

est une cause fréquente des problèmes d'étanchéité des lagunes (10 % des causes rencontrées, d'après l'enquête effectuée en 1986).

Lorsque seules les eaux usées alimentent la lagune à sa mise en service, le remplissage des bassins est souvent long à obtenir (il peut attendre plus d'une année). En effet, fréquemment, seule une partie du réseau d'assainissement et des branchements sont raccordés à la station à sa mise en service. Le débit d'entrée dans la lagune est alors insuffisant.

Cela entraîne la fissuration de l'argile au fond du bassin et sa colonisation par la végétation, causes de fuites ultérieures. Il faut, alors, protéger le fond des bassins.

En général, il suffit de les remplir d'eau claire, divers moyens pouvant convenir :

- si la lagune est située à proximité d'un cours d'eau, le bassin peut être rempli par pompage dans la rivière ;

- si le réseau d'assainissement est de type séparatif, il peut être raccordé temporairement au réseau des eaux pluviales à l'entrée de la lagune ;

- un raccordement de fontaines ou de sources peut aussi être envisagé ;

- dans les cas extrêmes, le remplissage des bassins par l'intermédiaire du réseau d'eau potable (bornes incendie) est envisageable.

La protection du fond pourra être aussi assurée par une couche de tout-venant ou de terre végétale.

Si, avant la mise en place de cette protection, des fissurations apparaissent, il ne faut pas hésiter à griffer et à recompacter le sol. Cette opération est peu onéreuse.

### 3.7.2. Curage des bassins

Le lagunage naturel conduit à une accumulation de boues au fond des bassins : on a vu (cf 2.1.) que le dépôt moyen dans le 1<sup>er</sup> bassin est de 2 cm/an. De plus une grande quantité de boues se dépose à l'entrée (cône de sédimentation) et à la sortie du bassin.

Pour connaître l'épaisseur des dépôts dans les bassins, il est possible d'utiliser un disque léger (du type Secchi), en matière plastique, par exemple, et une barre graduée coulissant à l'intérieur, la mesure s'effectuant à partir d'une barque (fig. 16).

Ces dépôts ne contribuent que faiblement à l'imperméabilisation des bassins par colmatage. L'enlèvement des sédiments (essentiellement les plus récents, donc les plus fluides) ne risque donc pas de réinstaurer les fuites. Il faut,

toutefois, éviter d'atteindre le niveau du "cake", lors de l'opération du curage.

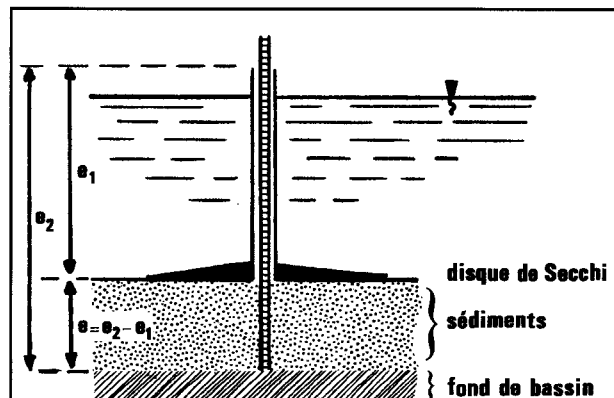


Figure 16 : Utilisation d'un disque de Secchi.

La fréquence des curages dépend de la vitesse de dépôt, spécifique à chaque site (fonction essentiellement de la teneur en M.E.S. et du débit des effluents).

- On peut estimer qu'il faut effectuer un curage partiel tous les 1 à 5 ans à l'entrée et à la sortie du premier bassin. Ce curage s'avère nécessaire dès que les nuisances (odeurs désagréables, affleurement à la surface, gêne à l'écoulement) apparaissent. A cet endroit, les dépôts sont très fluides et peuvent être enlevés par pompage.

- La même opération peut être réalisée moins fréquemment dans les zones d'accumulation préférentielle. Il s'agit des coudes, des coins et des bords du bassin.

- Le curage de l'ensemble des bassins doit être effectué, environ, tous les 10 ans, lorsque la qualité du traitement et l'écoulement (courts-circuits hydrauliques, temps de séjour insuffisant) sont perturbés par le volume des boues. Il s'agit alors d'une opération importante faisant appel à des entreprises spécialisées. Le bassin curé est mis hors circuit, si cela est possible. Il n'est pas utile de vider entièrement le bassin, un simple abaissement du niveau d'eau suffit.

Il est préférable d'extraire les boues par pompage plutôt qu'avec une pelle mécanique. En effet, on a fréquemment constaté que l'utilisation d'une pelle pouvait compromettre l'étanchéité du bassin par extraction de la couche la plus étanche (couche compactée, couche d'argile, "cake").

Il peut être néanmoins judicieux de prévoir une rampe pour accéder au fond du bassin, ceci n'entraînant aucun surcoût.

Enfin, il faut rappeler que durant ces opérations de curage où le bassin est vide, les sous-

pressions doivent être contrôlées pour ne pas occasionner des désordres.

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

L'ensemble de ces recommandations ne prend son sens que par un suivi et un contrôle du chantier. En particulier, le maître d'œuvre doit être présent à l'ouverture des fouilles, pour

s'assurer que les conditions réelles de terrain sont bien conformes aux hypothèses prises en compte lors du projet sur la base des études préliminaires et géotechniques. Le cas échéant des modifications de conception sont à envisager.

Enfin, on a vu, à plusieurs reprises, qu'une étude géotechnique préalable était indispensable, pour établir le projet et le réaliser dans de bonnes conditions. Le contenu de ces études géotechniques est détaillé dans le chapitre suivant.



L'enquête effectuée auprès des S.A.T.E.S.E. et des D.D.A.F. a montré qu'un nombre important de défauts d'étanchéité est attribué à l'insuffisance ou à l'absence d'étude géotechnique préalable (35 % des causes citées). On a vu, dans les recommandations de conception et de mise en œuvre, que celle-ci permet en effet de connaître les caractéristiques du sol en place et d'en déduire les travaux d'étanchéité nécessaires.

Le but principal de l'étude géotechnique est de réaliser des bassins suffisamment étanches, avec un minimum de travaux. Cela ne signifie pas que le projet sera plus sophistiqué et plus cher.

Deux niveaux d'études sont distingués : les études préliminaires, au niveau de la faisabilité, dans un premier temps, et les études nécessaires à la réalisation d'un projet, sur un site donné, dans un second temps.

## 4.1. Études de faisabilité

Elles vont permettre de choisir, a priori, le meilleur site d'implantation de la lagune (dans la mesure où le site n'est pas imposé dès l'origine). Ce travail est indispensable, surtout si les terrains disponibles sont hétérogènes. Plusieurs critères interviennent :

- l'accessibilité ;
- la topographie ;
- la géologie et la nature plus ou moins argileuse du sol en place.

Le maître d'œuvre choisit, a priori, le site parmi les possibilités offertes, en fonction des contraintes du schéma d'assainissement, de la topographie, de la géologie, des possibilités de rejet, sur la base de cartes et de visites de terrain.

Les points suivants devront en particulier être pris en compte.

### 4.1.1. Topographie

Il faut, évidemment, plutôt choisir un terrain plat qu'un terrain accidenté. Il est nécessaire de posséder un plan topographique à l'échelle 1/500<sup>e</sup> ou mieux 1/200<sup>e</sup>, tant au stade des études préliminaires que du projet.

Au stade des études préliminaires, il permet d'implanter les travaux de reconnaissance, de relier toutes les observations et d'étudier l'hydrographie du site.

Au stade du projet, il permet notamment d'apprécier la surface au sol nécessaire, en fonction de la pente du terrain naturel, et de rattacher la lagune à son environnement (au lit d'une rivière, aux autres ouvrages du dispositif d'assainissement, à l'exutoire...).

L'étude du plan topographique peut conduire à l'abandon du site et permet de préciser les conditions de réalisation du chantier.

### 4.1.2. Géologie

La structure géologique du site peut être étudiée, dans une première approche, à partir d'une carte géologique locale.

Il s'agit alors de repérer les affleurements rocheux et de noter leurs caractéristiques. On essaie, ensuite, de les relier entre eux. Lorsqu'aucun affleurement ne peut être observé, il faut se contenter d'étudier la nature du sol en surface et de noter ses variations ainsi que celles de la végétation.

Cette base minimale permet de définir les zones les plus favorables à la construction de la lagune.

Les conclusions portent en principe sur :

- la présence ou non de blocs pouvant gêner les travaux et la profondeur du substratum rocheux ;
- les risques de fuites dans les terrains et le rocher de substratum ;
- la position des zones humides ou des sources ;
- la nature des matériaux du site ;

— la nature des matériaux exploités dans les carrières voisines et susceptibles d'être utilisés ;

— l'existence de zones meubles plus aptes à servir de ballastières.

#### **4.1.3. Hydrogéologie et hydrographie**

Il faut connaître le niveau de la nappe phréatique et ses fluctuations, pour pouvoir apprécier les risques de contamination des eaux souterraines, surtout si la nappe est exploitée.

Par ailleurs, les travaux de réalisation des bassins sont aussi gênés par la proximité d'une nappe.

#### **4.1.4. Étude géotechnique**

C'est, généralement, l'étude la plus importante, faite à la demande et sous la responsabilité du maître d'œuvre.

Dans le cadre de l'étude de faisabilité, on pourra se contenter de réaliser quelques trous à la tarière pour pouvoir apprécier la nature du sol. Ceci permet, également, de vérifier la bonne homogénéité du terrain.

