

Ministère de l'Agriculture et de la Forêt
Fonds National pour le Développement
des Adductions d'Eau

LE GÉNIE CIVIL DES BASSINS DE LAGUNAGE NATUREL

Documentation technique
F N D A E
N° 7

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DE LA FORÊT
DIRECTION DE L'ESPACE RURAL
ET DE LA FORÊT

Sous-Direction du Développement Rural
19, avenue du Maine - 75015 Paris

DOCUMENTATION TECHNIQUE
FNDAE

(Fonds National pour le Développement
des Adductions d'Eau)

Septembre 1990

LE GÉNIE CIVIL DES BASSINS DE LAGUNAGE NATUREL

Claude Bernhard CEMAGREF groupement d'Antony
Parc de Tourvoie - BP 121 - 92185 Antony Cedex

Gérard Degoutte CEMAGREF groupement d'Aix-en-Provence
Le Tholonet - BP 31 - 13612 Aix-en-Provence Cedex 1



**CENTRE NATIONAL
DU MACHINISME AGRICOLE
DU GÉNIE RURAL
DES EAUX ET DES FORÊTS**

DIRECTION GÉNÉRALE
Parc de Tourvoie 92160 Antony
Tél. : (1) 40 96 61 21
Télex : 204 565 F
Télécopie : (1) 40 96 61 39

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays.

La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite » (alinéa 1^{er} de l'article 40).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal.

Le génie civil des bassins de lagunage naturel – 1990 – C. Bernhard – G. Degoutte. 1^{re} édition, ISBN. 2-85362-199-5 – Dépôt légal 4^e trimestre 1990 – Documentation technique FNDAE n° 7 – Photos et dessins : CEMAGREF – Impression AZIMUT – 2 rue Léon Blum – Résidence Le Ponchelet – BP 103 – 62110 HÉNIN-BEAUMONT – Secrétariat de Rédaction : C. Herblot – Secrétariat d'Édition : M. Boudot-Lamotte – Édition et diffusion : CEMAGREF-DICOVA – BP 22 – 92162 ANTONY Cedex – Prix : 85 F

Ce document a été réalisé à la demande du Ministère de l'Agriculture et de la Forêt (Direction de l'Espace Rural et de la Forêt) dans le cadre d'une convention avec la Division Mécanique des Sols et Génie Civil du CEMAGREF, Groupement d'Antony, grâce au concours financier du Fonds National pour le Développement des Adductions d'Eau Rurales (FNDAE), par la Direction de la Communication et de la Valorisation (DICOVA) du CEMAGREF : BP 22 – 92162 Antony Cedex.

La rédaction a été effectuée par C. BERNHARD de la Division Mécanique des sols et Génie Civil du CEMAGREF (Antony) et par G. DEGOUTTE de la Division Hydraulique Générale du CEMAGREF (Aix-en-Provence).

L'ensemble du travail a été réalisé en étroite liaison avec :

- D. BALLAY : Directeur des Programmes, Direction Scientifique, CEMAGREF.
- C. BOUTIN, M.VUILLOT : Division Qualité des Eaux, Pêche et Pisciculture du CEMAGREF, Groupement de LYON
- H. GIRARD : Division Hydraulique Agricole du CEMAGREF, Groupement de BORDEAUX
- F. GOUSSÉ : Division Mécanique des Sols et Génie Civil du CEMAGREF, Groupement d'ANTONY
- N. KIRCHGESSNER : Élève ingénieur de l'ENITRTS
- J.-P. TESTEMALE : Division Hydraulique Générale du CEMAGREF, Groupement d'AIX-EN-PROVENCE

SOMMAIRE

Préambule

1 - Nécessité de l'étanchéité des bassins de lagunage

1.1. Principe de l'épuration par lagunage

1.2. Le point sur l'étanchéité des bassins de lagunage en FRANCE

1.2.1. Importance du problème

1.2.2. Localisation des fuites

1.2.3. Causes présumées des fuites

1.2.4. Conclusion de l'enquête

1.3. Niveau d'étanchéité requis

1.3.1. Calcul de la perméabilité maximale d'un fond de bassin dans un cas usuel

1.3.2. Premières conclusions pour la conception des bassins

2 - Processus de colmatage des fonds de bassin

2.1. Colmatage externe

2.1.1. Couche de dépôt

2.1.2. Le cake

2.2. Colmatage interne

2.2.1. Processus physique

2.2.2. Processus chimique

2.2.3. Processus biologique

2.2.4. Évolution dans le temps du colmatage interne

2.2.5. Décolmatage

2.3. Conclusion sur le colmatage

3 - Recommandations pour la conception, la réalisation et l'exploitation des bassins de lagunage

3.1. Travaux préliminaires

3.2. Conception de la forme des bassins

3.3. Conception en déblais ou remblais

3.3.1. Creusement et évacuation des déblais

3.3.2. Creusement et endiguement

3.3.3. Création de digues ceinturant le terrain simplement décapé

3.4. Conception des digues

3.4.1. Stabilité des digues

3.4.2. Étanchéité des digues

3.4.3. Le problème du batillage et de l'érosion superficielle

3.4.4. Revanche

3.5. Étanchéité des fonds de bassin

3.5.1. Étanchéité par compactage

3.5.2. Traitements de sols

3.5.3. Pose d'une géomembrane sur le fond des bassins

3.6. Ouvrages divers

3.6.1. Communications

3.6.2. Canalisations

3.7. Précautions à prendre durant l'exploitation des bassins de lagunage

3.7.1. Protection des fonds de bassin avant mise en eaux usées

3.7.2. Curage des bassins

3.8. Conclusion sur les recommandations de conception, de mise en œuvre et d'exploitation

4 - Les études avant la réalisation des travaux

4.1. Études de faisabilité

4.1.1. Topographie

4.1.2. Géologie

4.1.3. Hydrogéologie et hydrographie

4.1.4. Étude géotechnique

4.1.5. Conclusion sur l'étude de faisabilité

4.2. Études nécessaires pour le projet

4.2.1. Reconnaissance du site

4.2.2. Essais d'identification en laboratoire

4.2.3. Essais d'aptitude à l'emploi des matériaux du site

4.2.4. Mesures de perméabilité

4.3. Conclusion sur les études avant réalisation du projet

5 - Bibliographie

6 - Annexe

Préambule

La technique du lagunage naturel a connu en France un développement important ces dernières années, le parc actuel étant de l'ordre de 1 800 stations. En 1986, seuls quatre départements en étaient dépourvus. Les départements de l'Ouest de la France ainsi que la Saône-et-Loire, la Loire et l'Hérault possèdent un nombre particulièrement important de stations.

Ces installations sont, en général, de taille modeste, la capacité de traitement étant inférieure à 500 équivalent-habitants dans 70 % des cas, ce qui correspond à une surface totale en eau de moins d'un demi-hectare. Les travaux de génie civil sont donc relativement peu importants, surtout si le terrain en place assure à l'état naturel une étanchéité suffisante des fonds de bassin. Mais, dans la majorité des cas, des travaux d'étanchéité sont nécessaires, sous peine de fuites importantes, empêchant le remplissage - et, donc, le fonctionnement - de la station. Par ailleurs, les eaux souterraines risquent d'être polluées.

Ce problème est posé dans le premier chapitre.

De fait, par souci de moindre coût, et en l'absence de réglementation, le compactage sommaire des sols, qui est souvent réalisé, ne permet pas de garantir une étanchéité suffisante au moment du remplissage des bassins. Le concepteur espère alors un colmatage rapide, après la mise en service du lagunage.

Cette question du colmatage est traitée dans la deuxième partie et une réponse claire est donnée : il n'est pas possible de compter sur le colmatage pour rendre les bassins de lagunage étanches.

C'est pourquoi le chapitre trois développe des recommandations de conception, de mise en œuvre et d'exploitation des bassins de lagunage, à l'attention des maîtres-d'œuvre, particulièrement en matière de conception des digues et d'étanchéité des fonds de bassin.

Il apparaît donc, à ce stade, qu'une étude géotechnique préalable est nécessaire pour établir le projet et le réaliser dans de bonnes conditions.

Le contenu de ces études est précisé dans le quatrième chapitre.

Ce document a été réalisé principalement à l'intention des maîtres d'œuvre, dans l'optique d'une sensibilisation aux problèmes de génie civil et particulièrement d'étanchéité des bassins de lagunage. L'accent a été mis sur la conception et la mise en œuvre qui découlent des études géotechniques préalables. La prise en compte de ces recommandations simples ne devrait pas augmenter sensiblement le coût des ouvrages, surtout si l'on tient compte du fait que des bassins bien conçus et bien réalisés évitent les interventions après remplissage, toujours onéreuses, pour limiter les fuites excessives.

Nécessité de l'étanchéité des bassins de lagunage

1

1.1. Principe de l'épuration par lagunage

Sans entrer dans le détail du fonctionnement et du dimensionnement, rappelons que le principe de l'épuration par lagunage naturel consiste à faire dégrader la charge polluante par des bactéries et par des algues, dans des bassins.

