



DIRECTIVE TECHNIQUE

Conception et réalisation d'ouvrages hydrauliques en béton

Code : 4.1.1 DIT2

Date de rédaction : mardi 03 juillet 2012

Version : lundi 26 août 2013

☒ Version finale



Note aux lecteurs

Les prescriptions techniques générales s'appliquent aux opérations à réaliser en Haïti et relevant du champ de compétence de la Direction Nationale de l'Eau Potable et de l'Assainissement (DINEPA). Elles constituent un référentiel, certaines à portée réglementaire, nationale, technique et sectorielle, d'autres ayant un rôle d'information et de support complémentaire.

Les documents à portée réglementaire, nationale, technique et sectorielle sont :

- **Les Fascicules Techniques** indiquant les principes obligatoires et les prescriptions communes à une sous thématique technique ;
- **Les Directives Techniques** prescrivant les règles minimales imposées pour la conception et la réalisation ainsi que la gestion d'ouvrages spécifiques.

Tout propriétaire et/ou réalisateur est tenu de respecter au minimum les prescriptions qui y sont indiquées. Toute dérogation devra faire l'objet d'une autorisation au préalable et par écrit de la DINEPA.

Les documents ayant un rôle d'information et de support complémentaire, sont :

- Les fiches techniques et Guides techniques présentant ou décrivant des ouvrages ou des actions dans les différentes thématiques ;
- Les modèles de règlements d'exploitation ou de gestion ;
- Les modèles de cahiers des clauses techniques particulières, utilisables comme « cadres - type » pour les maîtres d'ouvrages et concepteurs ;
- Divers types de modèles de documents tels que procès verbaux des phases de projet, modèles de contrat ou de règlement, contrôle de bonne exécution des ouvrages, etc.

Ces documents ayant un rôle d'information et de support complémentaire sont compatibles avec la réglementation imposée et peuvent préciser la compréhension des techniques ou fournir des aides aux acteurs.

Le présent référentiel technique a été élaboré en 2012 et 2013 sous l'égide de la DINEPA, par l'Office International de l'Eau (OIEau), grâce à un financement de l'UNICEF.

Dépôt légal 13-11-504 Novembre 2013. ISBN 13- 978-99970-51-63-9.

Toute reproduction, utilisation totale ou partielle d'un document doit être accompagnée des références de la source par la mention suivante : *par exemple* « extrait du référentiel technique national EPA, République d'Haïti : *Fascicule technique/directives techniques/etc. 2.5.1 DIT1* (projet DINEPA-OIEau-UNICEF 2012/2013) »

Sommaire

1. Introduction	5
2. Préliminaires à la construction	5
2.1. Lieu de construction	5
2.2. Préconisations pour une construction	5
2.2.1. Contraintes de compression et de traction	5
2.2.2. Dimensionnement des poteaux	6
2.2.3. Dimensionnement des poutres	6
2.2.4. Elancement	6
2.3. Possibilités pour lutter contre l'érosion	6
2.4. Matériaux de base	6
2.4.1. Sable et gravier	7
2.4.2. Eau et ciment	7
2.4.3. Fers	7
2.5. Matériaux élaborés	7
2.5.1. Mélange des matériaux et dosages de béton	7
2.5.2. Etanchéité des bétons	7
3. La construction	8
3.1. Importance des lignes droites et dimensions	8
3.1.1. Tolérances générales de dimension	8
3.1.2. Défaut d'aplomb	9
3.1.3. Tolérance de rectitude	9
3.2. La dalle radier	9
3.3. Les armatures	9
3.3.1. Armatures pour ouvrages enterrés entre 1 et 3 m de profondeur	10
3.3.2. Armatures pour ouvrages enterrés à plus de 3 mètres de profondeur	10
3.4. Coulage des éléments béton	10
3.5. Vibration des bétons	11
3.5.1. Vibration simple	11
3.5.2. Vibration pour ouvrages d'art critiques	11
3.6. Soins du béton	12
3.7. Passemment de tuyau dans le voile béton	12
4. Les différents ouvrages	13
4.1. Fosses étanches pour latrines	13
4.2. Captages	13
4.3. Réservoirs	13
4.3.1. Réservoirs circulaires	14
4.3.2. Réservoirs rectangulaires	14
4.3.3. Etanchéité des réservoirs	15
4.3.4. Etanchéité de la toiture	16
4.3.5. Soutènement de l'ouvrage	16
4.4. Regards	16

5. La vérification de la construction et les pathologies	17
5.1. Pathologies au niveau des fondations.....	17
5.1.1. Observation	17
5.1.2. Réparation des fondations	18
5.2. Pathologies au niveau des structures béton armé	19
6. Recommandations pour une intervention de réhabilitation	24
6.1. Préventions de la contamination	24
6.2. Remise en service.....	24
7. Sources.....	24
8. Définitions	24

1. Introduction

Le présent document indique les prescriptions minimales à suivre quant à la construction des ouvrages en béton hydraulique, que ce soit pour les matériaux, le lieu, ou la façon de les réaliser.

2. Préliminaires à la construction

2.1. *Lieu de construction*

Certaines précautions avant toute construction s'imposent. Il ne faut pas construire un bâtiment à certains endroits ou de certaines façons :

- ✚ On n'adosse pas un ouvrage à un mur de soutènement, on le construit au moins à 1 m de distance
- ✚ On évitera de poser la base d'un ouvrage sur le haut d'un mur de soutènement
- ✚ On ne construira pas un ouvrage sur pilotis ou poteaux
- ✚ On ne construira pas un ouvrage près du bord d'une falaise, qui pourrait s'écrouler sous le bâtiment
- ✚ On ne construira pas un ouvrage au pied d'une falaise : il faudra laisser au minimum 10 m entre le bâtiment et la falaise
- ✚ On ne construira pas un bâtiment en zone inondable (y compris durant la saison cyclonique)
- ✚ On construira le bâtiment sur un terrain de faible pente ou plat uniquement, pas sur un terrain avec une forte pente ($>10\%$)
- ✚ Ne pas construire sur le site d'une décharge ou d'une ancienne décharge
- ✚ Avant toute opération de construction on s'assurera de la délivrance du permis de construire auprès de la mairie, incluant les autorisations foncières, et ce avant même la fourniture des matériaux
- ✚ Seule la Direction Générale des Impôts est habilitée à gérer les transactions foncières, y compris leur vente ou session
- ✚ Construire au minimum à 1,5 m d'un autre bâtiment n'ayant pas le même propriétaire.
- ✚ Posséder et pouvoir fournir le titre de propriété à l'administration est absolument nécessaire.

