer cette pression, on devrait calculer la ligne piézométrique

le long de la conduite.

La classe ou la pression nominale du tuyau est définie par la PMS

augmentée d'une marge de sécurité pour tenir compte des incertitudes d'estimation et d'éventuelles surpressions transitoires. Cette marge est

généralement prise égale à 3 bars.

II-4 Critères de choix de types de réservoirs:

- Dans une région plane, un château d'eau, de par sa hauteur, met l'eau sous pression, rendant souvent superflu d'installer des pompes, à moins qu'il s'agisse d'alimenter de hauts immeubles. Cela convient donc particulièrement pour une région rurale, où les rares bâtiments plus hauts que le château d'eau vont nécessiter (au frais de l'entreprise /immeuble) une pompe. Et où l'impact visuel n'est pas un critère majeur. Le château d'eau n'est pas forcément plus que les silos des fermes. Ils se trouvent aussi plutôt dans des régions peu peuplées, un château d'eau trop volumineux serait plus cher et pas très esthétique.

Enterré ou semi-enterré : Semi-enterré coûte en principe moins cher (il faut moins creuser), mais selon l'endroit cela défigure l'endroit. Tout dépend en fait du type de sol / sous-sol / roche.

- Creuser dans de la roche compacte coûte cher.

-La couche de roche compacte peut être couverte de terre /amas de pierre bien plus simple à creuser, mais toujours d'une profondeur suffisante pour le réservoir, la solution du semi-enterré peut donc être la moins cher, car :

-L'eau stocké crée une pression : Le terrain environnant évite que le réservoir explose, avec des murs (fondations = murs de bétons moins épais que pour un un réservoir non enterré du tout.

-Dans des régions de collines et montagnes, la pression de l'eau peut être très haute, cela peut coûter moins cher d'enterrer le réservoir, l'épaisseur des murs devrait être trop épais, trop coûteux voire impossible à réaliser.

-Quand diverses solutions (enterré, un peu ou pas du tout) sont techniquement et économiquement faisables, cela va dépendre de l'endroit. Au beau milieu d'une forêt, l'esthétique est bien moins importante que dans un haut lieu du tourisme.

Le choix se fait en fonction du terrain plat ou pas (château), des coûts de construction qui dépendent de la nature du sous-sol, et parfois aussi de l'impact visuel sur le paysage : pour une commune touristique c'est se tirer une balle dans le pied que de défigurer le paysage.

Aucune solution n'est adaptée partout, c'est du coup sur mesure, cela se passe souvent bien, il n'y a que rarement un enjeu financier déterminant.

Enfin, le contact avec le béton du parement intérieur du réservoir ne doit pas altérer les qualités du liquide emmagasiné. Le revêtement intérieur, s'il protège le béton sous-jacent doit aussi protéger le liquide de l'influence du béton.

II-5 Equipements du réservoir :

Chacun des compartiments d'un réservoir doit être muni d'une conduite d'alimentation, d'une conduite de distribution, d'une conduite de vidange et enfin, d'une conduite de trop-plein. Les dispositions spéciales qui peuvent être prises pour constituer la réserve incendie ne modifient en rien ces principes ; ce ne sont que des aménagements de détail.

A noter que les traversées des parois des réservoirs par les diverses canalisations s'effectuent à l'aide des gaines étanches.

