



lagunage naturel et lagunage aéré

procédés d'épuration des petites collectivités

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT
ET DU CADRE DE VIE



AGENCE DE BASSIN LOIRE-BRETAGNE

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

CENTRE TECHNIQUE DU GENIE
RURAL DES EAUX ET FORETS

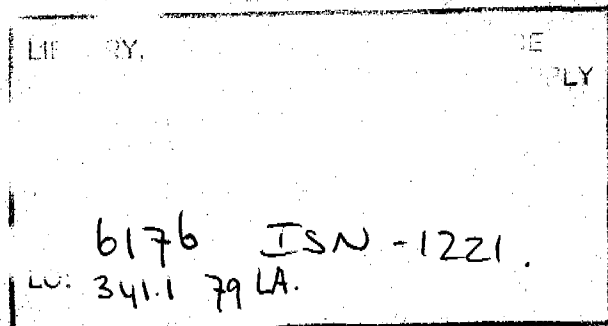
Division Qualité des Eaux,
Pêche et Pisciculture

Section Génie Rural

Groupement

341.1-79LA-1221

Etude inter-agences



lagunage naturel et lagunage aéré

procédés d'épuration des petites collectivités

**MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT
ET DU CADRE DE VIE**



AGENCE DE BASSIN LOIRE-BRETAGNE

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

**CENTRE TECHNIQUE DU GÉNIE
RURAL DES EAUX ET FORETS**
Division Qualité des Eaux,
Pêche et Pisciculture

Section Génie Rural
Groupement d'AIX-EN-PROVENCE

JUIN 1979

LAGUNAGE NATUREL ET LAGUNAGE AÉRÉ PROCÉDÉS D'ÉPURATION DES PETITES COLLECTIVITÉS

SOMMAIRE

INTRODUCTION

CHAPITRE I

Pages

L'ÉPURATION DES EFFLUENTS DES PETITES COLLECTIVITÉS CARACTÉRISTIQUES DES EFFLUENTS - EFFETS DES REJETS SUR LES MILIEUX RÉCEPTEURS - PROCÉDÉS D'ÉPURATION

CARACTÉRISTIQUES DES EAUX RÉSIDUAIRES ISSUES DES PETITES COLLECTIVITÉS	1
Origine et composition des eaux usées domestiques	1
Paramètres définissant la pollution des eaux usées domestiques	2
Données de base du dimensionnement des stations d'épuration	3
EFFETS D'UN REJET D'EAUX USÉES SUR LES MILIEUX RÉCEPTEURS - DÉTERMINATION DU DEGRÉ D'ÉPURATION PRÉALABLE	5
Rejet dans le sol	6
Rejet dans les eaux douces superficielles	6
Rejet dans le milieu marin	10
PROCÉDÉS D'ÉPURATION APPLICABLES AUX PETITES COLLECTIVITÉS	11
Paramètres essentiels pour le choix d'une technologie	12
Examen des procédés d'épuration	13

CHAPITRE II

L'ÉPURATION DES EAUX USÉES PAR LAGUNAGE PRINCIPE DE L'ÉPURATION BIOLOGIQUE, LAGUNAGE NATUREL, LAGUNAGE AÉRÉ

PRINCIPE DE L'ÉPURATION BIOLOGIQUE - LES ORGANISMES VIVANTS ET LEUR RÔLE DANS L'ÉPURATION	17
Présentation générale de l'édifice biologique aquatique et son rôle dans l'épuration	17
Les principaux organismes vivants, constituants des peuplements	18
Les germes pathogènes et les germes-test de contamination fécale	24
Les mécanismes d'épuration	24
APPLICATION AU LAGUNAGE NATUREL	29
Terminologie	29
Les performances de lagunage naturel	30
Conception des lagunes	34

APPLICATION AU LAGUNAGE AÉRÉ	38
Terminologie	38
Performances - Considérations théoriques	38
Dimensionnement des ouvrages et équipements	40
Domaine d'utilisation - Eléments du choix d'un lagunage aéré	42

CHAPITRE III

MISE EN OEUVRE DU LAGUNAGE

ETUDES PRÉALABLES	45
Topographie	45
Reconnaissance des terrains	46
Essais de laboratoire	49
GÉNIE CIVIL	51
Conception du projet	51
Réalisation des travaux	58
Contrôle du chantier	59
OUVRAGES ANNEXES DE GÉNIE CIVIL	60
Equipements classiques des stations d'épuration	60
Equipements spécifiques des lagunes	62

CHAPITRE IV

L'EXPLOITATION DES LAGUNES

SURVEILLANCE DES EQUIPEMENTS MÉCANIQUES ET ELECTROMÉCANIQUES	67
ENTRETIEN DES LAGUNES	68
Elimination des flottants	68
Entretien des digues	68
ENTRETIEN DES LAGUNES A MACROPHYTES	68
CURAGE DES BASSINS - ELIMINATION DES BOUES	70

CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE

PREFACE

Qu'il s'agisse de maintenir les populations dans les petites collectivités ou de développer les capacités d'accueil des communes touristiques, il est indispensable d'offrir aux habitants des zones rurales des conditions de vie qui correspondent au niveau économique et social de la Nation.

L'alimentation en eau potable pratiquement réalisée partout répond à ce besoin. La tâche que nous devons assurer maintenant consiste à évacuer et à traiter les eaux résiduaires dans les meilleures conditions. Mais l'objectif va au-delà de la satisfaction des besoins immédiats des habitants puisqu'il prend en compte la nécessaire protection des milieux naturels.

Les solutions techniques et financières élaborées pour l'assainissement des villes ne sont pas directement transposables aux petites collectivités locales.