Suivant le type de végétation implantée, on distingue les lagunes à microphytes, les lagunes mixtes et les lagunes à macrophytes, avec des hauteurs d'eau maximales de l'ordre de 1,20 m pour les deux premiers types et de 0,40 m pour le dernier (fig. 1).

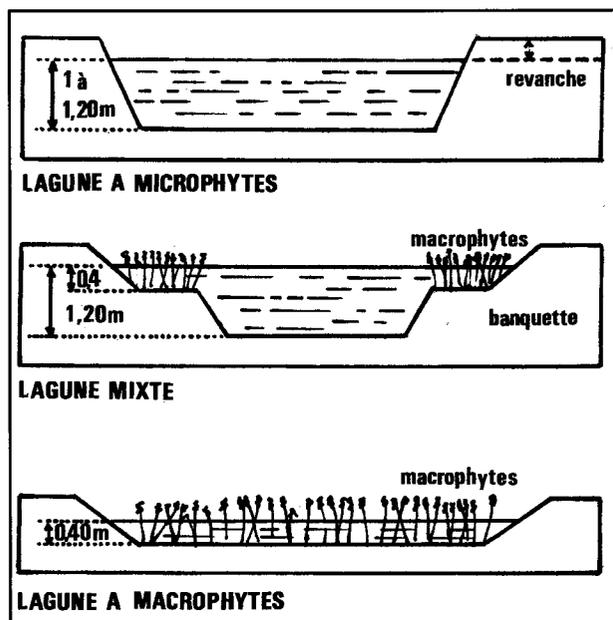


Figure 1 : Schémas des différentes lagunes.

La surface totale de bassins en eau généralement retenue pour le traitement principal d'un effluent domestique en milieu rural est de 10 m² par équivalent-habitant.

L'installation comprend dans la plupart des cas (du moins en France) un ensemble de trois bassins en série. Le premier est un lagunage à microphytes qui occupe la moitié de la surface

totale ; les deux autres bassins se répartissent la surface restante à parts égales.

1.2. Le point sur l'étanchéité des bassins de lagunage en France

Le CEMAGREF a réalisé en 1986 une enquête sur l'étanchéité des bassins de lagunage auprès des Directions Départementales de l'Agriculture et de la Forêt (DDAF) et auprès des Services d'Assistance Technique aux Exploitants des Stations d'Épuration (SATESE)

L'enquête a permis d'estimer l'importance, la localisation et les causes des infiltrations dans un bassin de lagunage naturel.

1.2.1. Importance du problème

En moyenne, une station de lagunage sur quatre présente des problèmes de remplissage à sa mise en eau.

Ce chiffre ne constitue, cependant, qu'une estimation dépendant de l'appréciation personnelle des exploitants de stations de lagunage interrogés lors de l'enquête. La proportion réelle de lagunes présentant des problèmes de remplissage risque donc même d'être plus forte que celle indiquée plus haut.

1.2.2. Localisation des fuites

Sur 168 stations ayant eu des problèmes de remplissage, la localisation des fuites est la suivante (fig. 2) :

- fond de bassin : 47 % des cas ;
- contact entre fond de bassin et digue en remblai : 42 % des cas ;
- digues proprement dites : 11 % des cas.

Ainsi, près de la moitié des problèmes résultent d'une mauvaise étanchéité du fond des bassins.

Il est toutefois souvent difficile de connaître la localisation exacte des fuites, de sorte que les indications précédentes ne sont qu'approximatives.

1.2.3. Causes présumées des fuites

Les principales causes avancées lors de l'enquête sont (fig. 2) :

— une étude géotechnique préalable insuffisante (35 % des cas) :

Cette cause est la plus fréquemment citée. Les terrains envisagés pour la construction de la lagune sont présumés suffisamment étanches pour ne nécessiter qu'une étude géotechnique sommaire, ou même aucune étude préalable. Les problèmes surviennent alors au cours du chantier et au remplissage des bassins.

— Le non respect des prescriptions par l'entreprise (28 % des cas) :

Il s'agit du cas où les travaux d'étanchéité sont mal exécutés par l'entreprise. Souvent, le compactage du fond ou la mise en œuvre d'une couche d'argile ne sont pas effectués uniformément. Or, la présence d'une zone représentant seulement 5 % en surface mais 100 fois plus perméable que le restant du fond a pour effet de multiplier par 6 le débit de fuite total.

Les autres procédés d'imperméabilisation des bassins (traitements de sols, pose d'une géomembrane) nécessitent une mise en œuvre soignée.

— Une mise en eau tardive des bassins ou l'insuffisance du volume initial des effluents (10 % des cas) :

Les infiltrations augmentent alors à cause des fentes de retrait de l'argile desséchée et à

cause de la colonisation du bassin par la végétation.

— Autres causes (27 % des cas) :

Les rongeurs sont souvent incriminés, sans que leur action réelle soit toujours clairement établie.

1.2.4. Conclusion de l'enquête

Le problème de l'étanchéité des bassins de lagunage naturel se pose très fréquemment. Les maîtres d'œuvre doivent en tenir compte en respectant les règles de conception des bassins, règles qui se fondent sur les résultats des études géotechniques préliminaires qui s'avèrent indispensables même si leur importance peut être variable. Le contrôle des travaux par le maître d'œuvre est également absolument nécessaire.

1.3. Niveau d'étanchéité requis

Lorsque l'étanchéité des bassins de lagunage est mal réalisée, deux problèmes peuvent se poser :

— le mauvais remplissage et, donc, le mauvais fonctionnement de la lagune qui, à la limite, peut rester vide ;

— la contamination de la nappe phréatique par entraînement des polluants. Le risque est plus grave si la nappe est proche et exploitée pour l'alimentation en eau.

Lorsqu'il n'existe pas d'impératif de protection de nappe, il convient, au-moins, de se fixer

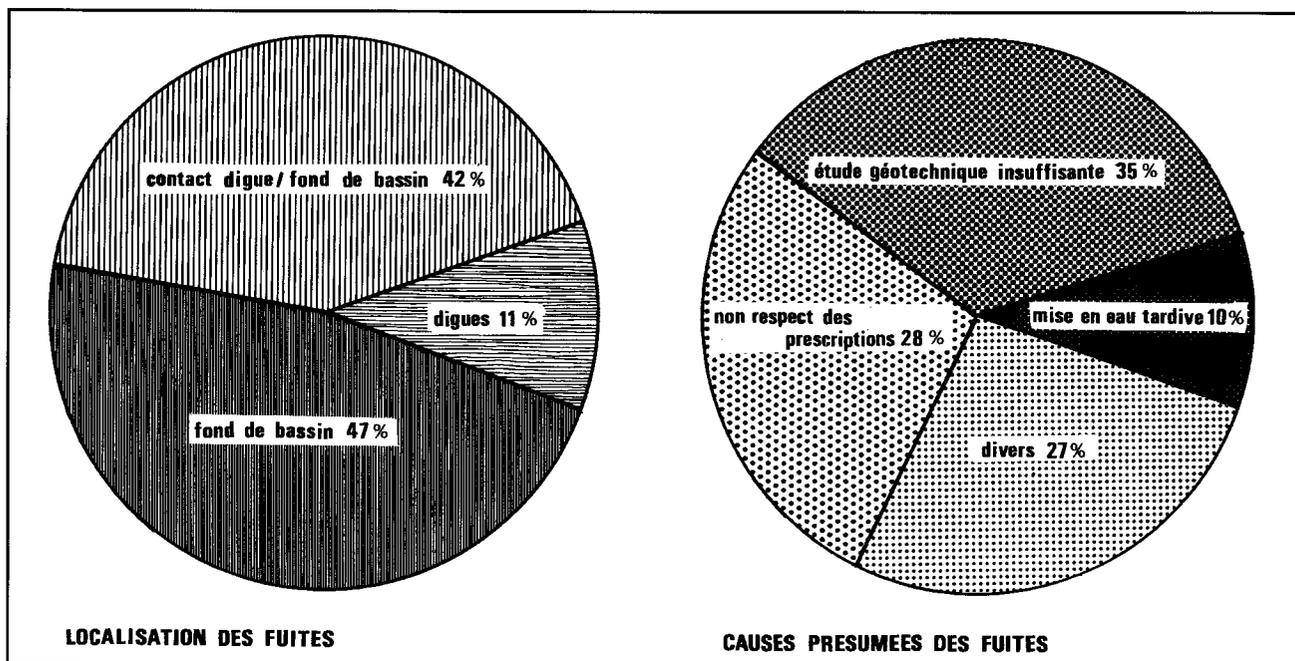


Figure 2 : Localisations et causes présumées des fuites.

pour objectif le maintien du niveau d'eau constant, dans les bassins, en toute saison. Il faut alors que le débit des fuites et de l'évaporation ne soit pas supérieur à celui des apports.

1.3.1. Calcul de la perméabilité maximale d'un fond de bassin dans un cas usuel

Hypothèses :

Les bassins, au nombre de trois, sont déjà remplis par raccordement au réseau d'eaux usées ou par apport d'eau claire. Les valeurs moyennes suivantes sont considérées :

- Capacité : 500 équivalent-habitants ;
- Débit journalier : $50 \text{ m}^3/\text{j}$ (150 l par équivalent-habitant par jour et taux de raccordements initial de 2/3) ;
- Surface des 3 bassins : $5\,000 \text{ m}^2$

L'apport d'eaux usées réparti sur les trois bassins représente donc environ 1 cm/jour.