Toutefois, les sondages à la tarière sont longs à effectuer et apportent, en définitive, peu de renseignements utiles. Dans la mesure du possible, on préférera une reconnaissance à la pelle mécanique, avec ouverture de tranchées, suivant le protocole décrit plus loin (voir 4.2.1.).

#### **4.1.5. Conclusion sur l'étude de faisabilité**

Ces études minimales permettent de choisir le site d'implantation le plus approprié, en se rappelant qu'une lagune bien conçue s'intègre parfaitement au paysage et n'entraîne pas de nuisances.

Il ne faut pas retenir systématiquement le terrain le moins cher à l'acquisition, mais tenir compte, aussi, dans le bilan du coût, des travaux d'étanchéité. Il peut, en effet, être plus économique d'acquérir un terrain plus cher et d'économiser sur les travaux à effectuer.

Aussi, ne faut-il pas hésiter à envisager, au départ, plusieurs sites, de manière à sélectionner le plus adapté.

Si le sol en place est suffisamment fin (limons ou argiles) et homogène, les études citées précédemment suffisent. Elles permettront de recommander les travaux d'étanchéité à effectuer et de préciser les conditions de réalisation du chantier. Sinon, et il s'agit du cas général, il

faut réaliser des études complémentaires sur le site retenu.

## **4.2. Études nécessaires pour le projet**

Les études nécessaires pour le projet comprennent une reconnaissance géotechnique du site et des essais in situ et en laboratoire.

### **4.2.1. Reconnaissance du site (photo 7)**

La reconnaissance du site s'effectue à la pelle mécanique. L'accès du terrain doit être préalablement dégagé pour en permettre le passage. Il faut choisir, si possible, d'effectuer la reconnaissance au moment où le terrain n'est ni cultivé ni trop humide.



*Photo 7 : Reconnaissance par pelle mécanique du site choisi.*

Au niveau de la reconnaissance du terrain pour le projet, il est, a priori, exclu d'utiliser une tarière à moteur ou à main. En effet, d'une part le travail est long et d'autre part les observations ne sont pas significatives, les trous effectués étant petits.

L'utilisation d'une tarière peut, cependant, être envisagée lorsqu'il est impossible de pénétrer sur le site avec une pelle ou un tractopelle (cas rare). Dans ce cas de nombreux trous sont nécessaires, au minimum 15 (sondages de 2 à 3 mètres de profondeur) pour une lagune de 1 ha de surface.

#### **4.2.1.1. Nombre de tranchées à effectuer à la pelle mécanique :**

Pour une lagune de 1 ha, 5 tranchées, au minimum, sont nécessaires.

#### **4.2.1.2. Disposition des tranchées :**

Elles seront disposées, a priori, en quinconce sur le terrain, de telle sorte qu'elles soient le

plus éloignées possible les unes des autres, tout en restant dans le périmètre retenu pour le bassin.

Leur emplacement est déterminé par le géotechnicien. Chaque tranchée fait l'objet d'un repérage précis après la prospection du site.

#### **4.2.1.3. Profondeur des tranchées :**

La profondeur des tranchées est de 3 à 4 m en général. Elle doit être telle que le niveau atteint soit d'au moins 1 m inférieur à celui prévisible pour le fond des bassins.

#### **4.2.1.4. Engins pouvant être utilisés :**

Il est préférable d'utiliser une pelle mécanique plutôt qu'un tractopelle. Le godet doit avoir une largeur minimum de 60 cm.

#### **4.2.1.5. Description des tranchées :**

Dans la tranchée, il faut observer :

— la nature des matériaux (teneurs approximatives en sable, limon, argile et matières organiques), leur consistance et leur compacité ;

— la stratification des couches, la profondeur de leur toit et de leur base, leur inclinaison, la présence de lentilles ;

— la présence éventuelle d'une couche très molle qui a une grande importance pour préciser la nature des fondations des ouvrages rigides et les conditions de réalisation du chantier ;

— la présence de racines, de débris, etc. ;

— l'humidité du terrain et les venues d'eau ;

— la présence éventuelle de la nappe phréatique relevée au moment du creusement ou quelques heures après.

#### **4.2.1.6. Prélèvement des échantillons :**

Des échantillons sont à prélever à divers niveaux :

— pour statuer sur le problème d'étanchéité de la fondation, prélèvements non remaniés dans les couches qui semblent les plus perméables (couches à risques) et, de toutes façons, dans la zone située sous la cote prévisible du fond ;

— pour étudier les matériaux qui seront, ensuite, réutilisés en remblais pour les digues, prélèvements, sur plusieurs tranchées, dans les couches homogènes d'épaisseur supérieure à 50 cm.

Les autres couches sont simplement décrites.

#### **4.2.1.7. Fermeture des tranchées :**

A la fermeture des tranchées, des piézomètres peuvent être posés (tuyaux PVC percés) qui permettront de mieux appréhender les risques de contamination des eaux de nappe sou-

terraine et de sous-pressions et les conditions d'exécution générale du chantier.

## **4.2.2. Essais d'identification en laboratoire**

### **L'analyse granulométrique :**

elle est effectuée par tamisage pour les éléments, de taille supérieure à 0,08 mm et par sédimentométrie pour les éléments plus fins. Cet essai permet de situer la classe du matériau considéré (sable, limon, argile...).

### **La teneur en eau naturelle :**

elle donne une idée de l'état de saturation du sol en place et de son aptitude au compactage.

### **La teneur en matières organiques :**

des teneurs en matières organiques supérieures à 5 % risquent d'entraîner des tassements importants. Des dégagements de gaz par fermentation, avec possibilité de soulèvement d'une éventuelle géomembrane, peuvent aussi se produire.

### **Les limites d'Atterberg :**

ce sont les teneurs en eau correspondant à un changement d'état (liquide, plastique et solide) des argiles. Ces valeurs, faciles à déterminer, permettent au géotechnicien de préciser le comportement du sol au compactage.

## **4.2.3. Essai d'aptitude à l'emploi des matériaux du site**

### **4.2.3.1. Essai de compactage Proctor :**

Cet essai est très important pour la réalisation du chantier. Effectué en laboratoire, il permet de déterminer la teneur en eau qui donne la meilleure densité au compactage pour une énergie donnée et la densité sèche maximale correspondante (figure 12 au paragraphe 3.5.1.).

### **4.2.3.2. Autres essais de laboratoires (cas de digues importantes) :**

Dans certains cas de topographie, on peut être amené à concevoir des digues de hauteur relativement importante. En France, existent ainsi quelques bassins fermés par des digues de plus de 7 m de hauteur. Dans ce cas, il risque d'y avoir des problèmes de stabilité ou de tassement. On pratique alors les mêmes études que pour les petits barrages en terre : essais triaxiaux, oedométriques, etc. (voir document Technique des Barrages en Aménagement Rural [1]).

#### 4.2.4. Mesures de perméabilité

Ces mesures sont surtout effectuées s'il existe une nappe phréatique (dont la position est déterminée par l'étude hydrologique) à protéger ou si la perméabilité du sol en place est difficile à estimer.

La mesure de la perméabilité du sol peut être réalisée in situ ou en laboratoire.

##### 4.2.4.1. Mesures de la perméabilité in situ :

Ces essais doivent être effectués à la cote prévisible du fond des bassins ou dans les zones risquant de causer des problèmes d'étanchéité. Les essais présentés ci-après sont détaillés par Loudière et al., 1983. (Essais de perméabilité Porchet pour les études de lagunage [5]).

##### Essai PORCHET à niveau variable :

il nécessite un appareillage très sommaire et est de mise en œuvre aisée (fig. 17). Un trou cylindrique, foré à l'aide d'une tarière, est rempli d'eau afin de saturer le sol. Au cours de l'infiltration, après saturation, les variations du niveau d'eau dans le trou sont notées, en fonction du temps, et l'on écrit :

$$K = \frac{r}{2(t_2 - t_1)} \text{Log} \frac{h_1 + r/2}{h_2 + r/2}$$

avec r, h1 et h2 en mètre  
t1 et t2 en seconde

K en m/s

Log : logarithme népérien

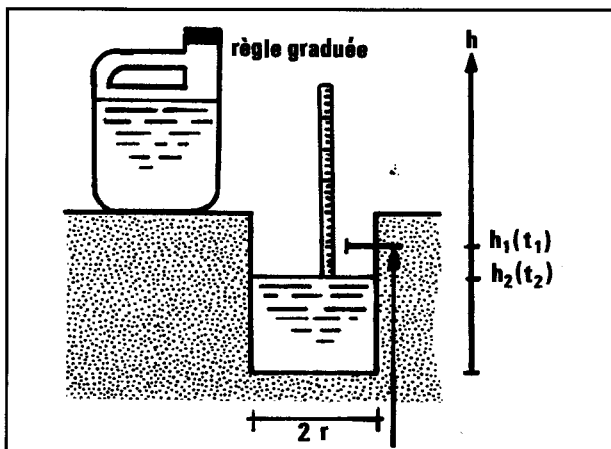


Figure 17 : Méthode "Porchet" à niveau variable.

La mesure peut être longue car elle nécessite la saturation complète du sol. De plus, pour les terrains peu perméables, le niveau d'eau varie très peu en une heure.

La valeur de la perméabilité est imprécise (mesure de la surface mouillée difficile, problème de saturation du sol, non respect des

conditions d'application de la loi de Darcy, ...), mais l'essai permet de reconnaître les matériaux peu ou pas perméables.

Cet essai peut aussi être réalisé dans les tranchées déjà creusées. La mesure est, alors, faite à plus grande échelle et le résultat est plus significatif.