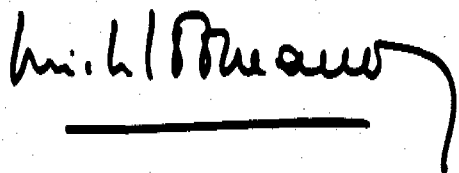
Il était donc opportun que nos administrations entreprennent une réflexion sur les caractères spécifiques de l'épuration des eaux usées des petites collectivités et présentent les procédés qui paraissent apporter des solutions adaptées aux problèmes rencontrés.

Le présent document, rédigé en commun par l'Agence de bassin Loire-Bretagne et le Centre Technique du Génie Rural, des Eaux et des Forêts, avec le concours de nombreux techniciens compétents, concrétise la collaboration quotidienne des services de nos départements ministériels.

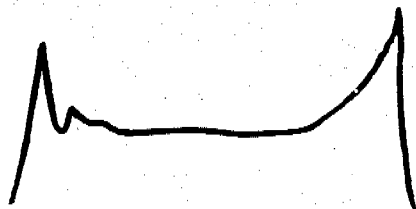
Les solutions qu'il expose présentent l'intérêt de concilier une technique fiable, et une exploitation simplifiée, avec un coût acceptable pour les petites communes et une intégration harmonieuse dans les paysages ruraux. Elles font appel à l'intelligence et au bon sens des techniciens et des élus qui ont la volonté de tirer le meilleur parti de leurs ressources financières limitées.

En effet, ce document, destiné aux techniciens qui ont pour mission de conseiller les élus, reste accessible, pour l'essentiel, aux non spécialistes de l'épuration des eaux usées.

Cet effort de simplicité et de clarté ne manquera pas d'être apprécié par les maires des petites communes. Il méritait d'être souligné.



MICHEL D'ORNANO
MINISTRE DE L'ENVIRONNEMENT
ET DU CADRE DE VIE



PIERRE MEHAIGNERIE
MINISTRE DE L'AGRICULTURE

INTRODUCTION

La desserte en eau potable permet aux habitants des petites collectivités l'utilisation des équipements ménagers et sanitaires modernes autrefois réservés aux populations urbaines les plus favorisées. Mais l'accroissement des consommations d'eau étroitement lié à la progression du niveau de vie a pour conséquence une production d'eaux usées dont il convient d'assurer l'élimination sans créer de nuisances ni de risques de pollution des eaux. Les problèmes d'assainissement ne sont donc plus limités aux grandes concentrations humaines mais préoccupent également les responsables de l'aménagement rural.

On a pu penser qu'il suffisait d'extrapoler (avec quelques adaptations) les techniques ayant fait leurs preuves pour les grandes collectivités. Aussi de nombreux réseaux et stations d'épuration ont été mis en œuvre dans les petits bourgs ruraux ; dans la plupart des cas ils ont apporté des solutions satisfaisantes au prix il est vrai d'efforts financiers importants.

Cependant, les efforts d'adaptation des techniques aux conditions spécifiques des petites collectivités, s'ils doivent être poursuivis, risquent toutefois de s'avérer insuffisants, et ce d'autant plus que la taille des collectivités restant à desservir devient de plus en plus faible.

Dans certains départements la majorité des collectivités de plus de 1000 habitants sont équipées d'une station d'épuration et la desserte des bourgs de taille très inférieure parfois jusqu'à 200 habitants est envisagée.

Pour ces équipements, l'adaptation des techniques classiques devient alors très hasardeuse. En outre, rapportés à l'habitant desservi les coûts d'investissement et surtout d'exploitation croissent très vite et deviennent insupportables pour la collectivité, même s'ils peuvent être parfois masqués par les aides publiques. Les conséquences en sont que les techniques et les équipements mis en œuvre ne sont pas toujours d'une qualité souhaitable et que leur exploitation n'en est que plus difficile à réaliser correctement.

Dans le cadre d'une étude inter-agences sur l'assainissement des petites collectivités, l'Agence de bassin Loire-Bretagne a recherché parmi les techniques d'épuration actuellement disponibles celles qui pouvaient le mieux répondre aux problèmes spécifiques des petites collectivités. Lors des premiers contacts établis avec les différents services concernés, il est apparu que le Ministère de l'Agriculture poursuivait la même réflexion et aboutissait aux mêmes conclusions, à savoir que les techniques du lagunage naturel de préférence, mais aussi du lagunage aéré répondaient bien à ces problèmes.

Ce document est donc le fruit d'une étroite collaboration entre les services du Ministère de l'Agriculture - CTGREF - division pêche et pisciculture - qualité des eaux et section génie rural d'Aix-en-Provence, et ceux de l'Agence de bassin Loire-Bretagne.

Il comporte quatre chapitres qui abordent successivement l'analyse des caractéristiques spécifiques aux petites collectivités, la description et le dimensionnement des lagunages naturels et aérés, les problèmes de mise en œuvre du lagunage et enfin quelques données concernant l'exploitation.

Ce document a été soumis sous la forme d'une minute puis d'un document provisoire à de nombreux maîtres d'œuvre dont certains ont formulé des remarques dont il a été tenu compte pour la rédaction définitive.

La Mission déléguée de bassin Loire-Bretagne a émis un avis favorable à sa diffusion, le 22 Novembre 1978, ainsi que la Mission interministérielle déléguée de l'eau le 24 janvier 1979.

CHAPITRE I

CHAPITRE I

L'épuration des effluents des petites collectivités

Caractéristiques des effluents

Effets des rejets sur les milieux récepteurs

Procédés d'épuration

En collectant les eaux usées et en les éloignant des habitations, les réseaux d'égouts assurent la protection sanitaire des individus et participent à l'amélioration de la qualité du cadre de vie. Cependant, ils concentrent en quelques points les eaux résiduaires dont le rejet peut présenter une menace sérieuse pour la qualité du milieu naturel qui les reçoit. Il est donc indispensable d'assurer une épuration préalable qui aura pour objectif de rendre compatible ce rejet avec le maintien d'une certaine qualité du milieu récepteur concerné. Les procédés d'épuration qui devront être mis en œuvre seront définis en prenant en compte :

- **les caractéristiques des effluents,**
- **les capacités d'acceptation des milieux naturels concernés,**
- **les moyens techniques disponibles.**

Caractéristiques des eaux résiduaires issues des petites collectivités

Les caractéristiques des eaux résiduaires domestiques sont liées à leur origine et s'expriment au moyen de paramètres dont les valeurs sont utilisées pour le dimensionnement des dispositifs de traitement.