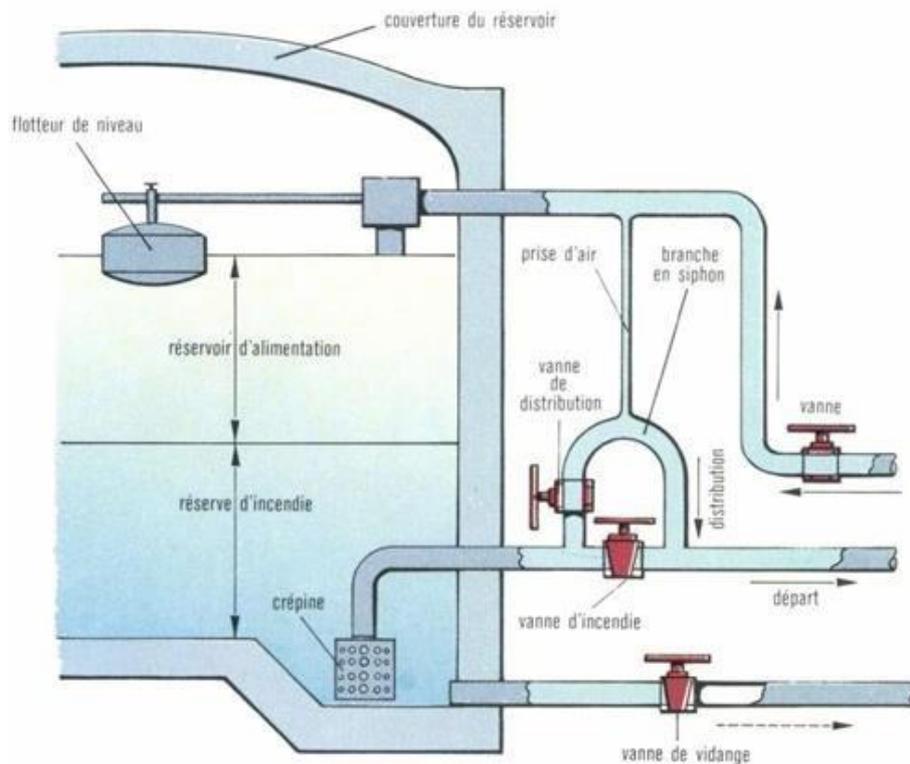


Figure 2. *Equipement d'un réservoir d'eau potable*

II-8-1 Conduite d'arrivée-Robinet flotteur :

E. CONCLUSION

La construction de réservoirs en béton armé est extrêmement répandue. Aujourd'hui la majorité de ces ouvrages est encore en service et subissent des désordres liés à leur exploitation et à leur usure. Ces désordres sont essentiellement structurels, et liés à l'étanchéité. Les facteurs principaux dégradant de la cuve et de son fût proviennent de l'agressivité de l'eau, des techniques de nettoyage et de désinfection des cuves, pour l'intérieur, et de l'exposition en altitude, l'ensoleillement différentiel, les cycles gel/dégel, les intempéries (neige et vent) pour l'extérieur.

En outre, tirer des conclusions sur le comportement d'un ouvrage nécessite de maîtriser les données structurelles, environnementales, etc...

Des missions d'inspection et de diagnostic sont alors nécessaires et doivent par conséquent s'inscrire clairement dans une démarche permettant de faire un état des lieux de l'ouvrage. Ces missions constituent une aide décisionnelle pour le maître d'ouvrage.

Les travaux de réparation et de confortement tenant compte de l'ensemble des préconisations élaborées à l'issue du diagnostic permettront de restaurer la structure, et de la conforter pour un usage prolongé et durable.

III/ LES OUVRAGES
HYDRAULIQUES
LES FOSSES SEPTIQUES

III.1 FOSSE SEPTIQUE : PRESENTATION GENERALE ET FONCTIONNEMENT

La fosse septique assure la liquéfaction partielle des matières polluantes concentrées dans les eaux usées ainsi que la rétention des matières solides et des déchets flottants.

Avantages

La fosse assure un prétraitement efficace et une liquéfaction des rejets indispensable à la phase d'épuration de l'eau qui suit la fosse.

Elle peut constituer une alternative économique aux réseaux d'assainissement dans certains cas. Une étude des économies réalisées doit cependant être réalisée dans chaque cas.

Inconvénients

Les fosses septiques coûtent plus cher que la plupart des systèmes d'assainissement individuel et ne sont pas, le plus souvent, à la portée des classes défavorisées.

Une forte quantité d'eau canalisée est nécessaire pour chasser les déchets des toilettes alimentant la fosse.

Les eaux sortant de la fosse septique ne sont pas épurées. Ce type d'ouvrage n'assure qu'un prétraitement n'éliminant que très peu, voire pas du tout, la pollution. En particulier, les germes bactériens ne sont absolument pas arrêtés. Une grande partie des problèmes posés par les fosses septiques est due à ce qu'on néglige trop souvent le traitement de ces effluents.