##### Essai PORCHET à niveau constant :

Un dispositif adapté permet de maintenir le niveau d'eau constant dans le trou foré à la tarière, comme précédemment (fig. 18). La relation qui permet alors le calcul de la perméabilité, après saturation, est la suivante :

$$K = \frac{Q}{2\pi r \left( h + \frac{r}{2} \right)}$$

avec r, h en mètre

K en m/s, Q en m<sup>3</sup>/s

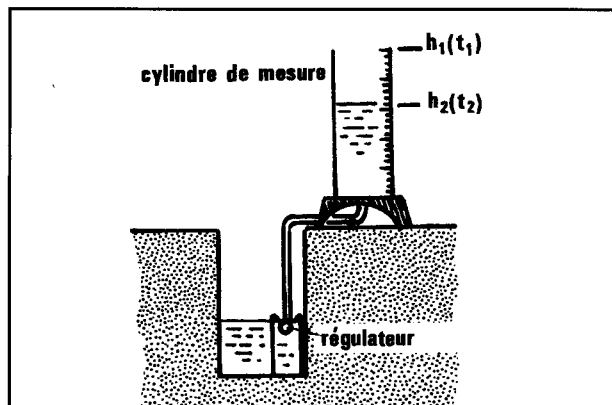


Figure 18 : Méthode "Porchet" à niveau constant.

La méthode de Porchet à niveau constant nécessite un matériel plus sophistiqué que pour l'essai à niveau variable. Mais elle donne des résultats plus précis et plus fiables.

##### Essai MUNTZ :

Cet essai, de mise en œuvre plus délicate, nécessite un dispositif comprenant essentiellement deux cylindres métalliques emboîtés, l'un de mesure au centre, l'autre de garde ou de saturation en périphérie.

Il permet de mesurer la perméabilité d'un sol par infiltration sous une faible charge d'eau maintenue constante.

En pratique, pour des mesures précises, on lui préférera l'essai Porchet à niveau constant.

##### 4.2.4.2. Essai de perméabilité en laboratoire :

La mesure de perméabilité en laboratoire se réalise dans un perméamètre sur des échantillons prélevés intacts ou sur sol remanié

compacté à une densité fixée en référence à la courbe Proctor Normal.

Les valeurs mesurées au laboratoire sont généralement différentes de celles mesurées in situ, le plus souvent inférieures d'un facteur 10 ou 100. Ce phénomène s'explique par le tassement et le lissage périphérique du sol inévitable lors du prélèvement de l'échantillon et lors de sa mise en place dans le perméamètre de laboratoire.

Cette mesure, en laboratoire, est plutôt valable pour du matériau remanié et traité par compactage. La mesure fournit, dans ce cas, une approche de la perméabilité que l'on peut espérer du matériau compacté in situ.

### **4.3. Conclusion sur les études avant réalisation du projet**

Les études géotechniques permettent de choisir, définitivement, le terrain d'implantation de la lagune et de conclure sur sa faisabilité.

Elles conduisent aux meilleurs choix pour la conception des bassins :

- cote du fond des bassins ;
- travaux d'étanchéité du fond des bassins ;
- conception et traitement des digues ;
- pente des talus ;
- raccordement de l'étanchéité digues/fond de bassins ;
- utilisation des zones d'emprunt.

Ces études permettent de repositionner le problème du faible coût d'investissement du lagunage vis à vis des travaux à effectuer.

En ce qui concerne le coût des études géotechniques elles-mêmes, en 1988 il variait de 10 000 à 15 000 F dans les cas courants ; le prix de la location d'une pelle mécanique est à ajouter.





- 
1. Ministère de l'Agriculture, 1977.  
Technique des Barrages en Aménagement Rural.  
DIRECTION DE L'ESPACE RURAL ET DE LA FÔRET, Paris, 325 p.
  
  2. Agence Financière de Bassin Seine-Normandie, CEMAGREF, groupement d'Aix-en-Provence, 1979  
Étude inter-agences : lagunage naturel et lagunage aéré.  
Procédés d'épuration des petites collectivités.  
Ministère de l'Agriculture, Ministère de l'Environnement
  
  3. CEMAGREF, groupement d'Antony, Division Qualité des Eaux, Pêche et Pisciculture.  
L'épandage des eaux usées domestiques. Études préalables de l'aptitude des sols et règles de dimensionnement des installations.  
Étude N° 50, 75 p. Septembre 1980
  
  4. CEMAGREF, groupement d'Aix-en-Provence, Division Hydraulique Générale, 1983.  
Construction de bassins de lagunage.  
Documents techniques types.
  
  5. Loudière D., Faton A., 1983  
Essais de perméabilité Porchet pour les études de lagunage.  
Bulletin de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur, N° 26-27, pp. 468-471.
  
  6. CEMAGREF, groupement de Lyon, Division Qualité des Eaux, Pêche et Pisciculture, 1985  
Ministère de l'Agriculture, Direction de l'Aménagement  
L'exploitation des lagunages naturels.  
Guide Technique à l'usage des petites collectivités  
Documentation technique. FNDAE N° 1, 68 p.
  
  7. CEMAGREF, 1987  
Filtres et drains géotextiles en génie civil  
Informations Techniques, cahier 67, N° 3, Septembre 1987
  
  8. COMITÉ FRANCAIS DES GÉOTEXTILES ET DES GÉOMEMBRANES, 1991 (à paraître)  
Étanchéité par géomembranes des ouvrages hydrauliques.



## Commune des Saintes Maries de la Mer.

### Étude géotechnique des bassins de lagunage.

#### Préambule

La présente étude a été réalisée début 1979. Les travaux d'aménagement des lagunes ont été effectués en 1979 et après 9 années de mise en service, le comportement est tout à fait satisfaisant.

Cette étude présente un cas où il a fallu réaliser l'étanchéité de certains bassins par apport d'argile extérieure au site.

#### SOMMAIRE

##### **1 – Introduction**

##### **2 – Structure des fondations des bassins**

##### **3 – Études des ballastières**

###### **3.1. Site I**

###### **3.2. Site II**

###### **3.3. Site III**

###### **3.4. Conclusions**

##### **4 – Traitement des fondations de l'emprise des bassins**

##### **5 – Conception des digues**

###### **5.1. Conception**

###### **5.2. Dimensions**

###### **5.3. Protection anti-batillage**

##### **6 – Conduite des travaux**

###### **6.1. Étapes des travaux**

###### **6.1.1. Fondations des bassins**

###### **6.1.2. Construction des digues**

###### **6.2. Recommandations pour le compactage**

###### **6.3. Contrôle des travaux et surveillance des ouvrages**

##### **7 – Conclusion**



## 1 - Introduction

Le rapport donne les conclusions de l'étude géotechnique de trois sites où pourraient être établis des bassins de lagunage pour le traitement des eaux usées domestiques de la Commune des SAINTES MARIES DE LA MER. (fig. 1)

Sur ces trois sites, des tranchées de reconnaissance à la pelle mécanique ont été creusées et des prélèvements effectués : des essais de laboratoire ont été réalisés sur certains d'entre eux.

Bien que les sites I et II aient une structure géologique plus favorable, c'est le site III qui a été choisi par délibération du Conseil Municipal. Les deux premiers sites offraient une couverture uniforme de un mètre d'argile sur du sable propre perméable. En raison de préoccupation d'intégration à l'environnement, la cote N G F de la crête des digues, voisine de + 2,00 m, n'a pu être acceptée, étant jugée trop haute pour les paysages voisins de l'agglomération. Le site

III par son éloignement n'est pas sujet à de telles restrictions.

Les sites I et II pouvant être des ballastières potentielles seront cependant étudiés dans le chapitre III.

## 2 - Structure des fondations des bassins

Le site III se présente comme une étendue plate (cotes N G F extrêmes entre + 0,40 m et - 0,20 m) couverte par endroits par des salicornes. La bordure nord est périodiquement envahie par les eaux saumâtres de l'Etang des Impériaux ; le canal qui constitue la limite sud du site met en communication cet étang avec la mer. (fig. 2 et 3)

Lors de nos reconnaissances, la limite nord du site était encore noyée et des tranchées ont dû être creusées sous l'eau.

La structure du sol de ce site peut être schématisée par le profil suivant :

— le substratum est formé partout par du sable gris pur et donc très perméable ;