Origine et composition des eaux usées domestiques

On distingue généralement :

- les eaux vannes,
- les eaux ménagères.

Les eaux vannes sont issues des WC et représentent un volume journalier d'environ 30 l/usager, elles contiennent essentiellement des matières organiques qui représentent environ 1/3 de la pollution de l'ensemble des eaux usées domestiques. La dissémination dans le milieu naturel des germes pathogènes issus de la flore intestinale et contenus dans les eaux vannes peut être à l'origine de contamination, soit directe par contact, soit le plus souvent indirecte par l'intermédiaire des aliments et plus particulièrement de l'eau consommée.

Les eaux ménagères trouvent leur origine dans les autres utilisations domestiques de l'eau : cuisine, salle de bain, buanderie, ... Le volume journalier de ces eaux peut varier dans de grandes proportions en fonction de l'équipement ménager et sanitaire et des habitudes d'hygiène.

« Ainsi, une machine à laver le linge consomme en moyenne par lavage 100 l d'eau, une machine à laver la vaisselle 70 l, un bain nécessite 70 à 100 l, une douche de 30 à 60 l ».

Dans les petites collectivités dont l'approvisionnement en eau potable est récent, les équipements sanitaires et ménagers ne sont mis en place que très progressivement. Il s'ensuit que la consommation d'eau ménagère est

souvent faible, en moyenne de 50 l par jour et par usager. On peut cependant prévoir qu'elle s'accroîtra progressivement pour atteindre une valeur proche de 100 l.

Ces eaux contiennent des matières organiques ainsi que des produits d'entretien ménagers et en particulier des détergents.

En l'absence de réseau, les eaux usées domestiques font l'objet d'une collecte et d'une épuration sommaire au moyen de dispositifs d'assainissements individuels. La dispersion des eaux dans le sol par un épandage souterrain à faible profondeur assure ensuite l'élimination des eaux et de l'essentiel des nuisances.

Lorsque la densité de l'habitat le justifie ou que des conditions particulièrement défavorables conduisent à l'abandon de l'assainissement individuel et la mise en place d'un réseau collectif, les fosses septiques doivent être court-circuitées lors du raccordement au réseau.

Paramètres définissant la pollution des eaux usées domestiques

En plus du risque sanitaire, les eaux résiduaires peuvent être à l'origine d'une pollution des milieux naturels qui les reçoivent en raison des éléments qu'elles contiennent. La nature et la composition de ces éléments qui constituent des déchets de l'activité humaine peuvent être extrêmement variées, ce qui rend leur caractérisation difficile et implique l'utilisation de paramètres globaux qui sont le plus souvent réduits à deux termes :

- **les matières en suspension (MES)**
- **les matières oxydables (MO)**

Les **matières en suspension** sont les particules de toutes tailles qui peuvent être extraites du liquide qui les contient par filtration ou centrifugation. Elles représentent la forme la plus visible de la pollution.

On en différencie la fraction organique (détruite par une combustion à 550°C) sous le terme de **matières volatiles en suspension (MVS)**.

Les **matières oxydables** font appel à une notion moins immédiate qui est celle de la dégradation des éléments organiques dans le temps. Cette dégradation qui s'effectue par oxydation lorsque le milieu récepteur peut apporter de l'oxygène transforme les matières organiques instables en des produits minéraux. Le rejet de matières oxydables se traduit donc pour ce milieu par une demande en oxygène dont on distingue classiquement deux expressions.

La demande biochimique en oxygène en cinq jours (DBO5) qui est la quantité d'oxygène consommée par les microorganismes contenus dans l'effluent au bout de cinq jours dans des conditions expérimentales définies (obscurité, température de 20°C). La valeur de cette mesure permet d'évaluer la quantité d'oxygène que le milieu récepteur devra pouvoir fournir pour assurer la dégradation aérobie de l'effluent qui y sera rejeté. Ce paramètre dont la détermination implique une incubation de cinq jours est le plus souvent complété par une mesure plus rapide et en général plus précise qui est la demande chimique en oxygène (**DCO**). La DCO est la quantité d'oxygène consommée lors d'une réaction chimique mettant en œuvre un oxydant puissant (bichromate de potassium en milieu sulfurique concentré et à une température élevée).

Cette mesure rend compte de la quantité des principaux éléments carbonés-biodégradables ou non-susceptibles d'être oxydés dans le milieu naturel.

Le rapport $\frac{DCO}{DBO5}$ permet de juger de la biodégradabilité d'un

effluent et par voie de conséquence de l'intérêt du choix d'un procédé d'épuration biologique. Pour une eau domestique, ce rapport mesuré après décantation est généralement voisin de 2 et dans tous les cas inférieur à 2,5.

L'oxydation des matières organiques entraîne la formation de gaz carbonique dont la plus grande partie rejoint l'atmosphère. Les produits d'oxydation des composés contenant de l'azote et du phosphore contiendront des éléments minéraux solubles capables de fertiliser le milieu naturel. Ces éléments fertilisants peuvent être dans certaines conditions à l'origine d'une accélération de l'**eutrophisation**. L'eutrophisation est un phénomène complexe qui peut se définir comme un enrichissement en éléments fertilisants des eaux induisant le plus souvent une série de modifications systématiques. La production des algues et des plantes aquatiques augmente considérablement, les caractéristiques de l'eau sont modifiées dans le sens d'une limitation sensible de la plupart des usages auxquels peuvent donner lieu les milieux aquatiques (pêche, captages en vue de la production d'eau potable, etc...).