Pour l'irrigation, les rejets de fosses septiques posent des problèmes sanitaires.

La construction comme l'entretien des fosses septiques nécessitent une main d'œuvre relativement spécialisée qui n'est pas toujours présente dans les zones à faible revenus.

Principe de fonctionnement

Système de rejet sur fosse septique (source : Franceys, Pickford J. & Reed R., 1995, Guide de l'assainissement individuel, *Organisation mondiale de la santé*)

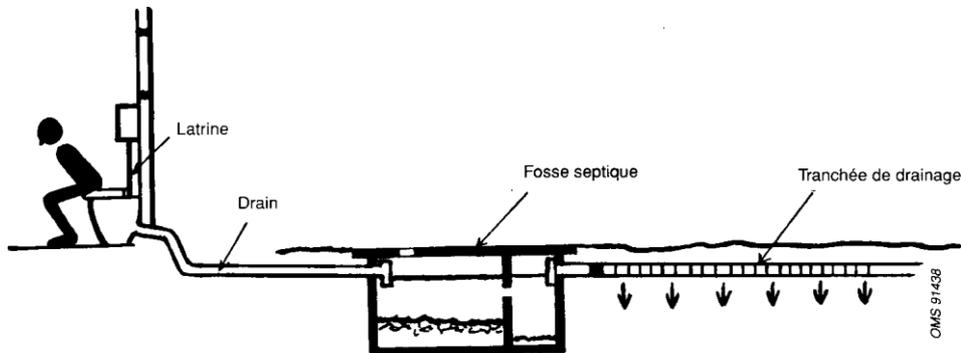
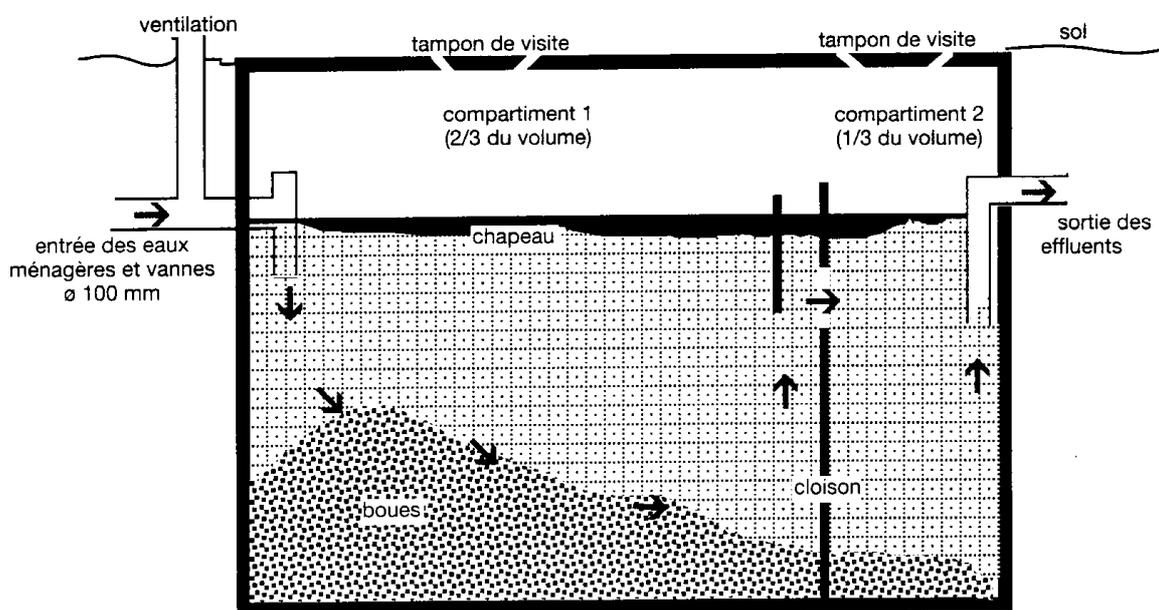


Schéma de principe d'une fosse septique (Source : Ministère de l'Environnement, Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, 1994, *Assainissement des eaux usées pour les sites isolés en montagne*)



Les dimensions de la fosse septique varient avec les capacités.