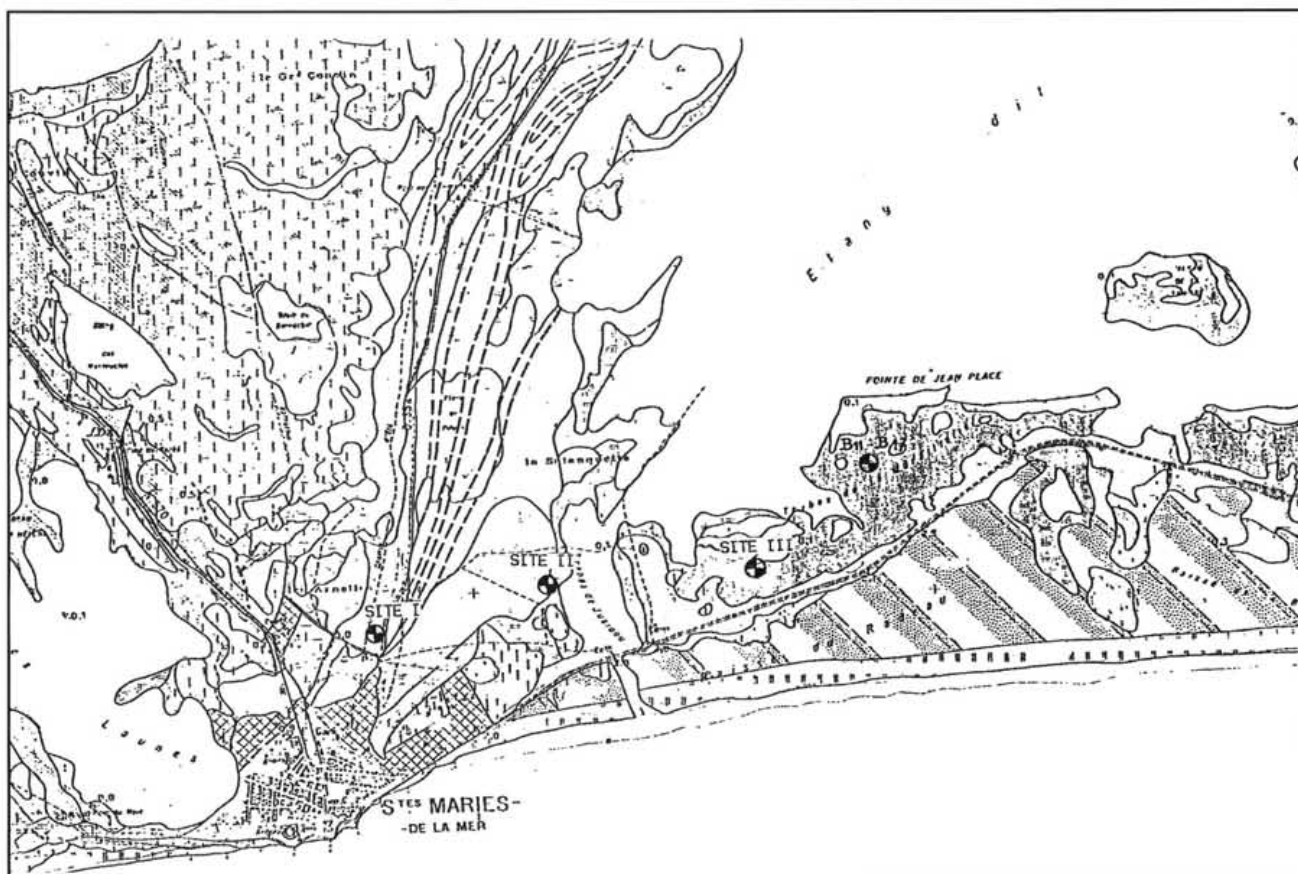


Figure 1 : Plan d'ensemble des trois sites étudiés.

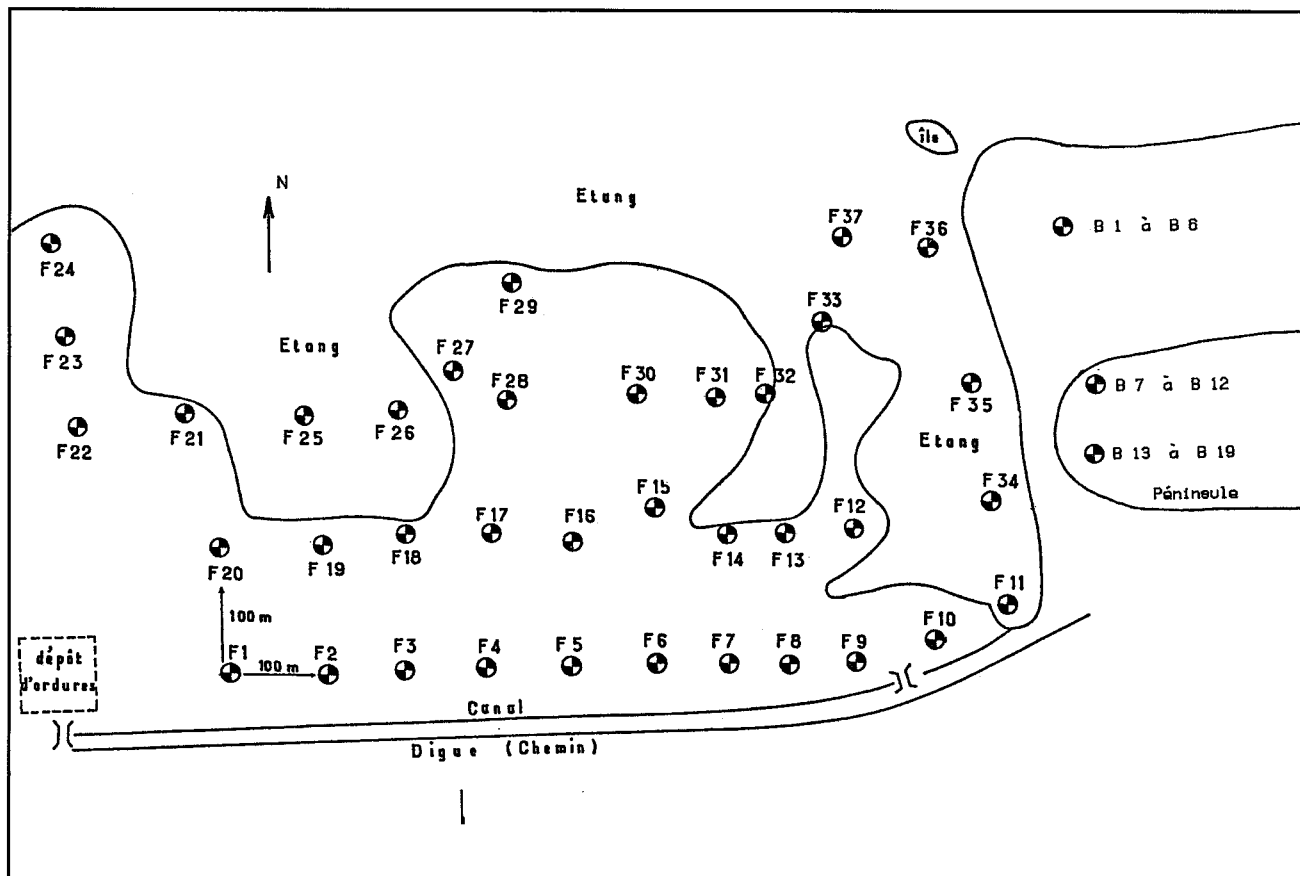


Figure 2 : Implantation schématique des tranchées de reconnaissance Site III.

F 6	0,00	Argile ferme	F 25	0,00	Argile sableuse
	0,90	Sable gris propre		1,00	Sable propre gris clair
	1,40	Idt de débris végétaux		1,40	
	1,50	Sable gris propre	F 26	0,00	Sable très argileux, compact
	1,70			0,50	Sable propre beige
				1,00	
F 7	0,00	Sable légèrement argileux beige	F 27	0,00	Sable argileux; gris
	0,40	Argile sableuse		0,20	Sable légèrement argileux gris
	0,60	Sable gris		0,80	Sable noir (matières organiques et odeur)
	1,20			1,10	Sable propre gris
F 8	0,00	Sable légèrement argileux beige		1,50	
	0,15	Argile	F 28	0,00	Argile sableuse grise
	0,55	Sable légèrement argileux gris		0,20	Sable argileux beige jaunâtre
	1,00	Sable gris		0,50	Sable légèrement argileux beige
	1,50			1,30	Sable gris sombre
F 9	0,00	Argile molle grise		1,50	
	0,70	Argile sableuse grise (prélibrement)	F 29	0,00	Sable légèrement argileux beige jaunâtre
	0,85	Sable argileux gris		0,80	Argile sableuse, très molle, gris bleuté
	1,00	Sable légèrement argileux, gris beige		1,60	Sable propre gris
	1,30			1,80	
F 10	0,00	Argile et quelques coquilles dispersées (prélibrement)	F 30	0,00	Argile grise
	1,00	Sable beige		0,70	Sable, légèrement argileux, gris
	1,50			1,60	Sable propre gris
F 11	0,00	Sable argileux jaunâtre		1,80	
	0,30	Sable argileux noir			
	0,60	sable gris sombre			
	1,20				

Figure 3 : Description des tranchées de reconnaissance (extrait).

— une couverture de 0,70 à 1 m d'épaisseur environ est constituée de différents matériaux :

- des argiles silteuses gris beige, légèrement sableuses ;
- des sables purs ou légèrement argileux, jaunes.

L'argile grise est homogène et ressemble beaucoup à celle trouvée aux sites I et II. Sa consistance est le plus souvent ferme, mais elle devient très molle par place. Elle est recoupée par quelques racines et trous de vers. Elle forme trois recouvrements triangulaires orientés N-S et dont la base est sous la digue à la mer. Entre chaque triangle s'étend le sable jaune perméable. Même compacté, ce sable ne peut former le fond étanche des bassins. Sa compacité est relativement bonne.

Le sable gris du substratum est un sable moyen bien classé. Il contient par endroits un lit de débris végétaux ; le plus souvent de fortes odeurs indiquent la présence de matières organiques dispersées. Sa compacité semble moyenne ; pourtant les parois des tranchées se sont éboulées instantanément par l'action des sous-pressions. Il est à craindre que de légers

tassements, de l'ordre de 0,20 m ne se produisent sous des digues de 2 mètres de haut.

Les niveaux d'eau relevés dans chaque tranchée correspondent à celui du niveau de l'étang. Il s'est écoulé peu de temps entre le creusement et le remplissage de la tranchée par l'eau, ce qui montre que le sable gris du substratum a une vitesse de filtration élevée.