Les additifs contenus dans les détergents du commerce constituent pour les eaux usées domestiques la principale source de phosphore.

Il est indispensable d'apprécier les valeurs de ces paramètres pour établir les données de base qui serviront de base à la conception et au dimensionnement des stations d'épuration.

Données de base du dimensionnement des stations d'épuration

Les données de base permettant de dimensionner les différents ouvrages constitutifs d'une station d'épuration sont :

- **la charge polluante reçue évaluée en fonction des paramètres évoqués précédemment,**
- **le régime hydraulique de l'effluent au débouché du collecteur d'amenée des effluents.**

Pour la charge polluante, les études les plus récentes montrent qu'au niveau d'une habitation, les eaux résiduaires rejetées par un individu contiennent de 35 à 55 g de DBO5 et environ 60 g de MES par jour.

On peut donc admettre comme valeurs de base pour les petites et moyennes collectivités, en incluant un coefficient de sécurité :

50 g de DBO5 par usager desservi et par jour,

60 g de MES comprenant 40 g de MVS.

Les rejets en azote sont environ de 15 g en N « par usager » et par jour.

Les rejets en phosphore sont environ de 4 g en P « par usager » et par jour.

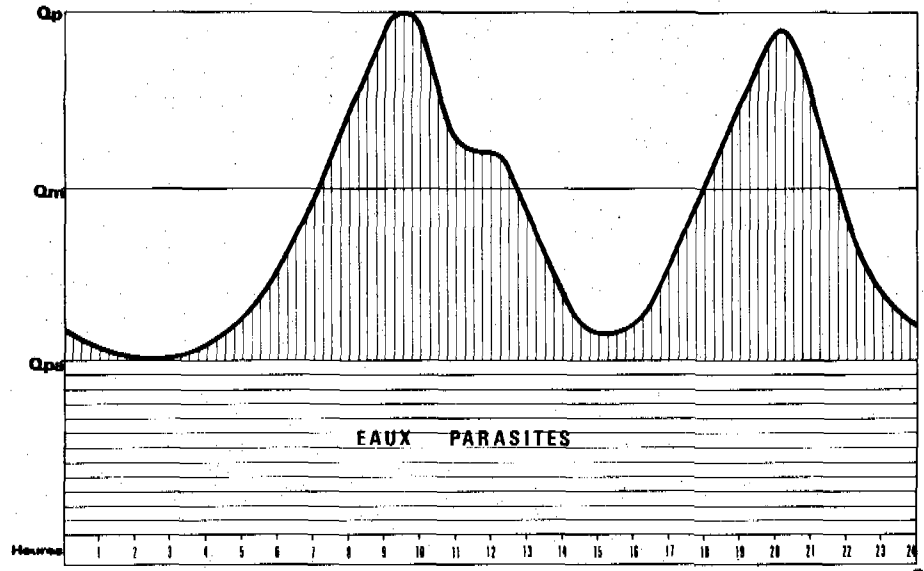
Lorsque le réseau de collecte est de type unitaire, pour tenir compte à la fois des apports dus aux eaux de ruissellement et des phénomènes de rétention dus aux dépôts dans les canalisations et à leur remise en suspension, on peut admettre que ces données doivent être majorées de 20 %.

Pour les petites collectivités, ce coefficient de sécurité permet de prendre en compte les rejets des petits établissements tels que les cantines, écoles et restaurants. Les charges de pollution calculées à partir de ces chiffres ne sont pratiquement jamais atteintes à la mise en service des installations. En effet, le plus souvent le réseau d'assainissement est réalisé par tranche, la station d'épuration étant construite au cours de la première phase de travaux. De plus, on observe un délai qui peut être important entre la construction des réseaux et le raccordement effectif des habitations. **Cette sous-utilisation des capacités nominales de traitement affecte plus particulièrement les petites installations.** Il convient d'en tenir compte dans le choix des procédés d'épuration.

En ce qui concerne le **régime hydraulique**, le volume journalier (V_e) est estimé en fonction de la quantité d'eau utilisée qui varie actuellement de 60 à 100 l par usager. On peut donc penser que la valeur de 150 l classiquement admise constitue un maximum qu'il convient de ne pas dépasser dans le cas des petites agglomérations et **qu'on s'en tiendra le plus souvent à 100 l par habitant.**

Le rythme sur lequel ce volume journalier parvient à la station d'épuration suit celui de l'activité des individus. Il présente une valeur minimum entre 23 h et 6 h qui peut être pratiquement nulle dans le cas des petites agglomérations équipées de réseaux courts étanches. Le débit horaire s'accroît alors et passe par un maximum vers 13 h, décroît dans l'après-midi jusque vers 17 h, puis remonte vers 20 h à une valeur de pointe inférieure à celle de 13 h pour diminuer ensuite.

RYTHME D'ARRIVÉE DES EFFLUENTS



Le débit moyen horaire $Q_m = \frac{V_e}{24}$ n'a donc qu'une signifi-

cation pratique très limitée et il est nécessaire de définir un **débit de pointe** qui devra pouvoir être accepté par l'installation sans que les performances de l'épuration en soient sensiblement affectées.

La détermination de ce débit est indispensable pour le dimensionnement des équipements hydrauliques (traitements primaires, décantation secondaire).

On définit donc le débit maximum qui sera le débit de **pointe de temps sec** pour les installations alimentées par des réseaux séparatifs et le débit de **pointe de temps de pluie** dans le cas des réseaux unitaires.