2.2. *Préconisations pour une construction*

2.2.1. *Contraintes de compression et de traction*

Un élément de béton travaillant en compression ne devra pas subir une pression de plus de 50 kg/cm^2 . Il faudra tenir compte de cela par exemple pour des poteaux de support pour un réservoir d'eau. Ainsi, un poteau de 15 cm de côté ne doit pas supporter une charge de plus de 11 250 kg.

Les effets de remplissage et de vidange des réservoirs ajoutent des contraintes supplémentaires, tout poids d'une structure de type réservoir posée sur des poteaux doit donc être multiplié par 1,2. Ainsi, 4 poteaux de 15 cm de côté qui devraient normalement porter 45 000 kg, ne doivent pas supporter plus de 37 500 kg dans le cas d'un réservoir. (Rappel : 1 m^3 de béton ou de béton armé pèse 2 500 kg).

Un élément de béton travaillant en flexion ne pourra pas subir plus de 8 kg/cm^2 .

2.2.2. Dimensionnement des poteaux

Un poteau de support ne doit pas avoir une section inférieure à 15x15 cm.
Le côté d'un poteau est déterminé par la formule qui suit :

$$a = \frac{l \times 0,7}{14,4}$$

Avec :

a : la longueur du côté du poteau en cm

l : la longueur prévue du poteau en m.

2.2.3. Dimensionnement des poutres

Une poutre doit avoir au minimum les dimensions suivantes :

✚ Hauteur = 0,1 x Portée

La portée est la longueur de poutre maximale située entre deux appuis. Elle est exprimée en mètres.

La hauteur est au minimum de 15 cm

✚ Largeur = 0,3 x Hauteur

La largeur est au minimum de 10 cm.

2.2.4. Elancement

L'élancement (e) ou rapport entre hauteur entre sol et plafond et épaisseur de la structure de support ne peut pas dépasser 20.

$$e = \frac{\text{hauteur}}{\text{épaisseur}} \leq 20$$

Exemple : Une structure avec des piliers d'1m de côté ne pourra pas avoir son plus haut point à plus de 20 m de haut sans entretoise de la même épaisseur.

Dans tous les cas, pour une structure posée sur des piliers, il faut réaliser un chaînage horizontal entre les piliers à la base et au sommet des piliers. La réalisation d'un chaînage horizontal intermédiaire ou la pose d'entretoises pour une hauteur globale de plus de 10 m est recommandée.

2.3. Possibilités pour lutter contre l'érosion

Du fait de précipitations fortes ou très fortes, les terrains comme les bâtiments sont très sensibles à l'érosion, et plus particulièrement ceux situés non loin d'une ravine ou d'un fond de vallée. Il devient dès lors nécessaire, pour assurer une durée de vie suffisante des ouvrages mis en place, de poser des protections. Les recommandations pour lutter contre l'érosion sont détaillées dans la Directive Technique relative à la Réalisation d'ouvrages de génie civil maçonnés (4.1.1. DIT1) et la Fiche Technique relative aux mesures de protection contre l'érosion (5.2.1 FIT 2).

2.4. Matériaux de base

Les matériaux devront avoir au minimum les qualités requises par le Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics (LNBTP) d'Haïti.

2.4.1. Sable et gravier

Les prescriptions quant à la qualité du sable et du gravier, ainsi que la qualité du lavage effectué sont détaillées dans la Directive Technique portant sur la Réalisation d'ouvrages de génie civil maçonnés (4.1.1 DIT1) .

Il faut cependant insister très fortement sur l'interdiction formelle du moindre contenu en calcaire dans les sables ou graviers utilisés. Dans le cas présent, les bétons seront en permanence en contact avec de l'eau, et la dissolution du calcaire dans l'eau aurait des effets catastrophiques sur la résistance de la structure construite, pouvant aller jusqu'à la rupture d'une paroi.

2.4.2. Eau et ciment

Les prescriptions relatives à l'eau et au ciment se trouvent dans la Directive Technique ayant pour sujet la Réalisation d'ouvrages de génie civil maçonnés (4.1.1 DIT1).

2.4.3. Fers

Le béton en lui-même résiste bien à la compression, mais pas à la traction ou au cisaillement. Les fers, eux, apportent leur résistance à toutes les forces, donnant, s'ils sont bien enrobés dans du béton (au moins 3 centimètres d'enrobage), une bien meilleure résistance au béton qui est alors nommé béton armé. Les fers ne devront jamais être entreposés à même le sol.

Quels que soient les fers utilisés, ils doivent être neufs, pas de récupération ! Les fers doivent également être pourvus de nervures ou stries (de petites lignes en relief d'environ 1 mm de large qui permettront une meilleure adhésion du béton et une meilleure résistance du béton armé). Au moment de la mise en œuvre du béton, les armatures en place doivent être propres, sans souillure susceptible de nuire à l'adhérence du béton.

2.5. Matériaux élaborés

Le béton servira à fabriquer les piliers de béton armé, par exemple. C'est le gravier qui lui confèrera sa solidité. Tout béton ou mortier devra être couvert par exemple avec une bâche (préla ou tarpaulin), de façon à le protéger du soleil pendant au moins 24 heures.

2.5.1. Mélange des matériaux et dosages de béton.

Les détails sur le mélange des matériaux, les écarteurs, et les dosages de bétons à appliquer se trouvent dans la Directive Technique relative à la Réalisation d'ouvrages de génie civil maçonnés (4.1.1 DIT1) .On utilise plus particulièrement le mélange F.

2.5.2. Etanchéité des bétons

Dans le cadre des bétons pour ouvrages hydrauliques, et plus particulièrement ceux qui seront au contact de l'eau, par exemple le fond ou les parois d'un réservoir, il est plus intéressant d'ajouter un adjuvant d'étanchéité compatible avec un usage alimentaire (1 à 2 %) qui les rendrait étanches.