### 3 - Étude des ballastières

#### 3.1. Site I

En surface de tout ce site, il existe des matériaux argileux dont les caractéristiques sont présentées (fig. 4). Leur épaisseur est variable mais jamais inférieure à 0,50 m. Si cette ballastière était retenue pour l'exploitation des argiles, nous disposerions là d'un volume important de bons matériaux, mais dont la teneur en eau devrait être bien maîtrisée, tout au moins dans la partie supérieure de la couche.

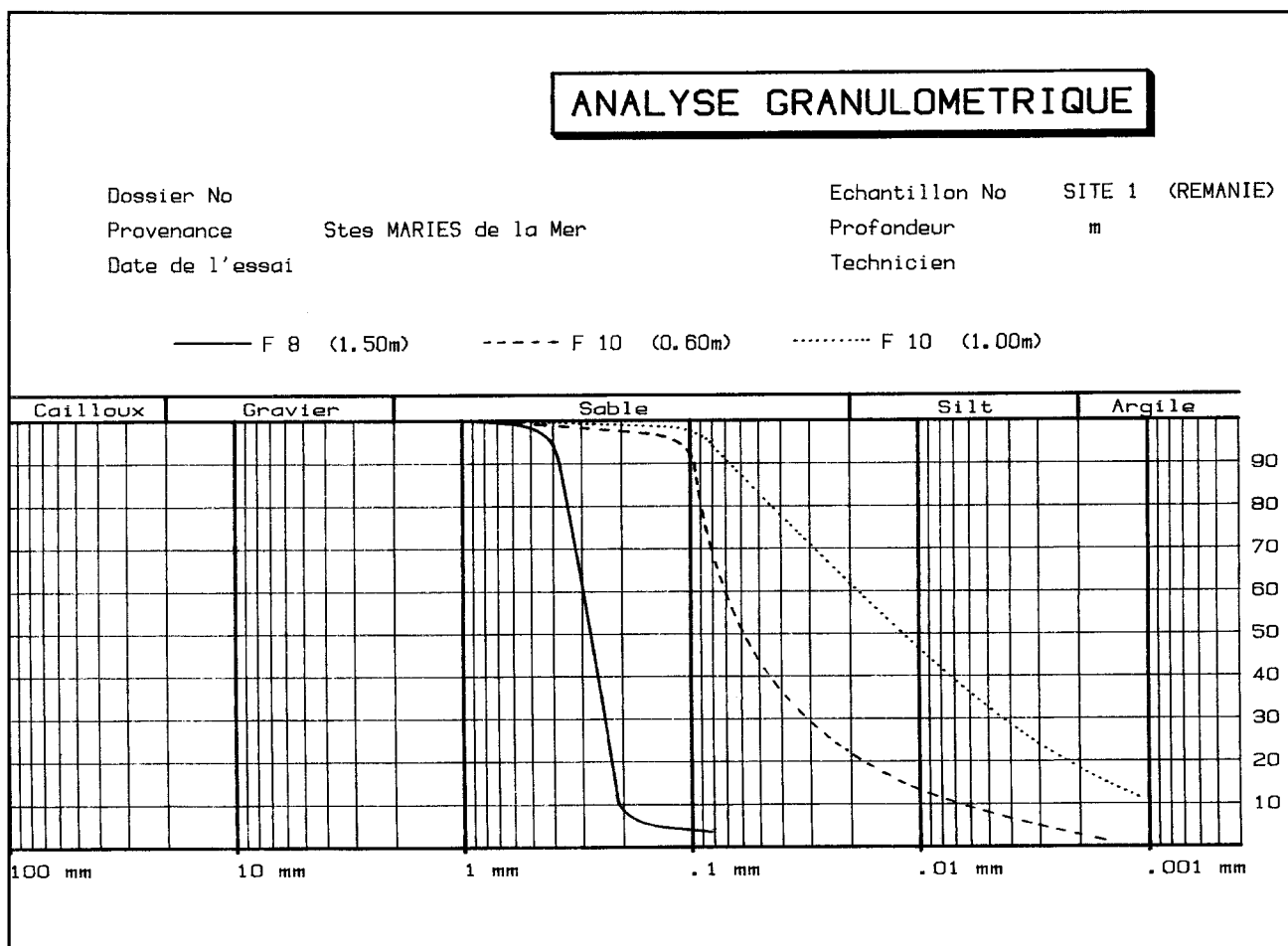


Figure 4 : Courbes granulométriques des sols du site I.



### 3.2. Site II

La structure est identique à celle déjà trouvée au site I, mais le niveau topographique du sol est légèrement supérieur, ce qui conduit à une argile moins humide et des conditions d'extraction meilleures. Les essais de laboratoire démontrent une bonne homogénéité de l'argile de la couche superficielle. Ce site offre l'avantage d'être assez proche du site III.

### 3.3. Ballastières du site III

On ne pourra pas utiliser l'argile des trois triangles trouvés dans les fondations du site III, car son épaisseur de 0,70 m est juste suffisante pour assurer l'étanchéité.

a) Péninsule F22 - F23 - F24, au nord du dépôt d'ordures : située à l'extrémité N-W du site, cette péninsule est constituée par un même matériau, homogène, qui recouvre le sable gris propre du substratum. C'est un sable légèrement argileux jaune. Ce sable a un pourcentage de fines compris entre 11 et 18 % (fig. 5 et 6).

Celui-ci n'est pas suffisant pour conférer à ce matériau le caractère étanche, mais la perméabilité mesurée étant de  $K = 3,5 \cdot 10^{-6}$  m/s, ce matériau peut éventuellement servir pour construire des digues semi-imperméables (par exemple certaines digues internes du lagunage, sous certaines réserves).

L'essai Proctor Normal fournit les valeurs suivantes à l'Optimum : (fig. 7)

- densité sèche = 1,68
- teneur en eau = 12,5 %

b) Ballastière de la péninsule Est : B 10 à B 19 :

On y trouve en surface, sur une épaisseur relativement constante voisine de 1 m, une argile brune très sableuse, ferme et compacte. Le gisement s'étend au moins sur 12 hectares, ce qui représente un volume de 120 000 m<sup>3</sup> environ.

Lors de notre reconnaissance la nappe phréatique était haute et les tranchées se sont très vite emplies d'eau (chaque tranchée ayant touché le sable gris propre très perméable). L'exploitation devra être faite en saison sèche.

<i>Stes MARIES de la Mer</i> SITE III														
Numero du sondage	F 1	F 2	F 3	F 4	F 5	F 5	F 18	F 21	F 22	F 23	B 7	B 8	B 10	
Prelevement Intact ou Remanié	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	
Profondeur du prelevement (m)	0.70	0.90	0.50	0.40	0.40	1.00	0.20 à 0.90	0.50	0.50					
Teneur en eau naturelle (%)	30.5	28.5	28.0	25.0	26.0	23.0	30.0	22.5	18.0	20.5	18.0	17.0	18.5	
% matières organiques < 0.080 mm														
Granulométrie	% argile D < 0.002 mm					9		7	2		22	22	22	
	% eilt 0.002 < D < 0.020 mm					12	20	9	8	12	47	50	48	
	% sable 0.020 < D < 0.400 mm						85	80	84	90	88	31	28	30
		0.400 < D < 2 mm												
	% gravier 2 < D < 5 mm													
		5 < D < 20 mm												
% cailloux 20 < D < 200 mm														
Maese volumique < 5 mm														
Limites d'Atterberg	Limite de liquidite											43		
	Limite de plasticite											29		
	Indice de plasticite											14		
Equivalent de sable														
Proctor normal	Densite seche max.								1.68			1.75		
	Teneur en eau opt. (%)								12.5			15.5		
Perméabilité	Perméabilite (m/s)						$5.0 \cdot 10^{-6}$		$3.5 \cdot 10^{-6}$			$5.0 \cdot 10^{-10}$		
	Densite seche													
Essais mecaniques réalisées														

Figure 5 : Tableau récapitulatif des essais d'identification.

## ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Dossier No

Echantillon No F 22 ( SITE 3 )

Provenance Stes MARIES de la Mer

Profondeur 0,50 m

Date de l'essai

Technicien

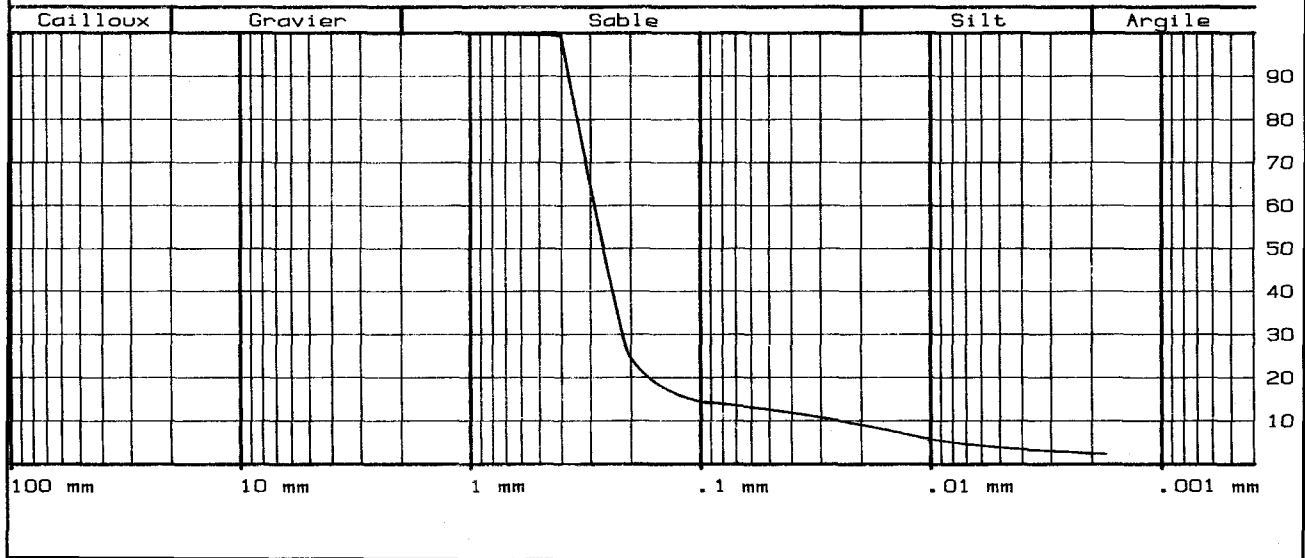


Figure 6 : Courbes granulométriques du sable argileux jaune des ballastières du site III.