En se plaçant dans des conditions estivales correspondant, par exemple, à une évaporation de 8 mm par jour, en l'absence de toute précipitation, on aboutit à une infiltration admissible de 2 mm par jour pour conserver le niveau d'eau constant dans les bassins. En considérant que l'eau s'infiltré verticalement, sous un gradient hydraulique unitaire, l'application de la formule de Darcy pour les écoulements en milieu poreux s'écrit :

- $Q = K.S.i$ avec :
 - Q=débit d'infiltration admissible ;
 - S=surface des fonds de bassins ;
 - i=gradient hydraulique.
- (on suppose que le gradient est unitaire).

La valeur limite de la perméabilité K déduite de cette formule est alors de $K = 2.3 \times 10^{-8} \text{ m/s}$.

Étant donné la faible précision des mesures de perméabilité et afin de conserver une marge de sécurité, on considérera que la perméabilité des fonds de bassin ne doit pas excéder la valeur de $K = 10^{-8} \text{ m/s}$.

1.3.2. Premières conclusions pour la conception des bassins

Le choix du site d'implantation de la lagune est très important. En effet, les sols en place doivent être suffisamment étanches et faciles à compacter. Si la perméabilité du terrain est trop forte, des travaux d'étanchéité doivent être réalisés. L'économie du projet peut alors être remise en cause.

Aussi, dans de nombreux cas, il ne sera pas intéressant de choisir les terrains les moins chers de la commune, car les travaux à effectuer peuvent être très onéreux. Un juste compromis doit être établi.

Par ailleurs, lorsqu'un mauvais remplissage des bassins est prévisible, certains maîtres d'œuvre peuvent être tentés de miser sur le colmatage pour limiter les fuites. Mais le colmatage est un phénomène complexe qui est loin de se produire systématiquement.

C'est pourquoi, avant d'aborder les recommandations pour la conception des bassins (chapitre 3), le problème du colmatage est développé dans la partie suivante où l'on montre qu'en aucun cas celui-ci ne peut constituer une solution pour l'étanchéité.

Processus de colmatage des fonds de bassin

2

Le colmatage d'un fond de bassin de lagunage naturel se manifeste par la réduction de la perméabilité due à l'accumulation d'éléments fins. La lagune est, en effet, le siège d'un dépôt :

- de matières en suspension (minérales et organiques) apportées par les eaux usées ;
- de bactéries et de prédateurs morts ;
- d'algues (fig. 3).

2.1. Colmatage externe

Il résulte de la formation :

- d'une couche de dépôt de sédiments ;
- d'une couche fine appelée "cake".

2.1.1. Couche de dépôt

Cette couche est due au processus de sédimentation des éléments en suspension dans la lagune.

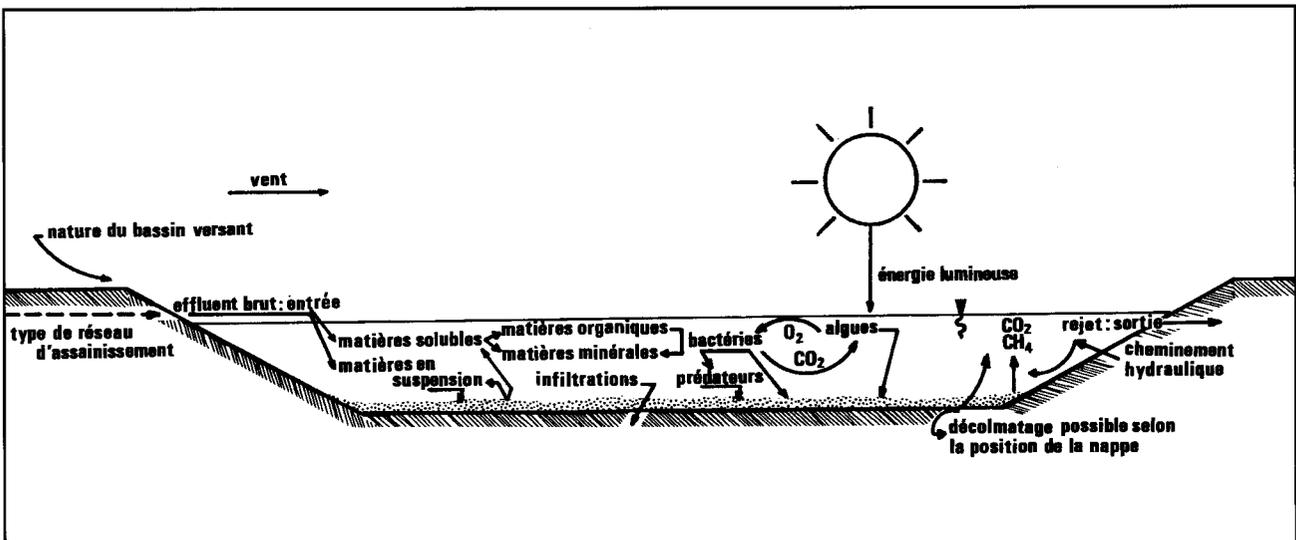


Figure 3 : Facteurs du dépôt de sédiments dans une lagune naturelle aérobie.

Le phénomène de colmatage ne peut se produire que si les bassins sont, au moins partiellement, remplis ; ce qui exige un minimum d'étanchéité initiale.

On distingue deux niveaux de colmatage (fig. 4) :

- un colmatage externe, dû à l'accumulation des sédiments à la surface du fond des bassins ;
- un colmatage interne, dû au bouchage des pores du sol constituant le fond des bassins.

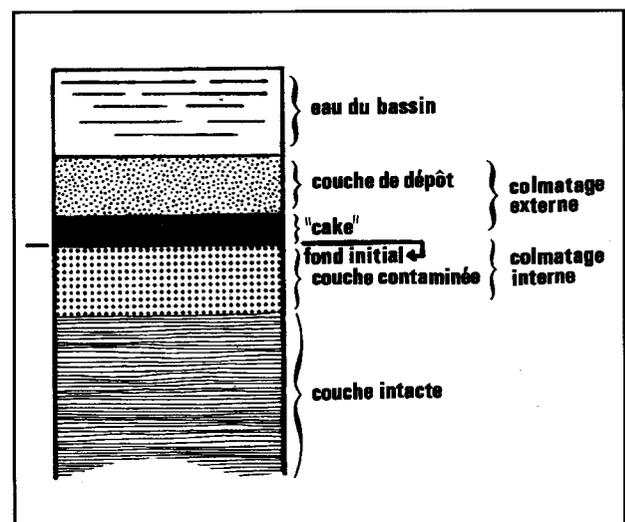


Figure 4 : Zonation verticale du colmatage.