A défaut, l'ajout de bentonite (environ 4 %) en lieu et place de l'adjuvant peut rendre le béton plus étanche, mais ne sera pas équivalent.

Si ni les adjuvants, ni la bentonite ne sont disponibles, il convient de réaliser un enduit intérieur sur 1 cm d'épaisseur avec un béton 1/4 (1 volume de ciment pour 4 de sable), puis d'appliquer une deuxième couche avec un béton 1/3. Au niveau des angles droits, ils devront être disposés de façon à former un gousset, et donc être légèrement plus épais, comme le montre la figure ci-dessous.

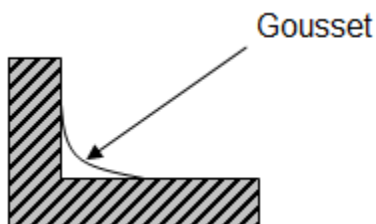


Figure 1 : Disposition d'un gousset lors d'un enduit

Il est possible d'utiliser des goudrons ou des bitumes pour réaliser un enduit imperméable, dans le cas de latrines à fosse étanches ou de regards.

Il est formellement interdit d'utiliser cette méthode pour tout ouvrage ou portion d'ouvrage au contact d'une eau qui doit être consommée.

3. La construction

3.1. Importance des lignes droites et dimensions

Il est important d'avoir des murs/poteaux verticaux, droits, et se recoupant à angles droits. De même, il est important de faire une dalle de sol horizontale.

Cela permet :

- ✚ d'offrir une meilleure résistance de l'ouvrage
- ✚ de pouvoir facilement installer des regards sur l'ouvrage.

Les tolérances de dimension, d'aplomb, ou de rectitude s'appliquent aussi bien aux poutres qu'aux murs, aux dalles, ou aux poteaux.

3.1.1. Tolérances générales de dimension

La tolérance sur toute dimension d exprimée en centimètres et mesurée entre parements opposés, arêtes ou intersections d'arêtes, est donnée par la formule suivante :

$0.07 \times \sqrt{d}$ cm, arrondie au millimètre inférieur, avec minimum de 1 cm et maximum de 7 cm.

Un exemple simple avec une poutre de 10 m de long, 35 cm de hauteur, et 10 cm de large :

- la tolérance sur la largeur est de $0.07 \times \sqrt{10} = 0.22$ cm, mais le minimum de tolérance étant de 1 cm, on garde la valeur de 1 cm.
- la tolérance sur la hauteur est de $0.07 \times \sqrt{35} = 0.41$ cm, mais le minimum de tolérance étant de 1 cm, on garde la valeur de 1 cm.

- la tolérance sur la longueur de la poutre (1000 cm) est de $0.07 \times \sqrt{1000} = 2.21$ cm. On arrondit au millimètre inférieur, à 2.2 cm.

3.1.2. Défaut d'aplomb

Le défaut d'aplomb admissible d'un élément de hauteur h exprimée en centimètres, voisin de la verticale, est égal à : $\sqrt{h}/7$ cm, avec maximum de 10 cm.

3.1.3. Tolérance de rectitude

La tolérance de rectitude sur une arête ou génératrice rectiligne est caractérisée par la flèche admissible sur tout segment de longueur L exprimée en centimètres de cette arête ou génératrice. La tolérance en cause est égale à la plus grande des deux valeurs : $\sqrt{L}/20$ cm en élévation ou $\sqrt{L}/10$ cm en plan, et de 1 cm.

3.2. La dalle radier

Les prescriptions pour la réalisation d'une dalle de sol se trouvent dans la Directive Technique portant sur la Réalisation d'ouvrages de génie civil maçonnés (4.1.1 DIT1)..

Dans le cas d'une dalle située à plus d'1 m sous le niveau du sol, la dalle doit avoir au minimum une épaisseur de 15 cm.

3.3. Les armatures

Les prescriptions sur les armatures et les recouvrements d'armatures se trouvent dans la Directive Technique relative à la Réalisation d'ouvrages de génie civil maçonnés (4.1.1 DIT1). Les diamètres des armatures et leur maillage seront précisés dans le paragraphe relatif aux réservoirs, et aux ouvrages enterrés, ces ouvrages étant soumis à des contraintes fortes.

Tableau 1. : Correspondance cm / pouce pour les fers à béton

Pouce	mm
$\frac{1}{4}$	6
$\frac{5}{16}$	8
$\frac{3}{8}$	9,5
$\frac{1}{2}$	12
$\frac{5}{8}$	16
$\frac{3}{4}$	19

3.3.1. Armatures pour ouvrages enterrés entre 1 et 3 m de profondeur

Les ouvrages étant enterrés entre 1 et 3 m de profondeur doivent avoir des armatures disposées comme suit :

- ✚ Les armatures verticales doivent avoir un diamètre minimal de 8 mm et doivent être disposées à la base de la fosse tous les 11,5 cm. A mi-hauteur, on peut interrompre un fer sur 2.
- ✚ Les armatures horizontales doivent avoir un diamètre minimal de 8 mm et une maille de 20 cm pour la partie inférieure, de 6 mm et une maille de 20 cm pour la partie supérieure. Elles doivent être disposées vers l'extérieur de la structure pour toute la portion enterrée. Si une partie de la structure n'est pas enterrée, les armatures de cette partie doivent être disposées vers l'intérieur, pour résister à des pressions de l'intérieur vers l'extérieur.
- ✚ Le recouvrement des armatures doit se faire tel que mentionné dans la Directive Technique sur la Réalisation d'ouvrages de génie civil maçonnés (4.1.1 DIT1), avec un recouvrement pour chacune des mailles.
- ✚ L'usage de treillis soudés est permise, à condition d'avoir un espacement entre les armatures d'au maximum 12 cm, et un diamètre minimal de 8 mm.

3.3.2. Armatures pour ouvrages enterrés à plus de 3 mètres de profondeur

Les armatures doivent suivre au strict minimum les prescriptions mentionnées dans le paragraphe précédent, avec des armatures verticales de 10 mm de diamètre au minimum. Une étude de génie civil est nécessaire pour déterminer le maillage et le diamètre minimal des aciers, qui peuvent être nettement plus restrictifs que ceux mentionnés plus haut.