Le débit de pointe de temps sec (Qp) est traditionnellement estimé en fonction d'un coefficient de pointe Cp, par la formule suivante :

$$Q_p = C_p \times Q_m \text{ avec } C_p = 1,5 + \frac{2,5}{\sqrt{Q_m}} \text{ (} Q_m \text{ en litres/seconde)}$$

Lorsque l'installation doit être alimentée par un réseau de type unitaire, il est nécessaire de limiter le débit entrant sur la station d'épuration au moyen d'un réservoir d'orage. Le débit maximum conservé sera au moins égal au débit de pointe de temps sec évalué précédemment. Cependant, il est souhaitable d'augmenter ce débit afin de traiter une fraction du premier flot d'orage généralement chargé en pollution. On sera amené dans les cas où la sensibilité du milieu récepteur l'exige à prévoir la construction de bassins d'orage.

Dans les autres cas, on augmentera le coefficient de pointe qui pourra être porté à 5 ou 6 dans la mesure où le procédé d'épuration choisi sera en mesure d'accepter ces variations brutales de débit (l'adoption d'un coefficient de pointe supérieur à quatre, exclut pratiquement une épuration par boues activées).

En plus des eaux usées, les réseaux d'égouts collectent des **eaux parasites** dont l'origine ne justifie pas leur présence dans ces réseaux,

mais qui paraissent bien, à l'expérience, difficiles à éliminer complètement. Il est en effet peu courant qu'un réseau d'égouts équipant une petite collectivité soit parfaitement étanche ou puisse le rester. Il convient donc, tout en limitant au mieux par une mise en œuvre soignée des réseaux, l'intrusion des eaux de drainage ou de toiture, d'en tenir compte dans le dimensionnement des installations d'épuration et surtout dans le choix des procédés adoptés. **On peut considérer qu'un volume d'eau parasite VP_a égal au volume d'eau usée constitue la valeur maximale admissible.** Au-delà de cette valeur, il ne paraît pas raisonnable d'espérer une efficacité acceptable des dispositifs d'épuration classiques.

En résumé, la présentation des données de base techniques fixées dans les devis-programmes en vue de la consultation des entreprises spécialisées dans la construction des stations d'épuration devrait répondre au tableau suivant :

DONNÉES TECHNIQUES DE BASE DU DEVIS-PROGRAMME :

Population desservie : _____ →	habitants
Charge de pollution exprimée en :	
• DBO ₅ : 0,05 x nb hab. = _____ →	.... kg/j
• MES : 0,06 x nb hab. = _____ →	.... kg/j
Charge hydraulique :	
• Volume journalier d'eaux usées (V _e) V _e = 0,10 x nb hab. = _____ →	.... m ³ /j
• Volume journalier d'eau parasite (V _{pa}) _____ →	.... m ³ /j
• Volume total reçu par la station (V _t) V _t = V _e + V _{pa} _____ →	.... m ³ /j
Régime hydraulique en réseau séparatif :	
• Débit moyen d'eaux usées (Q _m) $Q_m = \frac{V_e}{24}$ _____ →	.... m ³ /j
• Coefficient de pointe (C _p) $C_p = 1,5 + \frac{2,5}{\sqrt{Q_m}}$ _____ →	.....
• Débit de pointe E.U. (Q _p) Q _p = Q _m x C _p _____ →	.... m ³ /h
• Débit moyen eaux parasites (Q _{pa}) $Q_{pa} = \frac{V_{pa}}{24}$ _____ →	.... m ³ /h
• Débit de pointe reçu : Q _m + Q _{pa} = _____ →	.... m ³ /h
en réseau unitaire :	
• Débit de pointe de temps de pluie à l'aval du déversoir d'orage = _____ →	.... m ³ /h

Effets d'un rejet d'eaux usées sur les milieux récepteurs, détermination du degré d'épuration préalable.

L'assainissement collectif d'une agglomération se traduit nécessairement par le déversement en un point d'un volume d'eau polluée qui antérieurement n'affectait pas le milieu récepteur concerné. Ce rejet va donc entraîner des modifications de la qualité du milieu. **L'épuration préalable au rejet aura pour objectif de rendre ces modifications compatibles avec le maintien d'une qualité suffisante jugée indispensable pour la conservation des usages de ce milieu ou sa restauration dans les cas d'un rejet préexistant insuffisamment épuré.**

La démarche du technicien responsable du choix d'un degré d'épuration puis de celui d'une technique permettant d'obtenir ce degré d'épuration consistera donc en :

- **l'appréciation des caractéristiques du milieu récepteur avant rejet,**

- **la prévision de l'incidence d'un rejet en fonction des différentes hypothèses d'épuration.**

Chaque milieu récepteur présente des caractéristiques originales. Cependant, pour les rejets concernant les petites collectivités, on peut en distinguer trois grandes catégories :

- **les rejets dans le sol,**
- **les rejets dans les eaux douces superficielles,**
- **les rejets dans le milieu marin.**

Rejets dans le sol

Dans certaines régions, il n'est pas rare que de petites agglomérations ne puissent disposer d'exutoires naturels économiquement accessibles dans le réseau hydrographique superficiel. Les eaux usées, comme les eaux de ruissellement, s'infiltrent dans le sol et intéressent ainsi le réseau hydrographique souterrain. Il en est de même lorsque les rejets s'effectuent dans les ruisseaux régulièrement à sec en été. L'objectif essentiel de l'épuration préalable est alors de protéger les eaux souterraines susceptibles d'être utilisées pour l'alimentation en eau potable.

Dans la pratique, on distinguera deux modes de rejets dans le sol très sensiblement différents :

- diffusion dans la couche superficielle d'un sol assurant une percolation lente,
- infiltration rapide dans les couches profondes par des gouffres (bétoires)

Dans le premier cas, **le sol assurera une épuration complémentaire** mettant en œuvre des phénomènes physiques de filtration et des phénomènes biologiques principalement dans les couches superficielles aérobies.