2.1.1.1. Répartition horizontale des dépôts (fig. 5) :

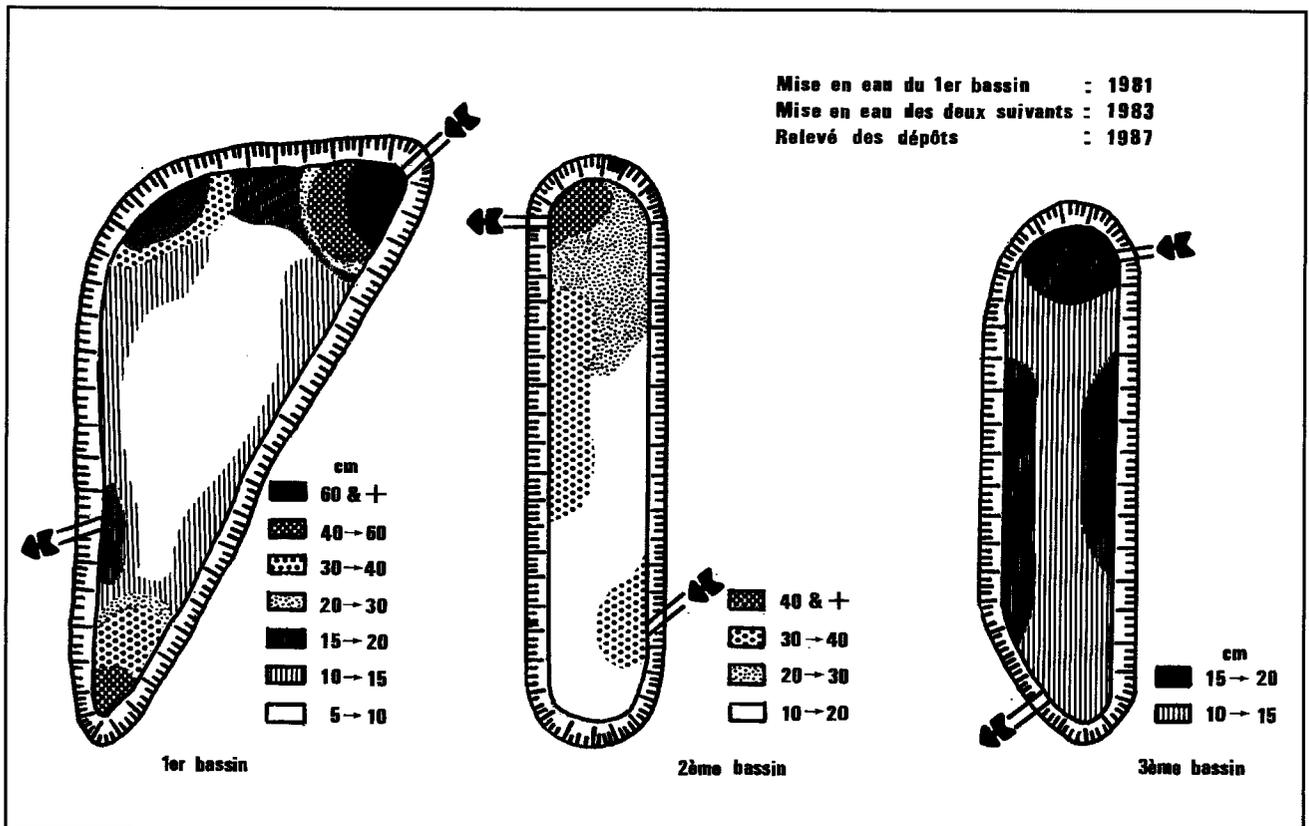


Figure 5 : Cartographie des dépôts lagune de Saint-Maclou (76).

Les cartographies du fond du premier bassin de plusieurs lagunes naturelles à microphytes montrent :

- à l'entrée du bassin, un important cône de déjection où les grosses particules décantent rapidement ;
- à la sortie du bassin, une épaisseur moins importante de boues ;
- dans les angles où le courant est faible, une couche de sédiments assez importante ;
- au centre de la lagune, une faible couche de sédiments car il existe, souvent, un chenal d'écoulement préférentiel entraînant les particules.

Dans les deux autres bassins, la répartition des dépôts est beaucoup plus homogène.

Les éléments sédimentant dans le premier bassin sont essentiellement constitués par des matières en suspension (M.E.S.) présentes dans l'effluent brut.

Les éléments sédimentant dans les deuxième et troisième bassins sont, quant à eux, essentiellement constitués par la micro-

flore et par la microfaune peuplant l'eau de la lagune.

2.1.1.2. Vitesse de dépôt :

L'épaisseur des sédiments déposés dépend de plusieurs paramètres :

- le débit et la teneur en M.E.S. des effluents à l'entrée de la lagune. Ces facteurs dépendent, surtout, du type séparatif ou unitaire du réseau d'assainissement, ainsi que du nombre d'équivalent-habitants raccordés ;
- la forme des bassins ;
- l'environnement de la lagune (arbres...).

Si l'on excepte les cônes à l'entrée et à la sortie, la vitesse de dépôt au fond du 1^{er} bassin d'une lagune de capacité 500 équivalent habitants (50 % de la surface totale des bassins étant attribués au premier bassin ; 25 % au deuxième et 25 % au troisième), alimentée par un réseau d'assainissement de type séparatif, sans arrivées extérieures parasites, est en moyenne égale à 2 cm/an.

Dans les deuxième et troisième bassins, l'épaisseur moyenne des sédiments, essentiel-

lement composés d'algues microscopiques, est presque aussi importante que dans le premier bassin.

2.1.1.3. Perméabilité des dépôts :

Les dépôts jeunes (d'âge inférieur à 2 ans environ) sont très fluides et très perméables. Ils ne peuvent donc, en aucun cas, participer à l'étanchéité du fond d'un bassin.

Des essais de mesure de perméabilité, en laboratoire, des dépôts plus anciens ont été effectués, dans des œdomètres, sur des échantillons prélevés in situ. Les valeurs de perméabilité mesurées variaient entre 10^{-8} m/s et 10^{-6} m/s. Malgré les précautions prises lors du prélèvement, les échantillons ont été remaniés (tassements importants), de sorte que ces valeurs sont à majorer fortement.

Comme, de plus, l'épaisseur de la couche de sédiments n'est que de quelques centimètres, la réduction de débit infiltré n'est pas significative.

2.1.2. Le "Cake"

Il se forme à la surface du sol, sous la couche de dépôt. Il résulte d'un arrêt par tamisage des particules qui sédimentent (les pores du sol jouant le rôle des mailles du tamis). Cette couche n'apparaît pas toujours, car elle dépend du diamètre des particules en suspension et de la porosité du sol. Son épaisseur est de l'ordre de 2 cm, au plus. Sa perméabilité est faible.

2.2. Colmatage interne

Le colmatage interne est dû à l'emprisonnement de particules dans le sol. Des processus physique, chimique et biologique interviennent.

2.2.1. Processus physique

Il s'agit de la phase initiale du colmatage interne. Ce processus résulte de l'accumulation de matière en suspension de diamètre inférieur à celui des pores du sol. Le colmatage physique est d'autant plus efficace que la teneur en M.E.S. de l'effluent est grande.

Le colmatage physique d'un sol apparaît, aussi, par entraînement d'air et libération de gaz dissous. Les bulles de gaz piégées dans le sol s'opposent, en effet, au passage de l'eau comme le font les grains de matière solide.

2.2.2. Processus chimique

Il s'agit de la phase suivante du colmatage interne. Ce processus apparaît :

— par dispersion et gonflement des argiles (échange d'ions) ;

— par précipitation de sels provenant de la réaction entre les éléments du sol et ceux de l'effluent. Les composés les plus fréquents sont les carbonates, les sulfates de calcium, les hydroxydes ferriques et manganiques. La précipitation de carbonate de calcium (CaCO_3) est favorisée lorsqu'il y a augmentation de la température et de la pression (nappe profonde). Le fer, en présence de l'oxygène de l'eau, précipite sous la forme d'hydroxyde ferrique ($\text{Fe}(\text{OH})_3$). Le dioxyde de carbone (CO_2) peut, quant à lui, provoquer la dissolution des carbonates ou la précipitation de dioxyde de soufre (SO_2).

Les facteurs intervenant dans ce processus sont donc difficilement contrôlables.

De manière générale, le colmatage chimique intervient peu dans la baisse de perméabilité du sol.

2.2.3. Processus biologique

Il s'agit de la phase terminale du colmatage interne.

L'accumulation de nutriments et de sources d'énergie, dans le sol, favorise la prolifération de microorganismes, telles les bactéries ; ceux-ci sécrètent, alors, le produit de leur métabolisme, des polysaccharides constituant un milieu nutritif pour les autres microorganismes. L'accumulation microbienne et celle des éléments métaboliques sont susceptibles d'entraîner la diminution de la perméabilité. Ce processus apparaît essentiellement dans les 15 premiers centimètres du sol.

Le colmatage biologique est d'autant plus important que le rapport carbone sur azote (C/N) du sol est élevé. Il dépend aussi des conditions oxydo-réductrices et de la température du milieu. Son activité est maximale en été, saison favorable à l'activité microbienne.

2.2.4. Évolution dans le temps du colmatage interne

Le colmatage interne est long à s'élaborer, il nécessite plusieurs années.

Il se produit, tout d'abord, une baisse de la valeur de la perméabilité due à l'accumulation de produits instables (action physique), à la dispersion et au gonflement de particules du sol (action chimique).

Puis, la perméabilité augmente par libération des bulles de gaz piégées et disparition des produits instables.

Elle diminue, enfin, lentement, par destruction des agrégats et par action du processus biologique produisant des composés stables oblitérant les pores du sol.

Après plusieurs années, on a pu constater, parfois, que la perméabilité d'un sol, initialement égale à 10^{-7} m/s, pouvait atteindre 10^{-9} m/s. Mais un tel phénomène est loin de constituer le cas général.

2.2.5. Décolmatage

Les effets du colmatage peuvent très souvent être annulés par apparition d'un décolmatage. Celui-ci risque de se produire par fluctuation du niveau de la nappe phréatique (effet de sous-pressions), lors du curage ou de la vidange du bassin.

2.3. Conclusion sur le colmatage

Le colmatage se manifeste par l'apparition de trois couches différentes intéressant une épaisseur de l'ordre d'une vingtaine de centimètres.

Ce colmatage ne peut, en aucun cas, être considéré comme une solution pour imperméabiliser le fond d'un bassin de lagunage. En effet, si K représente la perméabilité initiale en place du fond de bassin :

— pour $K > 10^{-6}$ m/s : la perméabilité initiale du sol en place est trop forte pour permettre le remplissage des bassins. Or, sans remplissage, au moins partiel, le colmatage ne peut de toutes façons pas se produire.

Il faut alors effectuer des travaux d'étanchéité importants.

— Pour 10^{-8} m/s $< K < 10^{-6}$ m/s : après plusieurs années, dans de bonnes conditions, le colmatage peut contribuer à réduire le débit s'infiltrant dans la nappe.

Les principales conditions favorables au processus de colmatage sont :

- une forte concentration en M.E.S. de l'effluent brut ;
- une teneur en matières organiques de l'effluent et du sol en place élevée ;
- une valeur élevée du rapport C/N du sol.