3.4. Coulage des éléments béton

On coule en premier lieu les poteaux, sur une hauteur maximale de 1,2 m par jour. Quand on arrivera au niveau d'une structure béton horizontale, on la coulera en même temps, pour un raccord aussi solide que possible.

A tout moment du coulage, on remue le béton avec une tige de fer, et on le fait vibrer en donnant des coups de marteau sur le coffrage, pour bien l'homogénéiser. L'homogénéité d'un béton est ce qui fait sa résistance.

Il ne faut jamais ajouter d'eau à un béton déjà réalisé pour le rendre plus liquide : cela aurait pour effet de diminuer sa résistance.

Pour tout ouvrage d'art important en taille (réservoir, fosse étanche pour toilette collective...), il faut attendre 1 mois après le coulage de la dalle du radier ou des fondations avant de couler le reste.

De façon à avoir des reprises de bétonnage aussi bonnes que possible, le béton doit être aussi horizontal que possible, avec un piquage de la surface (petits trous percés). Le béton doit être lavé avant la reprise de bétonnage.

De la même façon, si un réservoir critique doit être posé sur des poteaux, des murs, ou un cylindre, on doit attendre 28 jours avant de poser la dalle de fond sur le chaînage horizontal en haut des poteaux ou du cylindre, afin d'obtenir une résistance du béton aussi grande que possible (60 % dans le cas présent) et de diminuer les problématiques liées au retrait.

Tableau 2. : Résistance du béton en fonction du temps passé depuis son coulage
(Source *Eau, Assainissement, Hygiène pour les populations à risque – 2006 – ACF*)

Durée	Résistance totale (%)
3 jours	20
17 jours	45
28 jours	60
3 mois	85
6 mois	95
1 an	100

Tableau 3. : Retrait du béton en fonction du temps passé depuis son coulage
(Source *Eau, Assainissement, Hygiène pour les populations à risque – 2006 – ACF*)

Durée (j)	Retrait (mm/m)
2 jours	0.04
7 jours	0.13
28 jours	0.27
3 mois	0.40
1 an	0.42
3 ans	0.45

Il est recommandé de ne pas mettre en service un réservoir élevé critique avant au minimum 3 mois après le coulage des éléments béton qui le composent, de façon à atteindre 85 % de la résistance maximale du béton.

Après cette période et jusqu'à 6 mois, une mise en service partielle sur au maximum 50 % de la capacité nominale du réservoir peut être effectuée. Passé ce délai, le réservoir peut être utilisé normalement.

Un test d'étanchéité peut être réalisé au bout d'un mois. On se référera à la Directive Technique relative aux Tests d'étanchéité sur éléments de réseau d'eau potable (5.1.3 DIT1).

3.5. Vibration des bétons

La vibration a pour but de débarrasser le béton des bulles d'air qui se sont faites pendant sa préparation. Elle permet également de mieux coller le béton aux armatures, de le rendre plus homogène, ainsi que de répartir ses agrégats.

3.5.1. Vibration simple

Lorsqu'on coule le béton, on l'agite, sur l'endroit où on le coule, avec une tige de fer. Le béton doit ensuite être vibré par application de coups sur le coffrage.

3.5.2. Vibration pour ouvrages d'art critiques

Pour les ouvrages d'art critiques, il faut effectuer une vibration interne : on n'admet que les vibrateurs à fréquence élevée, supérieure à douze mille (12 000) cycles par minute. L'entreprise devra constamment posséder un nombre de pervibrateurs suffisants en fonctionnement pour assurer un serrage régulier et total à la cadence de bétonnage.

Les dallages doivent être vibrés superficiellement avant talochage.

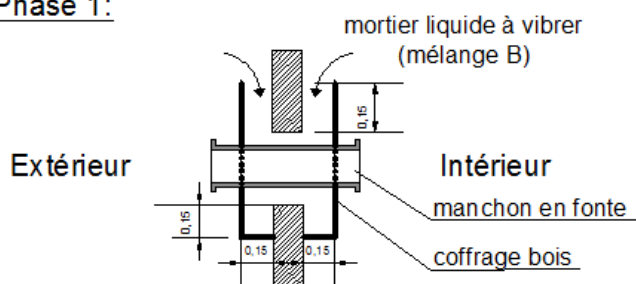
3.6. Soins du béton

Le béton doit être protégé du soleil, maintenu humide, tout en restant protégé de la pluie. Son coffrage doit être arrosé pendant au moins 3 jours suivant la coulée, puis une fois décoffré, le béton doit être arrosé pendant 7 jours minimum. La surface arrosée doit être recouverte, par exemple d'une bâche (prela).

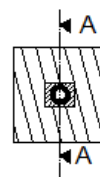
3.7. Passement de tuyau dans le voile béton

De façon à minimiser les pertes d'étanchéité et de résistance structurelle, les tuyaux ne peuvent pas être posés de n'importe quelle façon : ils doivent être posés comme l'indique la figure ci-dessous.

Phase 1:



Vue de face:



Vue en perspective:

Phase 2: Coupe AA

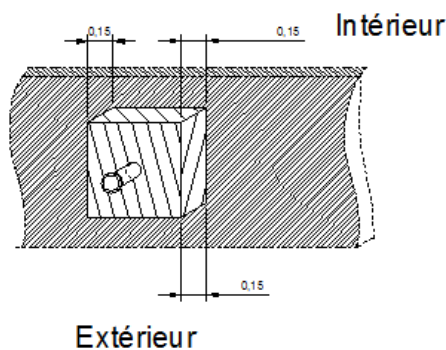
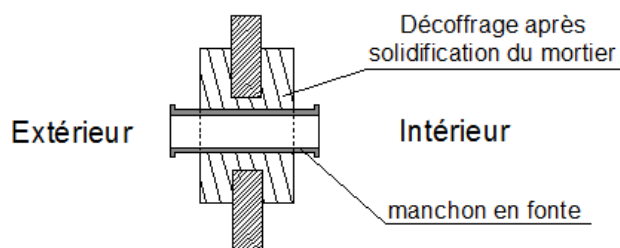


Figure 2 : Passement de tuyau dans un voile béton

Le mélange B est défini dans la Directive Technique sur la Réalisation d'ouvrages de génie civil maçonnés (4.1.1 DIT1). Le bloc de mélange B encadrant le manchon de fonte doit être étanche. Cela peut se faire en ajoutant de la bentonite ou des adjuvants d'étanchéité compatibles avec un usage alimentaire au mélange précité.