L'épuration préalable à un rejet dans le sol sera donc surtout orientée vers une élimination des matières en suspension susceptibles de colmater les dispositifs de dispersion. L'élimination de la pollution soluble ne sera pas prépondérante. Les germes pathogènes seront retenus dans le sol et présenteront peu de risques de contamination des nappes sous réserve du maintien d'une distance suffisante entre les zones d'infiltration et les zones de captages (périmètres de protection).

L'infiltration par des gouffres dans les couches profondes du sol ne devrait pas être retenue comme une solution satisfaisante.

Il paraît en effet très difficile de pouvoir apprécier l'incidence sur la qualité des nappes souterraines et les risques sanitaires qu'entraîne le choix d'un tel mode de rejet. On cherchera donc à l'éviter dans toute la mesure du possible en reconstituant une structure de sol permettant un épandage souterrain. Dans les cas où l'infiltration directe ne pourrait être évitée, l'élimination poussée des éléments solubles y compris des formes oxydées de l'azote et des germes devra entrer dans les objectifs de l'épuration.

Rejets dans les eaux douces superficielles

Les eaux douces superficielles constituent les milieux naturels les plus fréquemment sollicités pour servir d'exutoire aux eaux usées. Ils se présentent sous des aspects extrêmement diversifiés. La détermination précise du comportement de ces milieux récepteurs envers les éléments organiques constitutifs de la pollution des eaux usées domestiques implique une connaissance approfondie des paramètres hydrologiques et biologiques qui régissent les équilibres écologiques de ces milieux.

Dans la plupart des cas, cette connaissance n'est pas immédiatement disponible. Son acquisition implique des études globales, longues, dont les délais de réalisation et les coûts ne sont pas en rapport avec l'importance des problèmes à résoudre lorsqu'il s'agit de rejets de petites agglomérations. Aussi, le projeteur peut-il être tenté par le choix systématique d'un degré d'épuration répondant au niveau 4 de l'arrêté ministériel du 13 mai 1975 avec pour seule justification le fait que ce niveau correspond au

traitement qualifié de « normal » par la circulaire du 6 juin 1976 du Ministère de la Santé Publique.

On peut cependant concevoir que par une approche très simplifiée prenant en compte des éléments aisément accessibles, on puisse dans un nombre important de cas aboutir au choix d'un degré d'épuration plus adapté et plus économiquement judicieux.

Cette approche va consister en une caractérisation du milieu récepteur et en une prévision grossière de l'évolution probable de quelques paramètres simples.

La caractérisation du régime hydraulique fait intervenir de nombreux paramètres tels que la nature du bassin versant, l'hydrologie, la pente moyenne de la rivière. Elle peut être cependant appréhendée par :

- la vitesse d'écoulement,
- le débit.

Les cours d'eau au faciès lotique seront considérés comme lents lorsque leur vitesse d'écoulement sera inférieure à 30 cm/s et rapide pour des vitesses supérieures à cette valeur.

On distinguera d'autre part les plans d'eau (faciès lentique) lorsque la vitesse d'écoulement sera inférieure à 1 cm/s ou lorsque le temps de séjour sera supérieur à quelques jours.

Le débit sera évalué en fonction des mesures lorsqu'elles seront connues ou par le calcul à partir des débits d'étiage spécifiques des bassins versants. Ces éléments techniques sont en général disponibles auprès des services régionaux d'aménagement des eaux (S.R.A.E.) ou des agences de bassin.

La qualité des eaux peut être caractérisée sur la base de l'une des grilles relatives aux divers usages ou vocations du milieu aquatique. Nous retiendrons, en la limitant à certains paramètres, la grille adoptée par le Conseil des Communautés Européennes en matière de directive concernant la qualité requise des eaux douces pour la mise en valeur du patrimoine piscicole.

**GRILLE EUROPEENNE
DE QUALITE DES EAUX
(EXTRAIT)**

PARAMETRES	eaux salmonicoles		eaux cyprinicoles		Méthodes d'analyse ou d'inspection	OBSERVATIONS
	G (valeur guide)	I (valeur impérative)	G	I		
Température (°C)	La variation de température due à un rejet thermique ne doit pas excéder 1,5°C pour les eaux salmonicoles et 3°C pour les eaux cyprinicoles, et ne doit pas avoir pour conséquence que la température dans la zone située en aval du point de rejet dépasse les valeurs suivantes.				thermométrie	Il s'agit de la température naturelle de référence (recommandations de la délégation française). Ses variations doivent être mesurées en aval du point de rejet, à la limite de la zone de mélange.
Saison chaude		21,5		28		
Saison froide		10		10		
Oxygène dissous (mg O ₂ /l)	En ce qui concerne les valeurs I, les périodes de temps pendant lesquelles la concentration en oxygène dissous est inférieure à 6 mg/l (eaux salmonicoles) ou à 4 mg/l (eaux cyprinicoles) doivent être suffisamment courtes pour ne pas porter préjudice aux poissons.				Méthode électrochimique. Méthode de Winckler	Afin de tenir compte des variations saisonnières en oxygène, les niveaux à retenir sont exprimés en concentrations minimales fixées pour 50 % et 100 % des échantillons examinés au cours d'une année (fréquence cumulée).
	50 % > 9 100 % > 7	50 % > 9	100 % > 8 100 % > 5	50 % > 7		
Pourcentage de saturation en oxygène	La valeur-guide du pourcentage de saturation de l'oxygène dissous pourrait être de 98 % et la valeur impérative de 75 % pendant la période de reproduction des salmonidés et de développement des larves dans les zones de frayères.					recommandations françaises
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	< 3		< 6		Méthode dite de Winckler avant et après incubation de 5 jours à l'obscurité, à 20°C ± 1°C.	
Ammonium total (mg NH ₄ + /l)	< 0,04	< 1	< 0,2	< 1	spectrophotométrie d'absorption au bleu d'indophénol.	recommandations françaises ; paramètre plus significatif que la DBO ₅
Nitrites (mg NO ₂ /l)	traces	< 0,1	traces	< 0,3	spectrophotométrie d'absorption	propositions françaises ; substances à forte toxicité.