Même sous ces conditions, la réduction de perméabilité du fond des bassins n'apparaît pas toujours de façon importante. De plus, elle peut être remise en cause par un décolmatage.

— Pour $K < 10^{-8}$ m/s : l'étanchéité des bassins est suffisante pour permettre un bon remplissage et un bon fonctionnement de la lagune. Le colmatage peut encore améliorer la valeur de la perméabilité au cours du temps, mais son action n'est guère utile dans ce cas.

Ainsi, contrairement à une idée fréquemment admise, le colmatage ne peut, en aucun cas, être considéré comme une solution pour l'étanchéité d'un fond de bassin de lagunage. Ce phénomène est très lent, difficile à prévoir, d'effet limité et susceptible d'être remis en cause par des processus de décolmatage.

Il est donc indispensable de concevoir des bassins présentant une étanchéité suffisante dès le départ. Les recommandations essentielles pour y parvenir sont données dans le chapitre suivant.

Recommandations pour la conception, la réalisation et l'exploitation des bassins de lagunage

3

Ces recommandations sont rédigées, principalement, à l'intention des maîtres d'œuvre. Il existe, en outre, des documents types : Cahier des Clauses Techniques Générales (CCTG), Cahier des Clauses Techniques Particulières (CCTP) et Bordereau des prix qui tiennent compte de ces recommandations [4]*.

3.1. Travaux préliminaires

Après l'enlèvement de la végétation, le terrain naturel doit être décapé sur une épaisseur souvent de l'ordre de 20 à 30 centimètres. Les terres végétales enlevées peuvent être réutilisées pour les parements et les abords de chantier.

Dans certains cas, il convient de creuser des fossés pour mettre le chantier à l'abri des eaux de ruissellement.

3.2. Conception de la forme des bassins

La forme des bassins doit être aussi régulière que possible. En effet, les angles des bassins sont le siège d'une accumulation préférentielle de sédiments. Une épaisseur trop importante de dépôts modifie le temps de séjour des effluents et perturbe donc le fonctionnement de la lagune.

De plus, il faut éviter que se produisent des cheminements d'eau préférentiels et des courts-circuits. Les emplacements d'entrée et de sortie des effluents doivent être choisis en conséquence (éviter les formes trop allongées, ne pas situer la sortie trop près de l'entrée...).

L'implantation des bassins sur le terrain disponible doit tenir compte des deux éléments suivants :

— il ne faut pas sous-estimer l'emprise des digues. En effet, la largeur en crête ne sera jamais inférieure à 3 m pour permettre le compactage et la circulation d'engins, lors du chantier et pour l'entretien. De plus, les pentes de talus seront, en général, de 2/1 à 2,5/1 (longueur horizontale sur verticale). On constate, parfois, que des projets prévoient des pentes de 1/1. Même pour de très petites digues, ceci doit être absolument évité, car des problèmes de tenue à long terme sont inévitables. Le remède est alors très difficile à trouver, par manque de place ;

— lorsqu'une rivière coule à proximité des digues, il faut laisser une bande suffisante (4 m au moins) entre la rive et le pied de digue (fig. 6) pour permettre l'entretien de la rivière et pour ne pas risquer de mettre en cause la stabilité de la digue (glissement, érosion). La végétation doit si possible être maintenue pour la protection des berges.

Ajoutons, aussi, qu'il peut être nécessaire de prévoir une rampe d'accès au fond des bassins pour des engins de curage utilisés pendant l'exploitation de la lagune.

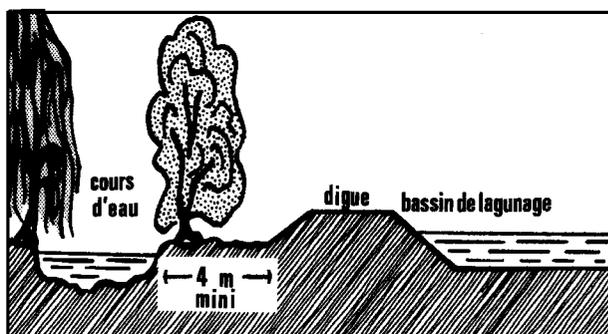


Figure 6 : Implantation des digues au voisinage d'un cours d'eau.

* On pourra se procurer ces documents auprès du CEMAGREF-Division Hydraulique Générale-Groupement d'Aix-en-Provence

3.3. Conception en déblais ou remblais

Les bassins de lagunage peuvent être réalisés de différentes manières (fig.7) :

- par creusement et évacuation des déblais ;
- par creusement et par endiguement (équilibre déblais/remblais) ;
- par création de digues ceinturant le terrain simplement décapé, non creusé ou même surélevé.

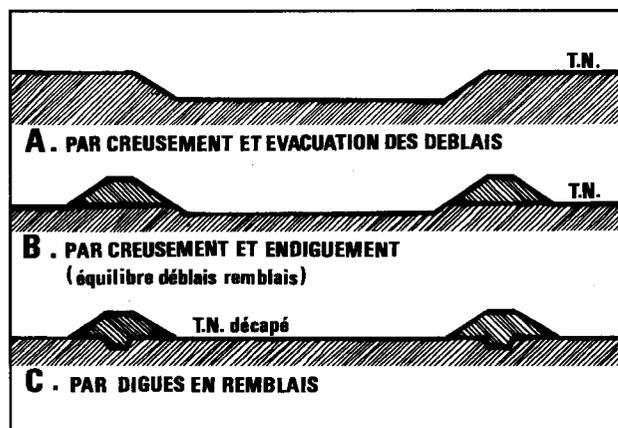


Figure 7 : Les trois types de conception des bassins de lagunage.

La conception des bassins est très liée à la topographie du site. Elle dépend des cotes d'arrivée des effluents dans la lagune ainsi que de celle du fond du bassin. Cette dernière est déterminée en fonction :

- de l'équilibre déblais/remblais qui ne doit cependant pas être le critère principal ;
- de la cote d'arrivée des effluents dans la lagune ;
- de la position de la nappe phréatique ;
- de la position de la couche la plus perméable qu'il ne faut pas atteindre ;
- de la position et de l'épaisseur minimale de la couche la plus imperméable.

Ces trois derniers points sont déterminés à l'issue de l'étude géotechnique. Il est donc indispensable qu'elle soit effectuée avant d'avoir fixé la conception de la lagune.

La position de la nappe conditionne, de manière importante, le choix de la conception des bassins ; il faut, en effet, tenir compte des sous-pressions préjudiciables à l'étanchéité mince, de la dilution des effluents que peut entraîner l'apport d'eaux souterraines et du risque de pollution de ces dernières.

Enfin, il ne faut pas oublier de tenir compte du foisonnement des déblais et de l'effet contraire, lors du compactage des remblais, dans les calculs des volumes de terrassement.

3.3.1. Creusement et évacuation des déblais

Cette conception en déblai est conseillée lorsque les terrains sont difficilement compactables, les remblais étant alors difficilement réalisables avec ce matériau.

Les déblais sont de préférence exécutés en période de sols secs. L'entrepreneur peut être amené à rabattre une nappe ou à évacuer des eaux de pluies.

3.3.2. Creusement et endiguement

Cette méthode est la plus utilisée. Pour des raisons économiques, il est préférable d'équilibrer les déblais et les remblais.

Les remblais sont souvent construits avec des terres provenant du creusement de la lagune (avec mise en place au fur et à mesure ou mise en dépôt provisoire) ou de l'ancrage des digues. Les matériaux utilisés en remblais doivent être bien homogènes et conformes à ceux mis en évidence lors des travaux de reconnaissance.

Des contrôles de densité sèche et de teneur en eau doivent être effectués, au cours du chantier, pour suivre la qualité du compactage.

Si le sol en place est impropre à la construction des digues, il faut utiliser des terres provenant de zones d'emprunt préalablement décapées. Les remblais ne doivent comporter ni vases, ni terres fluantes, ni tourbes.

VENUES D'EAU :

Toute venue d'eau doit être interceptée et raccordée si possible à l'aval du dernier bassin. Il convient, bien entendu, de garantir l'étanchéité au niveau des bassins, après le drainage de la venue d'eau.

Il faut veiller à ce qu'aucun ancien réseau de drainage agricole n'existe sous le fond des bassins. Des fuites importantes sous la lagune ont, en effet, été constatées dans de telles situations.

3.3.3. Création de digues ceinturant le terrain simplement décapé

Les terrains utilisés doivent remplir les conditions citées précédemment.

Cette solution est souvent plus onéreuse que les précédentes. Elle est conseillée :

- si la nappe phréatique est à une faible profondeur ;
- si des déblais réutilisables existent à proximité ;
- si le sol en place est suffisamment imperméable pour constituer le fond des bassins, en particulier, dans le cas où la couche imperméable est de faible épaisseur.

Remarque :

Lorsque les digues sont construites en remblai, les travaux d'étanchéité du fond de bassin doivent être effectués avant leur mise en place. L'assise des digues doit être traitée comme le fond pour améliorer le contact digues/fond de bassin. De plus, il est préférable de prévoir une zone d'ancrage des digues.