Si ces produits ne sont pas disponibles, 2 couches d'enduit de 1 cm d'épaisseur doivent être posées sur la partie située à l'intérieur du réservoir, la première avec un béton 1/4 (1 volume de ciment pour 4 de sable), et la deuxième avec un béton 1/3. Cela ne rendra toutefois pas le dispositif complètement étanche.

4. Les différents ouvrages

4.1. Fosses étanches pour latrines

Les parois des fosses étanches doivent être réalisées en béton armé.

Les armatures seront disposées comme précisé dans le paragraphe 3.3.1, à propos des ouvrages à une profondeur de 1 à 3 m au maximum.

Les parois des latrines doivent avoir une épaisseur minimale de 10 cm. Le béton qui les compose (mélange F), doit comporter un adjuvant anticorrosion, et un adjuvant d'étanchéité à concurrence maximale de 2 % en masse.

Si l'adjuvant d'étanchéité n'est pas présent, un ajout de bentonite peut en tenir lieu. Attention, cet ajout modifie les temps de prise du béton, qui deviennent plus grands.

Il est également possible de réaliser un enduit de goudron ou de bitume pour rendre la fosse étanche.

Dans le cas de l'absence d'un adjuvant anticorrosion, il est recommandé d'augmenter l'épaisseur des parois de la fosse de 3 cm et d'utiliser des écarteurs de 5 cm pour mieux protéger les fers contre la corrosion.

4.2. Captages

La partie d'une boîte de captage où se trouve l'émersion n'a pas besoin d'être étanche mais le reste doit l'être.

Une simple construction utilisant du mélange B, avec un éventuel adjuvant d'étanchéité ou de la bentonite (à concurrence de 4 kg/m³) est donc suffisante. Pour les armatures, elles doivent suivre les mêmes prescriptions que dans le paragraphe 3.3.

Il faut noter que les adjuvants d'étanchéité devront être, s'ils sont utilisés, compatibles avec un usage pour eau de boisson (non toxicité).

4.3. Réservoirs

L'épaisseur minimale de paroi pour les réservoirs est de 15 cm, indépendamment de leur forme ou de leurs dimensions.

L'épaisseur d'une dalle de fond portée sur des poteaux ou des murs est définie comme suit :

-  Dalle sur 4 poteaux : 1/20 ème de la portée
-  Dalle sur 2 murs : 1 / 30 ème de la portée
-  Dalle sur 4 murs : 1 / 40 ème de la portée

L'épaisseur minimale de la dalle de fond est de 15 cm, ou au minimum égale à l'épaisseur des parois du réservoir, selon la valeur la plus grande.

La dalle de fond doit être légèrement inclinée vers le trou de vidange, de façon à ce qu'on puisse évacuer la totalité de l'eau lors d'une vidange.

Le trop-plein ne doit en aucun cas se déverser au pied du réservoir pour éviter les affouillements. La pose d'une canalisation permettant d'évacuer les eaux du trop-plein est recommandée. Le positionnement de la vidange doit ainsi être choisi avec soin : en particulier on s'assurera que la vidange ne cause pas de dommages aux riverains (inondations, eaux stagnantes ou affouillements par exemple).

4.3.1. Réservoirs circulaires

✚ Épaisseur des parois

La formule de calcul d'épaisseur des parois pour les réservoirs circulaires est la suivante :

$$e = 0,22 \times D \times H$$

Avec :

- e : l'épaisseur en cm (minimum, 15 cm)
- D : le diamètre du réservoir en m
- H : la hauteur du réservoir en m

✚ Armatures

Les armatures doivent être disposées au plus suivant une maille de 3 fois l'épaisseur de la paroi sur le haut du réservoir. A titre indicatif, ces dimensions sont :

Tableau 4. : Ferrailage horizontal d'un réservoir circulaire, en partant du haut, par tranches de 1 m de hauteur. (Source : d'après *Eau, Hygiène, Assainissement pour les populations à risques – 2006 – ACF*)

Epaisseur paroi (cm)	15	15	15	15	15
Diamètre du réservoir (m)	1,5 à 2	2 à 2,5	2,5 à 3	4,5 à 5	6
Hauteur (m) / Ø Diamètre des fers utilisés (mm) / Maille (cm)					
0-1	Ø 8 / 25	Ø 8 / 25	Ø 8 / 25	Ø 8 / 25	Ø 8 / 25
1-2	Ø 8 / 25	Ø 8 / 25	Ø 8 / 25	Ø 8 / 15	Ø 10 / 17,5
2-3		Ø 8 / 15	Ø 8 / 15	Ø 10 / 12,5	Ø 12 / 15
3-4			Ø 10 / 15	Ø 12 / 12,5	Ø 12 / 10

Tableau 5. : Ferrailage vertical des réservoirs circulaires. (Source : *Eau, Hygiène, Assainissement pour les populations à risques – 2006 – ACF*)

	Ø Diamètre des fers utilisés (mm) / Maille (cm)
Bas du réservoir jusqu'à mi-hauteur	Ø 8 / 10
Mi-hauteur jusqu'en haut du réservoir	Ø 8 / 20

En pratique, on se contente donc d'arrêter un fer sur deux à la moitié de la hauteur de la paroi du réservoir. Si on construit un réservoir entre 5 et 6 m de diamètre, on prend les valeurs liées au diamètre de 6 m.

Quelque soit le volume, on doit faire une étude de sol, et une étude de génie civil et structurel. A défaut, il faut au moins s'assurer de la qualité du sol. Le bâtiment construit doit être capable de résister aux secousses sismiques et aux vents cycloniques.