Débit du cours d'eau en l/s

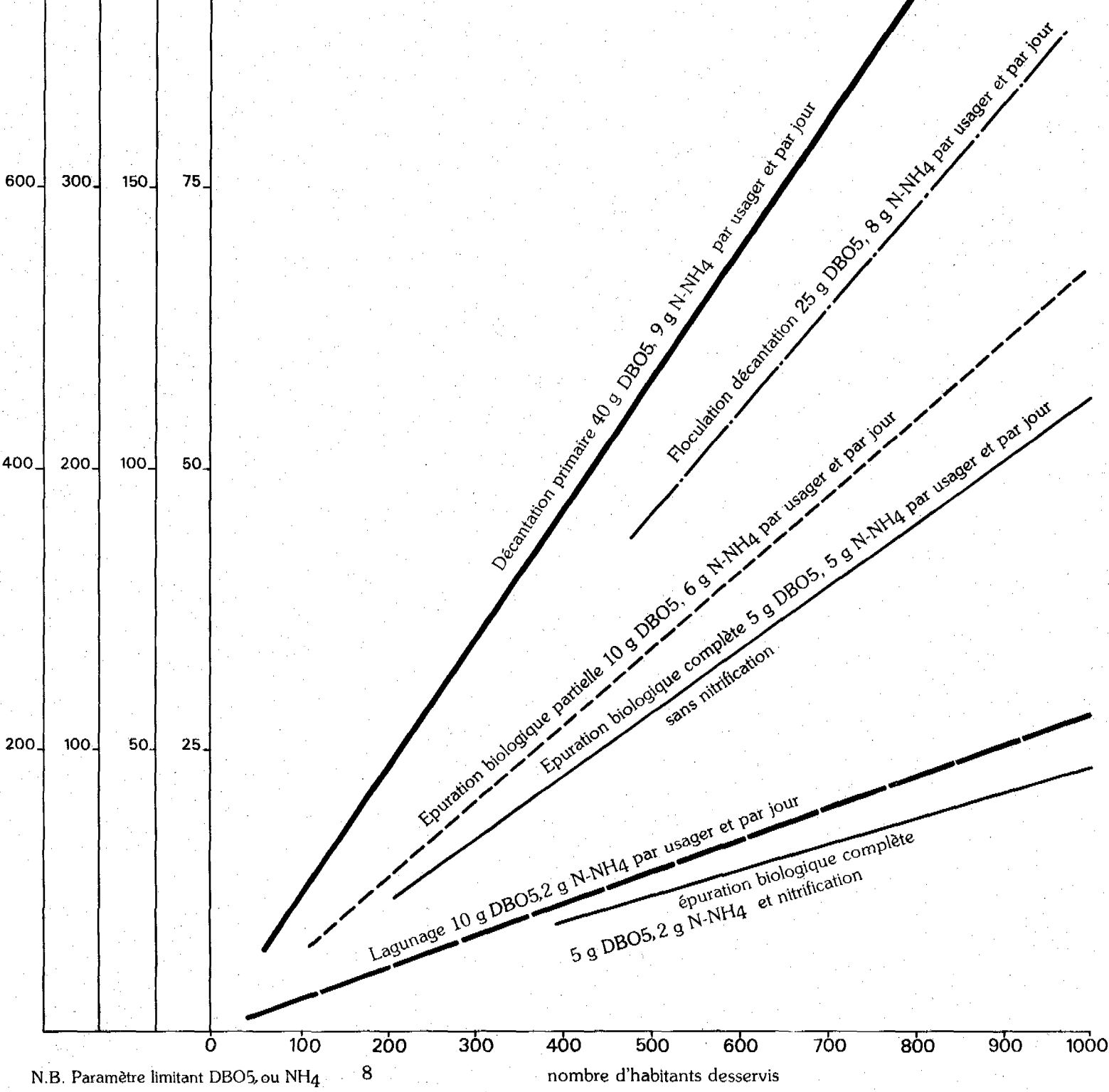
DEGRÉ D'ÉPURATION EN FONCTION DU DÉBIT D'ETIAGE DE LA SENSIBILITÉ DU COURS D'EAU ET DU NOMBRE D'HABITANTS

Très sensible

Sensible

Peu sensible

Sans intérêt piscicole



N.B. Paramètre limitant DBO₅, ou NH₄

8

nombre d'habitants desservis

On consultera également les cartes départementales d'objectifs de qualité des cours d'eau.

En ce qui concerne l'évolution du milieu récepteur, l'admission d'eaux résiduaires domestiques dans une rivière va provoquer une modification des caractéristiques physico-chimiques et biologiques du cours d'eau sur une distance plus ou moins grande, et en particulier une augmentation de la DBO5, de la DCO, de la turbidité et de la teneur en azote ammoniacal dès l'aval immédiat du rejet.