3.4. Conception des digues

Les digues des bassins de lagunage sont caractérisées par leur faible hauteur et leur grand développement, un niveau d'eau constant la plupart du temps et des terrassements, parfois importants. De plus, certaines digues servent de séparation entre deux bassins dont les niveaux sont très proches l'un de l'autre.

Le développement qui suit concerne les cas courants (talus dont la hauteur est inférieure à 2,5 m). Dans les autres cas, la conception et la réalisation des digues nécessitent les mêmes précautions que pour les petits barrages en terre.

3.4.1. Stabilité des digues

3.4.1.1. Corps de digue :

La stabilité des digues est, en général, assurée avec les pentes suivantes :

- 1,5 à 2/1 pour le parement aval (non exposé à l'eau) ;
- 2 à 2,5/1 pour le parement amont (au contact de l'eau).

Si un tapis d'argile est envisagé sur le talus amont, la pente requise est de l'ordre 3/1 pour permettre le travail des engins de compactage.

Il faut éviter d'utiliser les terrains vaseux ou trop humides pour le corps de digue car ils sont très compressibles et peuvent être le siège de tassements importants, voire de rupture.

3.4.1.2. Fondations :

En cas de fondations molles ou compressibles, si le site d'implantation des digues ne peut être modifié, ou si le matériau ne peut être curé,

il faut élargir l'assise des digues et provoquer la plus grande part de tassements par un préchargement, avant la mise en place de l'étanchéité ou du matériau définitif.

Dans le cas d'argiles très plastiques, en fondation, les tassements des digues peuvent être importants. Il faut alors étudier la compressibilité de ces sols en laboratoire.

3.4.2. Étanchéité des digues

Le profil des digues dépend des matériaux reconnus lors des études préliminaires et des conditions générales de chantier ; plusieurs solutions peuvent être retenues.

3.4.2.1. Digues homogènes (fig. 8) :

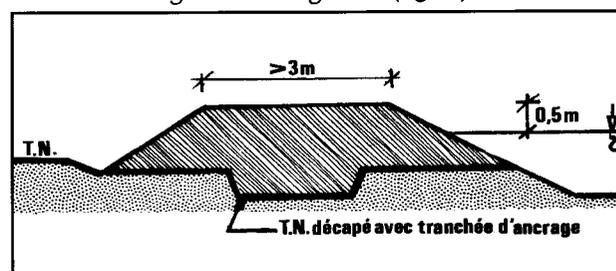


Figure 8 : Digue homogène avec tranchée d'ancrage.

Cette solution peut être adoptée lorsque la quantité de matériau étanche disponible est suffisante. Elle est simple et économique.

Pour éviter une zone de circulation d'eau préférentielle au contact digue-terrain en place décapé, une tranchée d'ancrage est à préconiser, essentiellement pour les digues de ceinture. Elle doit être faite après décapage du terrain, sur une profondeur de l'ordre de 0,5 m et une largeur supérieure à 2 m. La tranchée d'ancrage est remplie de matériau étanche et compacté.

3.4.2.2. Digues étanchées par tapis d'argile : (fig. 9)

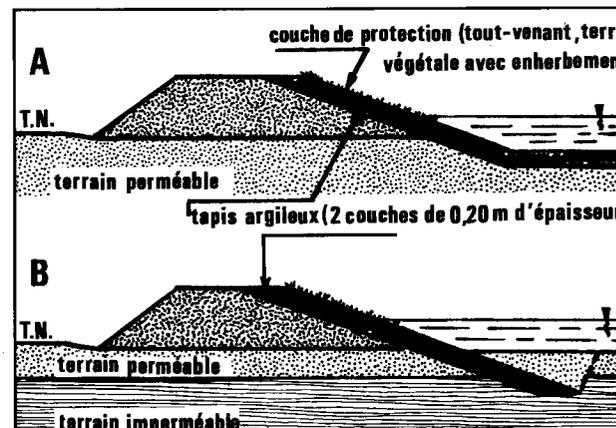


Figure 9 : Digue avec tapis en argile.

Lorsque les matériaux constitutifs de la digue ne sont pas suffisamment étanches, il est possible de recourir à la pose d'un tapis d'argile ou d'une géomembrane.

Dans le cas du tapis de matériau argileux compacté, la pente du talus doit rester inférieure à 3/1. Un compactage, avec les engins de chantier, sera effectué face à la pente (circulation du rouleau depuis le fond jusque sur la crête et retour), avec la vitesse la plus faible possible et de manière à ce que le compacteur atteigne, effectivement, la crête de la digue (*photo 1*).

D'une manière générale, lorsque différents types de matériaux de remblais sont mis en contact, il convient de respecter les conditions de filtre granulaire. De plus, pour prévenir les risques de fissuration du tapis d'argile par dessiccation, il faut envisager un recouvrement par une couche de sable, de tout-venant ou de terre végétale.

3.4.2.3. Digue étanchée par géomembranes : (*fig. 10*)

Sur le marché existent différents types de géomembranes susceptibles d'être employées dans un bassin de lagunage : en particulier, des

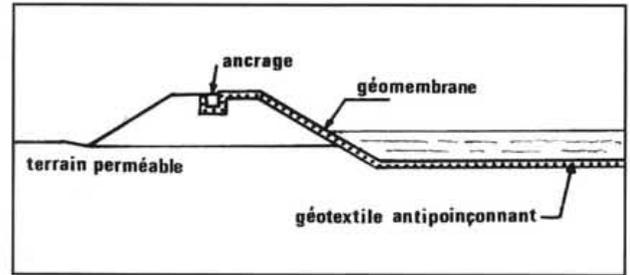


Figure 10 : Digue étanchée par géomembrane.

géomembranes bitumineuses, en polyéthylène haute densité (peu répandu en France) ou en polychlorure de vinyle plastifié (PVC). Pour ce dernier produit, l'épaisseur minimale à préconiser est de 1 mm. Les géomembranes en Butyl sont à éviter du fait de leur mauvais comportement à long terme sous traction et en présence d'hydrocarbures, même en faible quantité.

L'emploi d'une géomembrane n'est retenu, en pratique, que si la fondation n'est pas étanche et s'il n'existe pas d'argile à proximité. La pose de la géomembrane intéresse, alors, à la fois les digues et le fond des bassins.

Une tranchée d'ancrage est disposée en crête de digue (les sections de ces ancrages peuvent être de l'ordre de 30 cm x 30 cm).



Photo 1 : Compactage d'un tapis d'argile sur talus par un rouleau lisse.

Le support doit être exempt de parties agressives, un géotextile antipoinçonnant pouvant le cas échéant être intercalé entre le sol et la géomembrane (**photo 2**).



Photo 2 : Digue étanchée par une géomembrane.

Le contrôle systématique des joints, entre les différents panneaux de géomembrane, est indispensable, après la pose. Un remplissage à l'eau claire pour tester l'étanchéité à la réception des travaux est à préconiser.

Une couche de protection n'est, en général, pas nécessaire pour des bassins de lagunage. Lorsqu'elle semble indispensable, pour des raisons liées à des agressions spécifiques au site, il ne faut pas oublier qu'elle augmente notablement le coût de l'ensemble et entraînera des difficultés en cas de réparations de la géomembrane. Les risques d'agression par vandalisme sont, en principe, réduits car une clôture est de toutes façons nécessaire autour des bassins.

3.4.3. Le problème du batillage et de l'érosion superficielle

Pour les bassins de faible superficie, c'est-à-dire de surface inférieure à 10 000 m², représentant 90 % des lagunes en France, un



Photo 3 : Protection du talus aval par terre végétale.

engazonnement suffit souvent à protéger les digues.

Il faut, sinon, recourir à une protection anti-batillage (tout venant, matériau concassé, petit enrochement...) sur la zone soumise au batillage (**photos 3 et 4**).



Photo 4 : Protection du talus amont par petits enrochements ; compactage du fond de bassin.

Lorsqu'une partie des bassins n'est pas en relief, il est utile de ceinturer le site par des fossés détournant les écoulements pluviaux pour éviter l'érosion des talus (fig. 11).

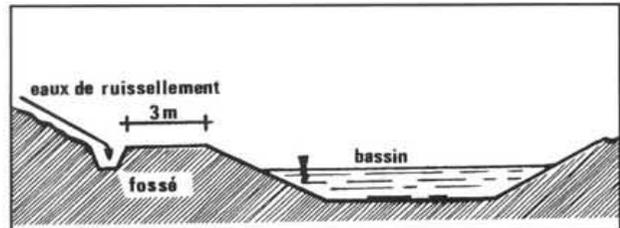


Figure 11 : Fossés de ceinture.

3.4.4. Revanche

Elle permet d'éviter la submersion de la crête des digues par les vagues.

Pour les petits bassins (surface inférieure à 1 ha), il suffira d'une hauteur de revanche de 0,5 m.

Pour une surface de bassin comprise entre 1 et 3 ha, la hauteur de revanche variera linéairement entre 0,5 m et 1 m.