4.3.2. Réservoirs rectangulaires

✚ Épaisseur des parois :

Pour les réservoirs rectangulaires, des documents de l'ACF montrent des préconisations de dimensionnement jusqu'à 72 m³, on utilisera les valeurs extraites de ces documents :

Tableau 6. : épaisseur des parois de réservoirs rectangulaires en fonction de leurs dimensions (Source : Eau, Hygiène, Assainissement pour les populations à risques – 2006 – ACF)

Capacité (m3)	3,4	8	12	20	48	72
Hauteur (m)	1,5	2	2	2,5	3	3
Largeur/longueur	1,5 / 1,5	2 / 2	2 / 3	2 / 4	4 / 4	4 / 6
Epaisseur paroi (cm)	15	15	15	15	15	15

Armatures :

Pour les réservoirs rectangulaires, et jusqu'à 72 m³, on utilisera les valeurs du tableau suivant :

Tableau 7. : Armatures des réservoirs rectangulaires en fonction de leurs dimensions (Source : Eau, Hygiène, Assainissement pour les populations à risques – 2006 – ACF)

Capacité (m3)	3,4	8	12	20	48	72
Hauteur (m)	1,5	2	2	2,5	3	3
Largeur/longueur	1,5 / 1,5	2 / 2	2 / 3	2 / 4	4 / 4	4 / 6
Armature verticale paroi : diamètre / maille	Ø 12 / 15	Ø 12 / 10	Ø 12 / 10	Ø 16 / 12	Ø 16 / 9	Ø 16 / 9
Armature horizontale : diamètre / maille	Ø 8 / 17	Ø 8 / 13	Ø 8 / 13	Ø 12 / 19	Ø 12 / 15	Ø 12 / 15
Armature radier : diamètre / maille	Ø 6 / 15	Ø 6 / 15	Ø 6 / 15	Ø 6 / 15	Ø 6 / 15	Ø 6 / 15
Au choix	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30	Ø 8 / 30

Quelque soit le volume, on doit faire une étude de sol, et une étude de génie civil et structurel. A défaut il faut au moins s'assurer de la qualité du sol. Le bâtiment construit doit être capable de résister aux secousses sismiques et aux vents cycloniques.

4.3.3. Etanchéité des réservoirs

L'étanchéité des réservoirs peut être réalisée à partir de diverses dispositions, utilisées seules ou en combinaison ; à savoir :

-  ouvrages dont l'étanchéité est assurée par la structure seule, construite généralement en béton armé ou précontraint. Dans ce cas, il est possible d'améliorer l'étanchéité du béton par l'emploi d'adjuvants ou l'application de traitements d'imperméabilisation de surface
-  ouvrages dont l'étanchéité est assurée par la structure complétée par un revêtement d'imperméabilisation
-  ouvrages dont l'étanchéité est assurée par un revêtement ou un cuvelage d'étanchéité, adhérent ou indépendant de la structure résistante assurant le support.

Les pertes de l'eau ne doivent pas dépasser, pour des réservoirs avec revêtement d'imperméabilisation ou d'étanchéité, 250 cm³ par mètre carré et par jour sous la pression maximale prévue, l'évaporation en laboratoire étant considérée comme la moitié de l'évaporation réelle. Dans le cas d'un réservoir réhabilité, la valeur peut aller jusqu'à 500 cm³ par mètre carré et par jour

Il faut noter que les adjuvants d'étanchéité doivent être, s'ils sont utilisés, compatibles avec un usage pour eau de boisson (non toxicité). On prend des mesures pour l'étanchéité du bâtiment en suivant les prescriptions du paragraphe Etanchéité des bétons (2.5.2).

Pour diminuer les infiltrations d'eau provenant de l'extérieur sur les réservoirs construits en béton sans adjuvants d'étanchéité, on doit peindre l'extérieur du réservoir avec un goudron/un revêtement similaire.

Dans le cas d'un réservoir enterré ou semi enterré, pour éviter une pollution par des eaux extérieures qui passeraient par porosité à travers les murs, on doit mettre en place un drainage le long des fondations, et/ou utiliser un béton étanche.

4.3.4. Etanchéité de la toiture

La toiture d'un réservoir doit être étanche. Elle utilise le même type de béton que le reste du réservoir, et si elle n'est pas étanche dans la masse, un revêtement extérieur doit lui être appliqué.

La procédure d'épreuve doit comprendre au moins les opérations suivantes :

Préparation

- Vérifier que la cuve est vide d'eau
- Dans le cas d'une toiture en terrasse, prendre des mesures temporaires pour obturer toutes les évacuations de l'eau de toiture
- Lorsque nécessaire, prendre toutes les dispositions temporaires pour mettre la toiture en eau sous 5 cm d'eau minimum.

Procédure d'épreuve

- Mettre la toiture en eau ou l'arroser en continu pendant 48 h
- Effectuer l'arrosage éventuellement spécifié sur toute la surface de la toiture de façon continue avec de l'eau
- Surveiller la sous-face de la toiture pour détecter des fuites.

4.3.5. Soutènement de l'ouvrage

Pour les réservoirs de grande capacité, une poutre de soutènement doit être construite tous les 4 mètres. Si l'on dépasse les 4 mètres, une étude de la résistance des matériaux et un calcul à la rupture du plafond du réservoir sont nécessaires.

4.4. Regards

Des regards de 40x40x40 cm peuvent être coulés avec le mélange F. Ils auront une épaisseur de paroi de 5 cm.

On utilise une structure de béton armé si :

-  le regard a des dimensions de plus de 60 cm sur une arête
-  le regard est proche d'une voirie (moins d'1 m) ou sous une voirie.

Dans ce cas, le regard doit avoir des parois avec une épaisseur minimale de 10 cm, et une armature métallique d'un minimum de 6 mm pour un maillage de 10 cm.

5. La vérification de la construction et les pathologies

Le béton coulé ne doit pas avoir de bulles de plus de 8 mm de diamètre apparentes à sa surface.

Le béton coulé ne doit pas, au bout de 28 jours, avoir des fissures de rétraction de largeur supérieure ou égale à 1 mm.

NB : Si les deux conditions ci-dessus ne sont pas respectées, la résistance du béton est mise en doute. Le béton présentant ces caractéristiques doit être retiré, et la construction de l'élément démolit doit être recommencée.