Les matières solides s'accablent, en général, dans un premier compartiment et subissent une fermentation anaérobie basique que l'on appelle « digestion ». Cette digestion entraîne la production de gaz carbonique, d'hydrogène sulfureux et de méthane. A la surface, les bulles entraînent des

particules de boues qui finissent par former une croûte appelée « chapeau ». Au fond, les matières solides se déposent. Un conduit de ventilation doit donc assurer l'évacuation des gaz tandis que des vidanges périodiques doivent permettre l'évacuation des matières solides.

Après ce premier compartiment, un deuxième¹ reçoit les effluents décantés sous la forme d'un liquide clair. Cependant, les eaux sortant de la fosse septique ne doivent surtout pas être considérées comme épurées. Ce type d'ouvrage n'assure qu'un prétraitement n'éliminant que très peu, voire pas du tout, la pollution. En particulier, les germes bactériens ne sont absolument pas arrêtés. Nous allons voir plus en détail le principe de traitement.

Or, après un certain temps, en général de 1 à 3 jours, si aucun ouvrage annexe n'est présent, le liquide ainsi prétraité sort de la fosse et est évacué par des puits perdus ou des drains de terre cuite disposés en tranchée. Une grande partie des problèmes posés par les fosses septiques sont dus à ce qu'on néglige trop souvent le traitement de ces effluents. Le liquide sortant de la fosse doit être admis dans un ouvrage annexe (filtres bactériens, puits perdus, tranchées d'infiltration, lits filtrants, plateaux absorbants...) pour un traitement plus poussé et respectueux de l'hygiène publique.

Sédimentation

Les fosses septiques sont conçues, entre autres, pour assurer l'immobilité du liquide et, par voie de conséquence, faciliter la sédimentation des matières solides en suspension, dont on se débarrasse ensuite en enlevant périodiquement le dépôt. Tout dépend de la durée de rétention, des dispositifs d'arrivée et de sortie du liquide ainsi que de la fréquence de vidange du dépôt. Lorsque de fortes chasses arrivent dans la fosse, elles entraînent une concentration momentanément élevée de matières solides en suspension dans l'effluent par suite du brassage que subissent les dépôts déjà constitués.

Ecume

Graisses, huiles et autres matériaux plus légers que l'eau flottent à la surface et constituent une couche d'écume susceptible de se transformer en croûte assez dure. Les liquides se déplacent alors entre cette croûte et le dépôt.

Digestion et solidification des boues

La matière organique, présente dans les boues déposées et la couche d'écume, est décomposée par des bactéries anaérobies, qui la transforment pour une grande part en eau et en gaz. Les boues déposées au fond du réservoir tendent à durcir sous le poids du liquide et des matières solides qui les surmontent. II

s'ensuit que leur volume est très inférieur à celui des matières solides contenues dans les effluents bruts qui entrent dans la fosse. Les bulles de gaz qui se dégagent provoquent une certaine perturbation de l'écoulement. La vitesse du processus de digestion croît avec la température, avec un maximum vers 35°C. L'utilisation de savon ordinaire en quantité normale ne devrait guère affecter le processus de digestion (Truesdale & Mann, 1968). En revanche, l'emploi de grosses quantités de désinfectant tue les bactéries, ce qui inhibe le processus.

Stabilisation des liquides

Le liquide des fosses septiques subit des modifications biochimiques, mais on n'a guère de données sur la disparition des micro-organismes pathogènes. Majumder et al. (1960) ainsi que Phadke et al. (date non précisée) ont constaté que bien que 80-90% des œufs d'ankylostomes et d'*Ascaris* aient disparu des fosses septiques étudiées, 90% des effluents contenaient encore un nombre considérable d'œufs viables.

Les effluents sortant des fosses septiques sont anaérobies et contiennent un nombre important de germes pathogènes pouvant constituer une source d'infection. Leur utilisation pour l'irrigation des cultures ou leur décharge dans les canaux ou les drains de surface posent problèmes et on se doit de consulter les autorités sanitaires locales.

MERCI POUR VOTRE ATTENTION