Pour les grands bassins (surface de plus de 3 ha), la revanche peut être estimée par la formule simplifiée :

$$R = 1 + 0,3 \sqrt{F}$$

F = fetch (ou longueur du plan d'eau) en km

3.5. Étanchéité des fonds de bassin

Plusieurs solutions permettent de réaliser une bonne étanchéité, au meilleur coût, en

fonction des résultats obtenus lors de l'étude géotechnique : simple compactage avec scarification du fond de bassin, compactage sur deux couches du sol en place, apport de matériau argileux, traitements de sols ou pose d'une géomembrane. On cherchera à atteindre une perméabilité de fond de bassin inférieure à $K = 10^{-8}$ m/s.

Pour ne nécessiter aucun traitement concernant l'étanchéité, il faut que le terrain naturel soit suffisamment étanche et très homogène. Par précaution on s'assurera que les essais de perméabilité en place se situent à des valeurs largement inférieures à 10^{-8} m/s.

3.5.1. Étanchéité par compactage

3.5.1.1. Généralités :

La perméabilité d'un sol est très liée à son degré de compacité. Par exemple, une argile graveleuse peut passer d'une perméabilité de $5 \cdot 10^{-8}$ m/s à moins de 10^{-9} m/s par un bon compactage. Ce même matériau peut d'ailleurs atteindre une perméabilité de 10^{-6} m/s en place à cause des effets biologiques et climatiques agissant à la surface du sol.

On mesure ainsi tout l'intérêt de procéder à un bon compactage des sols utilisés pour réaliser l'étanchéité des fonds de bassin.

L'efficacité du compactage d'un sol est évaluée en référence à un essai de laboratoire appelé essai Proctor. Il permet d'obtenir une courbe indiquant la densité sèche d'un sol, pour une énergie de compactage donnée, en fonction de la teneur en eau (fig. 12). La courbe présente un maximum qui indique les conditions de teneur en eau acceptables pour obtenir une densité sèche voisine du maximum.

En général, pour un chantier de bassin de lagunage, on préconise d'obtenir une densité sèche d'au moins 95 % du maximum de l'essai de compactage à l'énergie Proctor Normal. Les teneurs en eau acceptables sont alors, le plus souvent, situées dans une fourchette de plus ou moins 3 points de teneur en eau par rapport à la teneur en eau optimale.

Il est recommandé de compacter en couches minces ne dépassant pas 30 cm d'épaisseur après compactage. Le nombre de passages de rouleau et l'épaisseur des couches à compacter doivent être déterminés par des planches d'essais, en début de chantier, en comparant les densités obtenues en place avec la densité à l'optimum Proctor Normal (photo 5).

Les sols retenus pour réaliser l'étanchéité des fonds de bassin, qu'ils soient en place dans

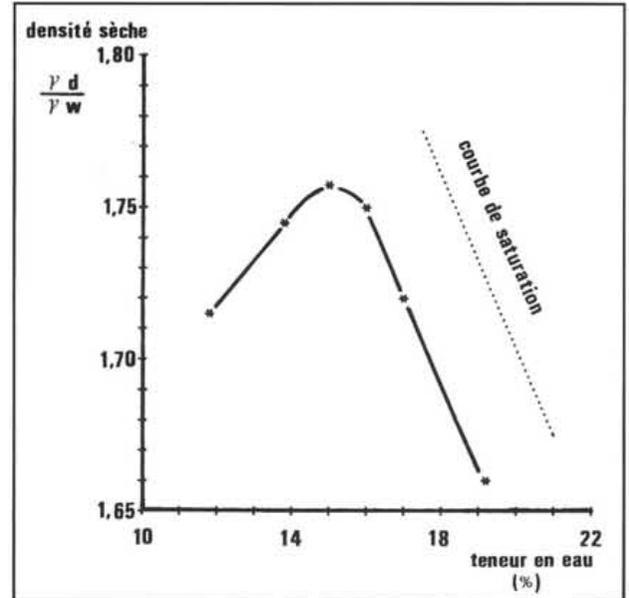


Figure 12 : Essai Proctor ; exemple de courbe obtenue avec un limon.



Photo 5 : Compactage au rouleau à pied dameur.

les bassins ou rapportés, sont le plus souvent des matériaux fins de type limons ou argiles, avec une proportion variable de sables et de graviers. Ces sols sont particulièrement sensibles à la teneur en eau, c'est-à-dire qu'ils changent d'état en fonction de leur teneur en eau ; des essais de laboratoire (limites d'Atterberg) permettent d'apprécier qualitativement leur comportement en présence d'eau. Enfin, pour ces sols fins, les changements de teneur en eau sont lents et difficiles à réaliser artificiellement.

Si le sol est trop sec, il faut l'humidifier, de préférence sur sa zone d'emprunt ou bien sur le lieu de mise en remblai avant le compactage.

S'il est trop humide (cas le plus fréquent), il faut l'assécher par drainage préalable des zones d'emprunts et aération par scarification avant compactage. Il est impératif d'arrêter le chantier en période de pluies et recommandé

de réaliser les remblais en période d'évaporation importante.

Ces sujétions peuvent apporter un surcoût important au projet mais apportent une garantie à la bonne étanchéité des bassins.

3.5.1.2. *Simple compactage du fond :*

Lorsque la perméabilité initiale du sol en place (mesurée in situ) est de l'ordre de 10^{-8} m/s voire 10^{-7} m/s et que le terrain est facile à compacter, un simple compactage peut être suffisant.

Un sol comprenant au moins 20 % d'éléments de taille inférieure à 2 μm possède en général ces caractéristiques.

Le sol en place est alors décapé, creusé jusqu'à la cote du projet, puis scarifié et compacté.

3.5.1.3. *Compactage d'une couche et du fond :*

Si l'étanchéité du terrain est moins bonne (perméabilité comprise entre 10^{-6} et 10^{-7} m/s), on peut procéder de la manière suivante : le terrain en place, une fois à la cote du projet, est décaissé sur une épaisseur de 20 à 30 cm ; la terre provenant de cette opération est ensuite mise en tas (à l'exception des sables) ; puis le fond est scarifié et compacté ; enfin, la couche mise en tas est répandue et compactée.

3.5.1.4. *Apport de matériaux argileux :*

Ce procédé est très souvent employé lorsque le terrain est trop perméable, même après compactage (une mesure de perméabilité, en laboratoire, sur un échantillon de sol prélevé in situ et compacté à l'optimum Proctor en moule CBR, permet d'obtenir ce renseignement - voir paragraphe 4.2.3.).

Le sol en place est tout d'abord scarifié et compacté. Deux couches de matériaux argileux sont successivement posées et compactées. La pose des couches doit être uniforme sur l'ensemble du bassin et d'une épaisseur minimale de 20 cm chacune après compactage. La mauvaise exécution de ces travaux est une cause très fréquente de fuites au fond des bassins.

Il est aussi nécessaire de veiller à ce que l'argile ne se fissure pas, par suite d'une mise en eau tardive de la lagune. Selon le type d'argile, le retrait est plus ou moins important. L'essai de limite de retrait en laboratoire et les limites d'Atterberg permettent d'apprécier ce risque.

La couverture de l'argile par une couche de sable, de tout venant ou de terre végétale constitue aussi une solution.

Le risque de fissuration ainsi que les difficultés accrues de compactage avec les matériaux très argileux pourront conduire, dans certains cas, à préférer un sol moins argileux mais de perméabilité acceptable après compactage.

Si le sol en place est trop grossier, les règles de filtre doivent être respectées. Avant d'épandre l'argile, il faut poser un matériau de granulométrie intermédiaire ou un géotextile dimensionné en tant que filtre (voir Informations Techniques du CEMAGREF, cahier N° 67 - septembre 1987 [7]). Si ces conditions ne sont pas respectées, des particules du sol fin risquent d'être entraînées compromettant définitivement l'étanchéité.

3.5.1.5. *Conclusions sur le compactage :*

Le compactage des sols en place ou des sols rapportés constitue souvent la solution la plus économique pour réaliser l'étanchéité des fonds de bassins lorsque les matériaux s'y prêtent et sont disponibles à proximité. Le choix entre les différentes techniques possibles, décrites de la plus immédiate à la plus élaborée, dépend de la perméabilité des sols en place et de leur comportement au compactage. L'importance des valeurs des teneurs en eau naturelles des matériaux disponibles doit être soulignée pour l'efficacité du compactage, ainsi que la difficulté de modifier la teneur en eau d'un sol fin. L'avis d'un géotechnicien est indispensable dans les cas difficiles.

3.5.2. *Traitements de sols*

Des traitements de sols à base de bentonite sont parfois utilisés pour étancher les bassins de lagunage. La bentonite est une argile de type montmorillonite ayant un pouvoir de gonflement à l'eau de l'ordre de 10 à 20 fois son volume sec. En mélange ou en contact avec un milieu granulaire ou avec un sol, elle remplit les interstices lors du gonflement et abaisse ainsi fortement la perméabilité initiale. On lui ajoute parfois des polymères pour la fixer et des liants hydrauliques pour stabiliser le mélange.