Il est à noter que les causes principales des défauts d'étanchéité peuvent être classées en grandes familles. Généralement, une cause unique a rarement des conséquences graves pour l'étanchéité du réservoir et seule une combinaison de plusieurs facteurs entraîne une dégradation notable. Cette identification peut être faite sur un ouvrage neuf comme sur un ouvrage ancien.

On peut proposer les recommandations suivantes :

- Lors de l'examen des causes possibles, ne jamais s'arrêter à la première cause évidente, mais toutes les passer en revue, systématiquement, pour détecter les combinaisons possibles
- Dès qu'une cause de détérioration est mise en évidence, il est prudent de la supprimer par une intervention adéquate sans attendre de nouvelles dégradations, car c'est généralement facteur de développement d'autres agents de dégradations et la réparation ultérieure sera sans doute plus complexe et coûteuse.

5.1. *Pathologies au niveau des fondations*

5.1.1. Observation

Ces pathologies sont généralement plus observées sur des ouvrages anciens que sur des ouvrages récents. Elles sont décrites dans le tableau qui suit.

Tableau 8. : Pathologies au niveau des fondations

Instabilité du sol Diminution des caractéristiques mécaniques du sol en fonction des conditions hydriques, sismiques ...	 Observations : Basculement ou déviation d'ouvrage. Déplacement glissement des ouvrages.
Tassements Déplacement vertical d'un ou plusieurs appuis constituant la fondation de l'ouvrage. Le tassement peut être absolu ou différentiel	 Conséquences : Modification des cotes hydrauliques Enfoncement de l'ouvrage Détérioration des jonctions Casses, fissuration en cas de tassement différentiel

5.1.2. Réparation des fondations

Les principaux modes de réparation des fondations font appel aux techniques suivantes:

✚ **Renforcement** par reconstitution de maçonnerie, béton et des terrains environnants.

Cela concerne des anciens ouvrages en maçonnerie ou béton ayant subi les attaques d'éléments agressifs. Pour ce qui concerne les ouvrages anciens, on peut avoir recours aux injections de maçonneries et de grosses fissures, à la mise en œuvre d'armatures par forage et scellements, à la reconstitution de terrains d'assise par injection.

✚ Micropieu

Un micropieu est un pieu de petit diamètre coulé à proximité du pieu affaibli. Il travaille uniquement en frottement latéral. Il peut arriver que la fondation en place fasse l'objet de sérieux doutes (pieux trop courts) dans ce cas là on reconstruit une fondation complète supportant la totalité des charges.

✚ Reprises en sous-œuvre

Cette technique peut être envisagée si le sol porteur est à une faible distance des fondations existantes. La réalisation de semelles s'exécute en sous-œuvre, ce qui engendre de nombreuses difficultés et un coût en général élevé.

✚ Stabilité d'ensemble

La stabilité d'ensemble est influencée par la présence de la nappe phréatique et en particulier par les poussées hydrostatiques. Les solutions consistent alors soit à supprimer ces poussées par rabattement, drainage, ou équilibrer les poussées en lestant l'ouvrage, ou en réalisant des ancrages verticaux par tirants précontraints.

5.2. Pathologies au niveau des structures béton armé

Les pathologies suivantes peuvent apparaître très rapidement.

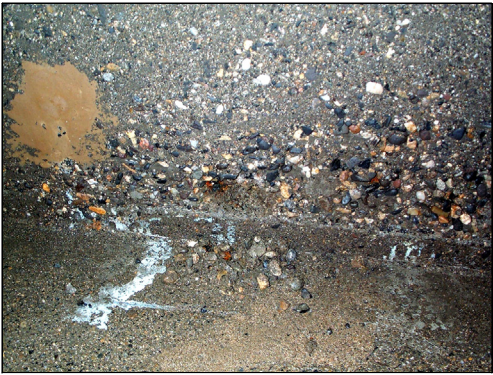
Tableau 9. : Pathologies au niveau des structures de béton armé

Armatures apparentes Les aciers présents dans la pièce en béton armé apparaissent, soit à l'air libre (absence de béton de recouvrement) soit sous forme de spectres (traces)	 Causes : Epaisseur du recouvrement des aciers insuffisants Corrosion des bétons : dosage ou type de béton non approprié aux caractéristiques de l'eau traitées Abrasion hydraulique sur les entrées par pompage	Réparation possible : Reconstitution du béton par-dessus les armatures, bien nettoyées au préalable. Utilisation de béton projeté.
--	---	---

Cassure du béton Ouverture dans la pièce en béton armé, totalement traversant, qui s'accompagne souvent d'une rupture des armatures.	 Causes : - Lié aux instabilités des sols et aux tassements - Calculs des contraintes et actions défail-lants : problème général de conception aux états limites.	Réparation possible sous conditions : S'il s'agit d'instabilité des sols, utilisation des techniques de réparation des fondations, puis collage d'armatures métalliques autour de la cassure, et reconstitution du béton. Dans le cas d'un problème de conception, la réparation n'est pas envisageable.
Cloquage de revêtement	 Observation : Déformation du revêtement par décollement du support. Origines : liants hydrauliques, liants de synthèse inadaptés, mise en œuvre défail-lante, produit non compatible avec les qualités stockées, dosage des bétons non respecté.	Réparation possible : Reprise des revêtements, réalisation complète d'un nouveau revêtement.

Corrosion d'armatures	 Création de rouille expansive $\text{Fe}(\text{OH})_3$ sous l'action combinée de l'air, de l'eau et éventuellement des chlorures, pouvant aller de la perte de section pour l'armature à la déstructuration complète de l'acier. Visuelle, l'apparition de nodules prévient la destruction du revêtement extérieur. L'ouvrage est précarisé en cas de rupture des aciers ou de diminution forte de leur diamètre.	Réparation possible sous conditions : La corrosion d'armature impose une découverte des armatures, une passivation des aciers conservables, la réfection des continuités des ferrallages si les diamètres sont fortement diminués puis la réfection des enrobages et des bétons superficiels. Généralisée, la corrosion des armatures peut induire l'abandon et la destruction du réservoir sans réhabilitation.
Epaufrure de béton Fragment détaché de la masse du béton	 Localisé le plus souvent le long des armatures ou sur les arêtes. On parle aussi d'éclatement. Ce défaut est lié à une mise en œuvre des bétons défailante soit par les conditions de température, l'absence d'adjuvant ou de retardant. Le risque structurel dépend de l'importance des épaufrures et de la perte d'enrobage des aciers.	Réparation possible : Reconstitution du béton par-dessus les armatures, bien nettoyées au préalable. Utilisation de béton projeté.