A cette condition, cette argile sableuse semble parfaitement convenir pour constituer tous les organes étanches des bassins et des digues.

c) Fond des étangs des Impériaux.

On rencontre sur 30 cm d'épaisseur un mélange de sable, de vase argileuse et de nombreux débris de coquilles. Ce matériau est peu compact et contient des matières organiques. Pour son emploi, deux problèmes essentiels se posent : d'une part la difficulté de prélèvement, car un tri doit être fait, les caractéristiques variant rapidement d'un point à l'autre ; d'autre part la difficulté d'obtenir un bon compactage à cause de la teneur en eau naturelle et des matières organiques. Pour ces deux raisons, cette ballastière ne peut convenir.

Remarque : L'exploitation de ces ballastières devra être précédée d'un décapage soigneux ayant pour but d'enlever toute trace de végétation, de matières organiques ou de parties trop molles.

### 3.4. Conclusions

Trois ballastières d'argile au moins sont à notre disposition. Il s'avère que la plus proche du site III, celle qui ne pose aucun problème d'acquisition et offre une bonne qualité d'argile, est la ballastière B 10 à B 19 de la péninsule Est ; nous recommandons son utilisation.

### 4 - Traitement des fondations de l'emprise des bassins

L'emprise des bassins et des digues sera l'objet des travaux successifs suivants : (fig. 8 et 9)

— couper la végétation au ras du sol (on laissera intact le relief du terrain naturel, à l'exception de l'extrémité Ouest que l'on pourra ramener de 0,40 à + 0,30 N G - F),

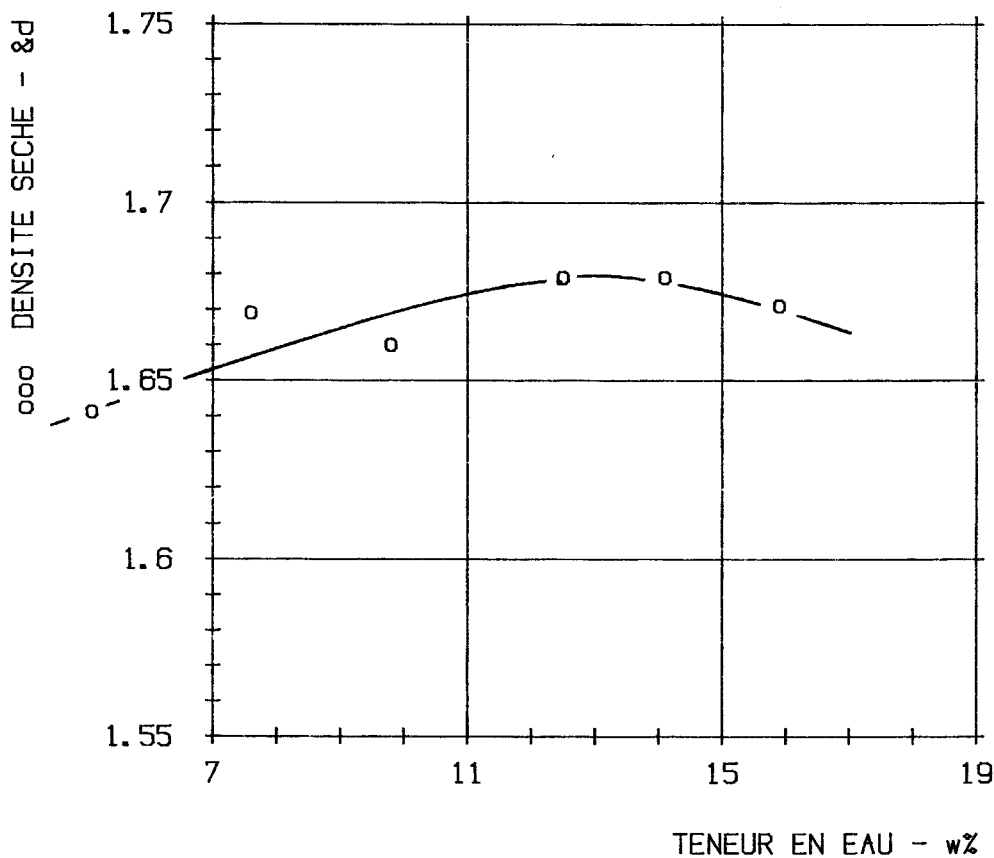
# ESSAI DE COMPACTAGE

Dossier No Provenance      Stes MARIES de la Mer Date de prelev.	Echantillon No      F21+F22+F23 Profondeur Date de l'essai
--	--

ESSAI PROCTOR NORMAL effectuée dans un moule PROCTOR

% des éléments du sol <mm % des fines Temperature laboratoire	Teneur en eau naturelle Limites d'Atterberg WL=    % WP=    % Masse volumique des grains
---	--

TENEUR EN EAU OPTIMALE    12.5 %    |    DENSITE SECHE MAXIMALE    1.68



Technicien :

Figure 7 : Essai sur le sable argileux jaune des ballastières du site III.

— décaper les restes de végétations, les poches molles ou contenant des matières organiques sous l'emprise des futures digues ; ceci uniquement dans les trois triangles argileux déjà définis,

— dans les zones sableuses (entre les trois triangles argileux) extraire le sable légèrement argileux sur 50 cm de profondeur. Ce sable sera utilisé ultérieurement lors de la constitution des digues externes des bassins,

— remplacer ces 50 cm de sable par 50 cm d'argile mise en place en deux couches,

— scarifier puis compacter toute l'emprise du projet (y compris sous l'emplacement des futures digues).

Il est évident que pour réaliser tous ces travaux, il est absolument nécessaire d'abaisser le niveau de la nappe phréatique sous le site. L'entrepreneur pourra réaliser une telle opération grâce à un canal ceinturant tout le site où l'eau sera pompée en continu. Ce rabattement doit être facilité par des fossés de drainage à l'intérieur du site. Il faut absolument contrôler, grâce à quelques tranchées-piezomètres éloignées des fossés, si le rabattement est correctement réalisé pendant toute la durée des travaux. Il faut remarquer que la présence de ces fossés risque de gêner l'édification des digues et la circulation des engins de compactage.

## 5 - Conception des digues

### 5.1. Conception (fig. 8 et 9)

Deux types de digues seront édifiés :

— les digues extérieures aux lagunes qui doivent être suffisamment étanches : le corps de ces digues sera réalisé avec le sable pur extrait des fondations des bassins sur lequel on viendra compacter côté amont un tapis d'argile de 0,60 m d'épaisseur (pente des parements : 3/1) ;

— les digues de séparation entre deux bassins seront construites avec du sable légèrement argileux prélevé dans la péninsule ouest: F22 - F24.

### 5.2. Dimensions

Les dimensions de ces digues sont les suivantes :

Longueur : digue externe	Nord	: 1 050 m
	Sud	: 1 050 m
digue interne	Nord	: 950 m
	Sud	: 850 m
TOTAL :		3 900 m

La largeur en crête de la digue sera de 4 m pour permettre la circulation des engins.