Méthodes utilisées :

— la méthode de la couche mixte consiste à mélanger la bentonite au sol en place. La bentonite en poudre est répandue régulièrement sur la surface du sol avec un poids surfacique fixé ; le mélange avec le sol est réalisé avec un pulvimixeur ou un engin équivalent sur une épaisseur fixée (généralement de 10 à 20 cm). Le fond du bassin est alors compacté soigneu-

sement. L'ajout de ciment à la bentonite avant mélange est parfois utilisé pour apporter une meilleure stabilité au sol traité. La mise en œuvre est délicate. Le mixage et le répandage des produits doivent être homogènes. L'utilisation de matériels spécifiques est recommandé : épandeur et pulvimixeur.

— La méthode de la couche pure est plus délicate à mettre en œuvre. Elle consiste à étaler une couche de bentonite en poudre sur un sol uni et bien tassé. Cette couche est ensuite recouverte de sable ou de gravier fin. A la mise en eau se forme une couche de faible perméabilité constituée d'un gel de bentonite. Il faut, toutefois, s'assurer de la continuité de cette couche qui peut être mise en défaut par des irrégularités d'épandage ou par des perturbations lors de la mise en place de la couche de surface.

— La méthode de saupoudrage sur bassin en eau.

Lorsqu'un bassin fuit et qu'il ne peut être vidangé, il est possible de saupoudrer de la bentonite à la surface de l'eau, quand celle-ci est calme. La bentonite n'est alors efficace que pour étancher les petites fissures. La quantité de bentonite à épandre est très variable selon la nature du fond et des eaux.

Cette méthode n'est pas conseillée, car elle ne donne guère de résultats satisfaisants ; en particulier l'amélioration observée peut être remise en cause par un phénomène de décolmatage.

Conclusions sur les traitements de sol :

De nombreux déboires ont été constatés avec l'emploi de la bentonite. L'efficacité, à long terme, n'est pas garantie ; la plus grande prudence est de mise, quand à son emploi.

L'efficacité, à court terme, doit être assurée par une étude poussée, de façon à déterminer, en laboratoire, les teneurs en bentonite et en ciment et à choisir le meilleur mode de mise en place. La mise en œuvre doit être contrôlée rigoureusement durant tout le déroulement du chantier et, en particulier, pour la phase de compactage.

Le surcoût dû aux études et aux contrôles nécessaires limite en général l'emploi de ces techniques à des chantiers de superficie supérieure à 10 000 m².

3.5.3. Pose d'une géomembrane sur le fond des bassins

Lorsqu'aucune des solutions précédentes n'est techniquement ou économiquement adaptée pour assurer l'étanchéité des fonds de

bassin, il est toujours possible de recourir à la pose d'une géomembrane (fig. 13).

Les mêmes recommandations que pour l'emploi d'une géomembrane sur les digues sont à formuler quant au choix des produits, au traitement de l'agressivité du support et au contrôle des joints. Une couche de protection n'est pas nécessaire au fond des bassins, à condition de prévoir les curages d'entretien éventuels par des suceuses.

L'emploi d'une géomembrane devient problématique dans le cas d'une nappe dont le toit est situé au-dessus du fond de bassin ou lorsque des sous-pressions de gaz (fluctuation importante de nappe sous le fond ou décomposition de matières organiques avec dégagement de gaz) risquent de soulever la membrane. Le lestage est toutefois possible dans certaines situations.

Dans tous les cas, cependant, un drainage de l'eau et des gaz doit être prévu sous la géomembrane. Ce drainage peut consister en un réseau de tuyaux de drainage agricole ou routier (plus rigides) enterrés dans des tranchées drainantes de 40 cm x 40 cm de section.

Afin d'éviter le colmatage des drains par entraînement de sol fin, les règles de filtre granulaire doivent être respectées ; l'utilisation d'un géotextile, en tant que filtre, dans la tranchée drainante, est à envisager.

L'espacement des tranchées est de 10 m environ avec une pente d'écoulement de l'eau de 0,5 %. Il est préférable de disposer un réseau de drains pour dissiper les sous-pressions de gaz, avec évacuation en haut des digues (orienter le débouché de manière à éviter les sur-pressions dues au vent). L'évacuation des gaz et de l'eau peut, éventuellement, s'effectuer par les mêmes tuyaux (fig. 13).

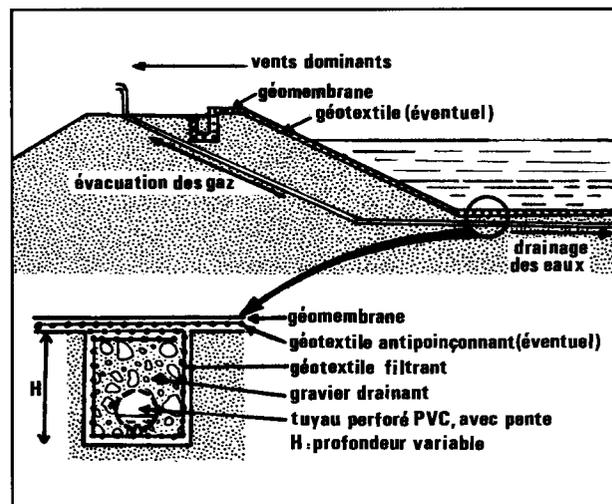


Figure 13 : Emploi d'une géomembrane sur le fond et les digues.

Dans ce cas, les contre-pentes doivent être strictement évitées.

Généralement, l'emploi d'une géomembrane en fond de bassin entraîne, aussi, son utilisation sur les digues. Le coût de l'opération devient très important, parfois de l'ordre de grandeur du prix d'une station d'épuration classique.

3.6. Ouvrages divers

Les ouvrages particuliers à prévoir sont les suivants :

- des ouvrages de prétraitement éventuels, dégrillage par exemple ;
- un ouvrage de mesure de débit à l'entrée et à la sortie de la station ;
- des canalisations d'amenée des effluents, de communication et de sortie.

On ne traitera, ici, que des ouvrages spécifiques, en liaison directe avec les bassins ou les digues.

3.6.1. Communications

Différents types de communications peuvent exister entre les bassins : (**photo 6**)

- une canalisation d'entrée ;
- une canalisation de sortie ;
- un trop-plein, utile en cas de problème sur la canalisation de sortie ;
- un by-pass permettant de déconnecter le bassin pour intervention de curage ou de réfection d'étanchéité.



Photo 6 : Ouvrages de communications entre bassins.

Ces deux dernières canalisations ne sont pas indispensables sur de petites installations de capacité inférieure à 500 équivalent-habitants où il est toujours possible de vider les bassins par pompage ; elles peuvent, néanmoins, rendre de grands services en cas d'incidents en cours d'exploitation de la station.

Les canalisations de communication sont généralement réalisées par recreusement de la digue et situées au niveau du plan d'eau. Le talus, sous le débouché de la canalisation, doit être revêtu dans tous les cas (fig. 14A) pour éviter tout risque d'érosion. Le remblaiement autour de la canalisation devra être soigné pour éviter les risques de circulation d'eau à cet endroit. Un bloc de béton pourra être disposé, par précaution, à l'extrémité amont du tuyau (fig. 14B).

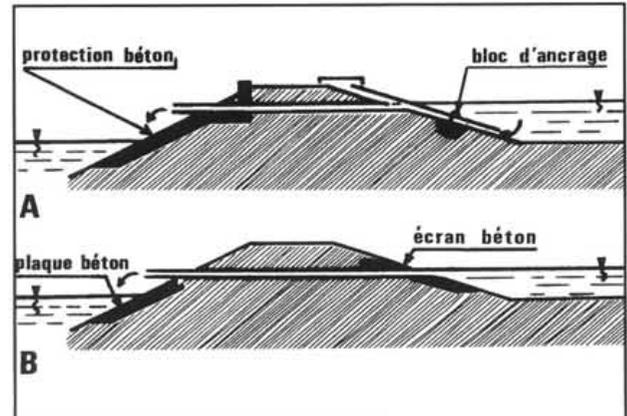


Figure 14 : Protection au débouché d'une canalisation de communication.

3.6.2. Canalisations

Certaines canalisations peuvent longer les bassins. Dans ce cas, on veillera à s'éloigner, si possible, d'au moins 2 m du bord du talus, compte tenu des risques, même minimes, de glissement ou de dégradation par batillage (fig. 15).

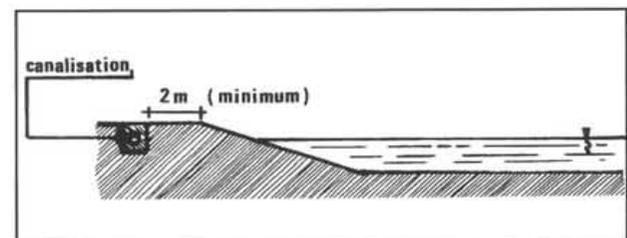


Figure 15 : Positionnement des canalisations longeant un bassin.

3.7. Précautions à prendre durant l'exploitation des bassins de lagunage

3.7.1. Protection des fonds de bassin avant mise en eaux usées

On a vu que la mise en eau tardive des bassins ou le volume initial des effluents insuffisant