Fissure du béton	 Ouverture, plus ou moins linéaire, visible en surface d'une largeur comprise entre 0,2 et 2 mm (on parle de micro fissure en deçà de 0,2 mm et de lézarde au delà de 2 mm) La microfissuration est acceptable. Au delà les conditions de mise en œuvre des bétons (retraits) sont mise en cause.	Réparation impossible.
Fuites (et suintements) Défaut d'étanchéité (avec ou sans traces de calcite) au niveau des traversées de parois	 La présence de plusieurs fuites et suintement sur les voiles d'ouvrage indique le plus souvent la mise en œuvre nécessaire d'une étanchéité intérieure complète.	Réparation possible : Le traitement de tout suintement passera par des procédures de réfection complètes des jonctions ou la mise en œuvre d'étanchéité rapportée. Si plusieurs fuites sont présentes : nécessité de mettre en œuvre une reprise d'étanchéité intérieure complète.

Lixiviation du ciment Dissolution partielle des constituants en présence d'un milieu acide ou (très) faiblement minéralisé.	 L'analyse des dosages des bétons et la reprise des calculs de conception devront permettre de trancher : - sur les pertes de résistance potentielle - l'abandon à terme de l'ouvrage - la possibilité de reprise en surface structurante ou non structurante	Réparation possible sous condition : Si l'analyse des bétons est positive, et les calculs de conception vérifiés et corrects, il est possible de reprendre le béton en surface. Dans le cas contraire, il faut démolir la partie incriminée et la reconstruire.
Nids de cailloux Absence localisée d'éléments fins (pieds d'élévation, reprises de bétonnage)	 Généralement lié à un défaut de vibration du bétonnage. Nécessite un audit de résistance de l'ouvrage.	Réparation généralement impossible. La portion d'ouvrage doit être démolie et reconstruite, sauf si l'audit de résistance indique que le bâtiment reste sûr.
Ségrégation Variation dans la répartition des éléments constitutifs du béton, locale ou généralisée, parfois visible au niveau du parement.	 La mauvaise qualité des dosages est détectée par la ségrégation, une réhabilitation est le plus souvent impossible si non structurante.	Réparation impossible sans restructuration.

6. Recommandations pour une intervention de réhabilitation

6.1. Préventions de la contamination

S'il est nécessaire de maintenir un réservoir de réseau en service pendant les travaux de réparation ou de réhabilitation, une attention particulière est nécessaire pour s'assurer qu'aucune contamination de l'eau ne peut se produire. Les mesures de protection peuvent inclure des prélèvements plus fréquents ou des désinfections préventives supplémentaires. Les méthodes utilisées et le programme suivi doivent être approuvés par l'exploitant.

6.2. Remise en service

Avant la remise en service du réservoir, les cuves mises hors service pour les travaux de réparation et de réhabilitation doivent être nettoyées, désinfectées et puis remises en service.

7. Sources

MTPTC et MICT, (2010), *Guide De Bonnes Pratiques Pour La Construction De Petits Bâtiments En Maçonnerie Chaînée En Haïti*

ACF, (2005), *Water, sanitation and hygiene for populations at risk, Annex 14 : Civil Engineering*

ACF, (2007), *Eau, assainissement, hygiène pour les populations à risque, Annexe 14 : Génie Civil*

Richard BONNEVILLE, Zile-Marie DUROSIER, *Le ciment, les mortiers et les bétons*,
Source : <http://www.interaide.org/pratiques>

Ministère de l'économie, de l'industrie et de l'emploi, Ministère du budget, des comptes publics et de la fonction publique, (2008), *Fascicule technique 65 : Exécution des ouvrages en béton armé ou précontraint*, France

Ministère de l'équipement, des transports, et du logement, (2012), *Fascicule technique 74 : Construction des réservoirs en béton*, France

8. Définitions

Béton : mélange de ciment, de sable lavé, de gravier, et d'eau en proportions 1/2/4/1 (environ 0,8 volumes d'eau pour un volume de ciment). Ces proportions sont exprimées en volumes, et peuvent varier.

Béton armé : béton coulé autour d'une armature métallique, pour lui donner de la résistance.

Ecarteur : communément appelé « calle », petit bloc de béton de 3 cm d'épaisseur qui sert à éloigner les armatures de l'extérieur du coffrage, de façon à ce qu'elles soient toujours au minimum à 3 cm à l'intérieur du béton.

Etrier : carré de fers placé autour des armatures à intervalles réguliers (tous les 10 ou 20 cm, par exemple).

Fers : il s'agit de tiges de fer nervurées de 9 mm (3/8") ou plus de diamètre pour les armatures. Pour les étriers, ce sera plutôt 6 mm (1/4") ou plus.

Gravier : cailloux d'une taille aux alentours de 18 mm de diamètre, allant de 0.5 à 2, 5 cm, et ne contenant pas de calcaire. On utilise du gravier roulé pour les bétons armés des murs, poteaux ou poutres, et on peut utiliser du gravier concassé pour les fondations.

Mortier : mélange de ciment, de sable lavé, et d'eau en proportions 1/5/1.

Sable : grains ne contenant pas de calcaire, d'une taille allant de 0.25 à 6,3 mm de diamètre.

Ouvrage critique : est défini comme critique tout ouvrage amenant un risque pour la sécurité. Un réservoir semi enterré de plus de 50 m³ ou un réservoir surélevé de plus de 10 m³ sont des ouvrages critiques, une paroi enterrée à plus de 3 m de profondeur est un ouvrage critique. Un ouvrage tel qu'un regard peu profond (<3 m), un réservoir de moins de 10 m³ ou une latrine ne sont pas considérés comme critiques.