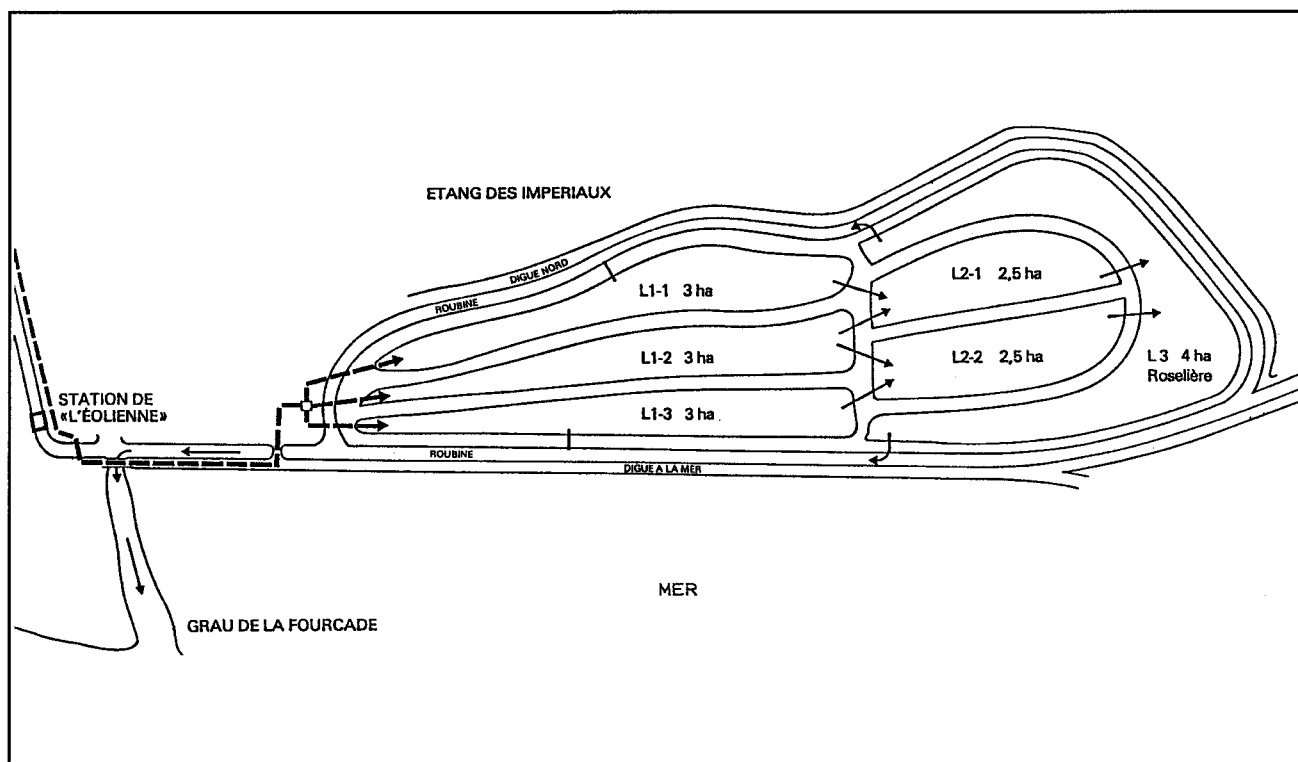


Figure 8 : Schéma d'implantation des bassins.

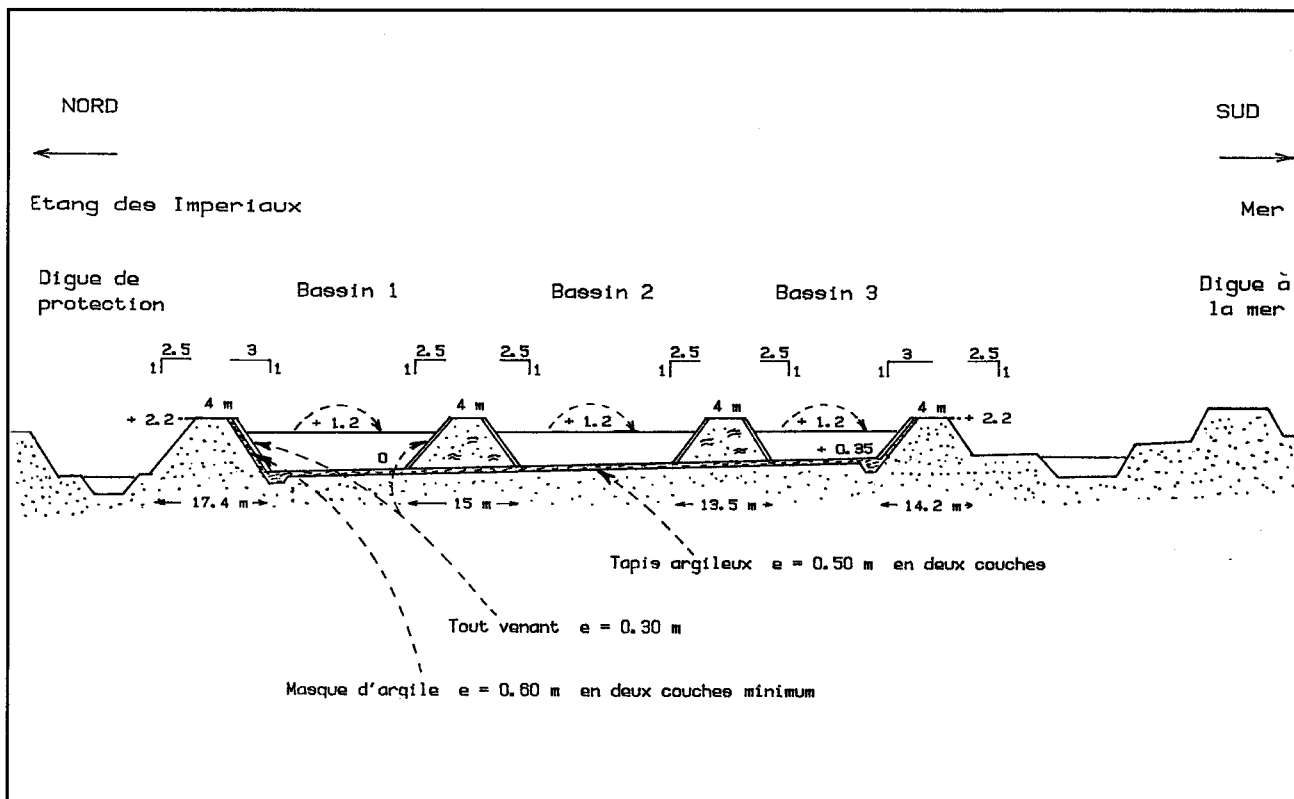


Figure 9 : Coupe schématique à travers les bassins site III.

La pente des parements sera de 2,5/1 pour les parements non revêtus d'un tapis d'argile et de 3/1 pour ces derniers.

La côte N G F du niveau normal de l'eau sera fixée à + 1,20 m.

La revanche sera donc de 1 mètre.

Comme la cote du terrain naturel varie de + 0,30 à l'ouest à - 0,10 m à l'est, la profondeur d'eau dans les bassins sera comprise entre 0,90 m et 1,30 m.

Les volumes des digues seront les suivants :

- digues extérieures : 45 000 m<sup>3</sup> dont (7 000 m<sup>3</sup> d'argile, 38 000 m<sup>3</sup> de sable).
- digues internes : 39 000 m<sup>3</sup> de sable légèrement argileux du type F22 - F24.

Nous rappelons que le volume des matériaux à transporter représente 1,5 fois le volume des matériaux compactés des digues. Il faudra apporter tous les soins nécessaires au bon compactage des matériaux.

L'évacuation par pompage des eaux dans le fond des bassins ne posera pas de problèmes puisque l'on conservera à la fin des travaux la topographie actuelle : la pente transversale dans chaque bassin est dirigée vers le nord, donc vers la digue suivante et la pente longitudinale est régulièrement dirigée vers l'est. Tout écoulement sur le fond des bassins doit donc se

diriger vers le N. E. de chaque bassin où il pourra être pompé.

Il est à noter par ailleurs que les deux digues internes n'étant pas parfaitement étanches ( $K = 3,5 \cdot 10^{-6}$  m/s), si le bassin 1 est vide et si les bassins 2 et 3 sont pleins, les débits de fuite seront environ les suivants :

Bassin 2 vers bassin 1	: 32 m <sup>3</sup> /jour
Bassin 3 vers bassin 1	: 23 m <sup>3</sup> /jour
total	: 55 m <sup>3</sup> /jour.

L'arrivée d'eau dans l'un des bassins pourra être éliminée par pompage lors de travaux éventuels sur celui-ci.

### 5.3. La protection antibatillage

Le sens de la plus grande longueur des bassins est perpendiculaire à celui des vents dominants. Une protection antibatillage est cependant nécessaire compte tenu de vents forts fréquents dans la région. Elle sera constituée d'un tout-venant de 0,30 m d'épaisseur placé sur les parements au contact de l'eau.

Par ailleurs, pour toutes les digues externes presque uniquement constituées de sable, l'érosion éolienne est à redouter. On risque dès la première année de retrouver une partie du sable emportée dans les bassins. Aussi doit-on planter dès la fin de la construction une végé-

tation qui pousse vite et dont le système racinaire stabilisera le talus extérieur.

Ultérieurement (en cours d'exploitation des bassins), on risque d'avoir à protéger par des petits enrochements les points les plus sensibles, et il faudra prévoir au marché une réserve pour mise en place d'enrochements.

## **6 - Conduite des travaux**

La réalisation de l'étanchéité des bassins se fera en même temps que la construction des digues à cause de l'utilisation dans les deux digues externes du sable des fondations. Ceci conduira à une meilleure organisation du chantier et donc à une meilleure qualité des travaux. S'il fallait absolument envisager plusieurs tranches de travaux la construction de la digue externe nord, donc du bassin n° 2 pourrait éventuellement être retardée.

### **6.1. Étapes des travaux**

#### **6.1.1. Fondations des bassins**

— Rabattre la nappe phréatique sous tout le site à la cote - 0,60 m N G F (cote extrême des fondations de la digue externe nord). Le procédé devra être défini par l'entrepreneur, et son efficacité devra être contrôlée ;

— couper, sur tout le site, la végétation, au ras du sol ;

— piqueter l'axe des digues ainsi que les limites des trois triangles où les fondations sont argileuses (visite de contrôle du géologue souhaitable). Il sera bon d'implanter sur ces limites les fossés de drainage reliés au collecteur de ceinture ;

— extraire le sable là où les fondations sont sableuses ; cela sera pratiqué régulièrement sur 50 cm d'épaisseur et le sable servira à construire les digues externes ;

— décaper sur 20 cm l'emprise de quatre digues afin de les débarrasser des débris végétaux ;

— remblayer le gisement de sable en cours ou après son exploitation. Ce remblaiement sera fait avec l'argile soit du site II, soit du gisement B 10 - B 19, étalée en deux couches de 30 cm d'épaisseur, chacune compactée à l'Optimum Proctor de ces matériaux (essais en cours) (voir les recommandations qui suivent sur le compactage) ;

— scarifier et compacter la surface des 3 triangles où les fondations des bassins sont argileuses ;

— reboucher les fossés drainants creusés dans le terrain naturel et reliés au canal de ceinture.

#### **6.1.2. Construction des digues**

Elles seront édifiées par couches horizontales de 30 cm d'épaisseur et compactées aux valeurs de l'Optimum Proctor trouvées pour le sable F 22 - F 24.

Le masque étanche en argile qui sera construit sur le parement amont des deux digues externes sera raccordé à la couche d'argile compactée du fond des bassins. Ce raccord se fera au pied du parement par l'intermédiaire d'une tranchée d'ancrage creusée sur 50 cm. La longueur moyenne du parement est de 6,6 m et l'argile sera étalée en 3 couches ayant une pente de 3/1, de 20 cm d'épaisseur chacune compactée au rouleau à pied dameur.

### **6.2. Recommandations pour le compactage**

Celui-ci doit se faire :

— sur des couches régulières de 30 cm d'épaisseur (non compactées),

— sur des couches horizontales (exception pour les parements amonts des 2 digues externes qui sont à 3/1).

Pour les tapis argileux à 3/1, on veillera à ce que le compacteur se déplace sur le rampant et sur la crête.

La teneur en eau du matériau doit être voisine de celle de l'Optimum Proctor Normal.

La densité sèche après compactage sera au moins égale à 97 % de la densité de l'Optimum Proctor Normal.

L'engin de compactage doit être un rouleau à pieds dameurs pour les argiles et peut être un rouleau vibrant ou un compacteur à pneus pour les digues en sable. Le compacteur à pneus peut aussi convenir pour les argiles, mais sur la digue, il faudra alors scarifier la couche compactée avant mise en place de la suivante.

Un nombre de passes suffisant sera effectué en chaque point. Ce nombre sera déterminé grâce à des planches d'essais faites en début de chantier.

### **6.3. Contrôle des travaux et surveillance des ouvrages**

Compte tenu des difficultés de ce chantier (éloignement et hétérogénéité des gisements de matériaux, présence de la nappe phréatique voisine du sol), le contrôle des travaux doit être très correctement et très assidûment assuré si l'on veut obtenir les résultats escomptés pour l'étanchéité des bassins de lagunage. Le contrôle comportera les opérations suivantes :

— réception du fond des bassins et du décapage des fondations de digues (nettoyage de la végétation, implantation des fossés de drainage, curage des poches trop molles). La visite du géologue serait souhaitable ;

— surveillance de l'efficacité du pompage sur le rabattement de la nappe phréatique. Des mesures périodiques du niveau d'eau dans quelques tranchées - piézomètres seraient souhaitables ;

— surveillance de l'extraction du sable. L'épaisseur de 50 cm sera maintenue constante. On veillera à ce que les limites des 3 triangles où la couverture argileuse existe, soient bien atteintes ;

— surveillance du remblaiement de ce gisement de sable avec de l'argile compactée en deux couches, aux normes Proctor (à fournir ultérieurement) ;

— un contrôle de compactage devra être fait tous les 1 000 m<sup>3</sup> de matériaux mis en place ;

— contrôle du compactage des digues en sable ;

— contrôle du compactage des masques amonts des digues externes et de leur raccord avec l'argile du fond des bassins ;

— contrôle de la plantation de la végétation contre l'érosion.

Après un an, les digues devront être relevées topographiquement. Aux endroits où des tassements importants auront eu lieu, on maintiendra une revanche constante par un apport de matériaux compactés en crête de digue.

## **7 - Conclusion**

Les études, dont les résultats sont présentés dans ce rapport, ont permis de délimiter les zones du site III où l'étanchéité doit être améliorée.

Ce traitement, ainsi que la construction des digues pourront être faits avec des matériaux locaux, soit extraits du site, soit transportés sur peu de distance. Leur mise en place nécessitera pourtant des précautions, en particulier les conditions de compactage devront être bien respectées.

## Liste des sigles

CCTG	: Cahier des Clauses Techniques Générales
CCTP	: Cahier des Clauses Techniques Particulières
CEMAGREF	: Centre National du Machinisme Agricole, du Génie Rural, des Eaux et des Forêts
DDAF	: Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt
ENITRTS	: École Nationale des Ingénieurs des Travaux Ruraux et des Techniques Sanitaires
SATESE	: Service d'Assistance Technique aux Exploitants de Stations d'Épuration

## Adresses des organismes

- Centre National du Machinisme Agricole du Génie Rural des Eaux et des Forêts (CEMAGREF)  
Direction Générale  
Parc de Tourvoie  
92160 Antony  
Téléphone : (1) 40.96.61.21.  
Télex : 204 565 F
- Comité Français des Géotextiles et des Géomembranes  
c/o ITF Lyon  
BP 60  
69132 Écully Cedex  
Téléphone : 78.33.34.55.  
Télex : 330 316 F  
Télécopie : 78. 43.39.66.
- École Nationale des Ingénieurs des Travaux Ruraux et des Techniques Sanitaires  
1, quai Koch - BP 1039  
67070 Strasbourg Cedex  
Téléphone : 88.35.67.72.  
Télex : 890 942 F  
Télécopie : 88.37.04.97.



## LISTE DES DOCUMENTS TECHNIQUES F.N.D.A.E.

n° 1 – L'exploitation des lagunages naturels	1985	disponible
n° 2 – Définition des caractéristiques techniques de fonctionnement et domaine d'emploi des appareils de désinfection	1986	en réimpression
n° 3 – Manuel pratique pour le renforcement de l'étanchéité des réservoirs d'eau potable	1986	disponible
n° 4 – Plan de secours pour l'alimentation en eau potable	1986	disponible
n° 5 – Les stations d'épuration adaptées aux petites collectivités	1986	disponible
n° 6 – Les bassins d'orage sur les réseaux d'assainissement	1988	disponible
n° 7 – Le Génie Civil des Bassins de lagunage naturel	1990	disponible
n° 8 – Guide technique sur le foisonnement des boues activées	1990	disponible
n° 9 – Les systèmes de traitement des boues des petites collectivités	1990	disponible
n° 10 – Élimination de l'azote dans les stations d'épuration biologique des petites collectivités	1990	disponible

### DOCUMENTS HORS-SÉRIE

– La gestion des Services d'eau potable Guide à l'usage des maires des communes rurales	1987	disponible
– Situation de l'alimentation en eau potable des communes rurales en 1985	1987	disponible

L'ensemble de ces documents est disponible au Ministère de l'Agriculture et de la Forêt – Bureau des Infrastructures Rurales – 19 Avenue du Maine, 75032 Paris Cedex 15 – Tél : (1) 49.55.54.83.

Par ailleurs, les documents portant les numéros 7 – 8 – 9 – 10 peuvent être commandés au CEMAGREF – DICOVA – BP 22, 92162 Antony Cedex – Tél : (1) 40.96.61.32.

# Les "ÉTUDES" du CEMAGREF

## Série : Ressources en eau

- N° 1 Potentiel d'électrode de platine en épuration biologique  
1990, 17 x 24, broché - 164 pages, 72 illustrations noir et blanc - Prix : 200 F
- N° 2 Le phosphore et l'azote dans les sédiments du fleuve Charente : variations saisonnières et mobilité potentielle  
1990, 17 x 24, broché - 228 pages, illustrations noir et blanc - Prix : 250 F

## Série : Hydraulique agricole

- N° 1 Etude de la qualité des eaux de drainage . Diagnostic de risque de lessivage d'azote en fin de campagne culturale . La tranchée de drainage . Une nouvelle expression de la hauteur équivalente . A propos des coefficients de forme de la nappe libre drainée  
1986, 21 x 29,7 - 182 pages - Prix : 200 F
- N° 2 Hydraulique au voisinage du drain. Méthodologie et premiers résultats. Application au diagnostic du colmatage minéral des drains  
1987, 21 x 29,7 - 220 pages - Prix : 200 F
- N° 3 Secteurs de références drainage. Recueil des expérimentations  
1988, classeur 20 x 26 - 92 fiches, 106 illustrations noir et blanc - Prix : 150 F
- N° 4 Fonctionnement hydrologique et hydraulique du drainage souterrain des sols temporairement engorgés : débits de pointe et modèle SIDRA  
1989, 17 x 24, broché - 334 pages, 98 illustrations noir et blanc - Prix : 250 F
- N° 5 Transferts hydriques en sols drainés par tuyaux enterrés. Compréhension des débits de pointe et essai de typologie des schémas d'écoulement  
1989, 17 x 24, broché - 322 pages, 117 illustrations noir et blanc - Prix : 250 F
- N° 6 Réseaux collectifs d'irrigation ramifiée sous pression. Calcul et fonctionnement  
1989, 17 x 24, broché - 1989, 17 x 24, broché - Prix : 150 F
- N° 7 Géologie des barrages et des retenues de petites dimensions  
1990, 17 x 24, broché - 144 pages, illustrations noir et blanc - Prix : 200 F

## Série : Equipement des IAA

- N° 1 Carbonisateur à pailles et herbes pour les pays en développement  
1990, 17 x 24, broché - 56 pages, illustrations noir et blanc - Prix : 100 F

## Série : Forêt

- N° 1 Annales 1988  
1989, 17 x 24, broché - 126 pages, 30 dessins et photos noir et blanc - Prix : 150 F
- N° 2 Le Massif Central Cristallin Analyse du milieu - Choix des essences  
1989, 17 x 24, broché - 104 pages, 14 illustrations noir et blanc - Prix : 150 F
- N° 3 Les stations forestières du pays d'Othe  
1990, 17 x 24, broché - 174 pages, 45 illustrations noir et blanc - Prix : 150 F