Dans le cas de rejets domestiques en zone rurale, généralement isolés et de faible importance (moins de 50 kg de DBO5 par jour), et à défaut de connaissances très précises sur les caractéristiques hydrobiologiques du cours d'eau, il paraît raisonnable d'admettre que la qualité du milieu récepteur sera préservée si au niveau du rejet les accroissements de la DBO5 et de l'azote ammoniacal ne dépassent pas certaines limites. Ces limites, fonction de la sensibilité du milieu récepteur et de l'objectif de qualité qu'on lui a fixé, peuvent être les suivantes :

Pour les cours d'eau très sensibles, tels que les ruisseaux, pépinières à salmonidés et les secteurs de qualité 1A de la circulaire du 17 mars 1978, l'accroissement admissible serait de :

- + 0,5 mg/l en DBO5
- + 0,125 mg/l en N-NH₄ +

Pour les cours d'eau sensibles, de première catégorie piscicole et les secteurs de qualité 1B de la circulaire du 17 mars 1978, l'accroissement admissible serait de :

- + 1 mg/l en DBO5
- + 0,25 mg/l en N-NH₄ +

Pour les cours d'eau moins sensibles, de seconde catégorie piscicole et les secteurs de qualité 2 de la circulaire du 17 mars 1978, l'accroissement admissible serait de :

- + 2 mg/l en DBO5
- + 0,5 mg/l en N-NH₄ +

Pour les cours d'eau déjà dégradés, sans intérêt piscicole reconnu et les secteurs de qualité 3 de la circulaire du 17 mars 1978, l'accroissement admissible serait de :

- + 4 mg/l en DBO5
- + 1 mg/l en N-NH₄ +

Niveau de rejet par usager desservi en grammes par jour de :		Types d'épuration susceptibles d'assurer ces niveaux de rejet de façon fiable	Débit minimum du cours d'eau récepteur exprimé en litres par seconde pour 100 usagers dans :							
			les zones très sensibles où l'accroissement est limité à :		les zones sensibles où l'accroissement est limité à :		les zones peu sensibles où l'accroissement est limité à :		les zones sans intérêt piscicole où l'accroissement est limité à :	
DBO5	N-NH ₄		0,5 mg/l en DBO5	0,125 mg/l en N-NH ₄	1 mg/l en DBO5	0,25 mg/l en N-NH ₄	2 mg/l en DBO5	0,5 mg/l en N-NH ₄	4 mg/l en DBO5	1 mg/l en N-NH ₄
40	9	Décantation	93	83	46	42	23	21	12	10
25	8	Floculation décantation	58	74	29	37	15	18	7	9
10	6	Epuration biologique partielle	23	56	12	28	6	14	3	7
5	5	Epuration biologique complète	12	46	6	23	3	12	1,5	6
10	2	Lagunage	23	18	12	9	6	5	3	2,5
5	2	Epuration biologique complète et nitrification	12	18	6	9	3	5	1,5	2,5

N.B. : Les chiffres en bleus indiquent le facteur limitant.

(On peut penser que dans ce dernier cas, la restauration de la qualité de la rivière passe par l'élimination des sources de pollution plus importantes que celles qui sont constituées par les rejets des communes de moins de 1000 habitants).

Cette approche sommaire, qui ne saurait être généralisée aux cas de rejets plus importants ou de nature non domestique, ne peut être appliquée qu'avec précaution pour des rejets multiples de faible importance.

Elle permet d'estimer le degré d'épuration qui devra être atteint par l'installation de traitement des eaux usées en fonction du débit minimum du cours d'eau récepteur.

Les courbes de la page 8 permettent de relier ce débit au nombre d'habitants dont les effluents peuvent être rejetés après un traitement conduisant à une qualité donnée. Pour tracer ces courbes, nous avons retenu des degrés d'épuration classiques, pour une pollution unitaire correspondant aux chiffres de la page 3 : le tableau page 9 indique dans ces conditions le débit minimum du cours d'eau récepteur en fonction du nombre d'usagers desservis et du procédé d'épuration envisagé.

Il convient de rappeler que les processus de nitrification sont considérablement ralentis lorsque la température de l'eau dans les stations d'épuration s'abaisse au-dessous de 10°C et que dans ces conditions climatiques qui ne coïncident généralement pas avec les étages les plus sévères, le niveau de rejets en azote ammoniacal sera celui correspondant à l'épuration biologique sans nitrification.

Lorsque l'importance du débit du milieu récepteur offre une certaine souplesse dans le choix du procédé d'épuration, des paramètres tels que la facilité d'exploitation, le coût d'investissement et l'intégration au site pourront être décisifs.

Enfin, dans le cas d'un rejet dans un milieu à faible débit de renouvellement (lac, étang), une importance toute particulière sera apportée à l'élimination des éléments fertilisants. La plupart du temps, un abattement important de la charge en phosphore sera recherché en utilisant des réactifs coagulants appropriés.

Rejet dans le milieu marin*

Le milieu marin se différencie très sensiblement des milieux aquatiques d'eaux douces en raison de son comportement vis-à-vis de la pollution et des usages auxquels il donne lieu. Il est particulièrement sensible aux éléments toxiques rémanents ou non. Il supporte mal les matières en suspension susceptibles de dégrader la qualité des fonds et les matières flottantes qui présentent des risques très élevés de retour à la côte. Par contre, la matière organique soluble est bien acceptée en raison de l'importance de la réoxygénation de l'eau qui n'est pratiquement jamais dans les mers à marées le facteur limitant de la capacité d'auto-épuration.

Le degré d'épuration préalable au rejet dans le milieu marin sera défini essentiellement en fonction de la nécessité d'assurer une protection renforcée des zones utilisées pour la conchyliculture et la baignade. Ces usages sont particulièrement sensibles aux rejets contenant des germes pathogènes. Pour les petites collectivités, la mise en œuvre d'émissaires capables d'éliminer les risques de retour des eaux usées sur des baignades ou des parcs conchylicoles ne sera pas économiquement envisageable. On sera donc conduit à prévoir un degré d'épuration comportant une désinfection des eaux usées à chaque fois que les rejets seront susceptibles d'affecter des plages ou des parcs conchylicoles.

* Les rejets dans le milieu marin ont fait l'objet d'un document publié par l'Agence de Bassin Loire-Bretagne sous le titre « Assainissement des agglomérations littorales - Orientation des choix technologiques ».

ANALYSE DU CHOIX TECHNIQUE

Milieu récepteur	Conditions de rejet	Degré d'épuration	Remarques
Sol	terrain filtrant perméable	élimination des matières en suspension	épandage souterrain
	terrain fissuré	élimination des éléments fertilisants et de germes pathogènes	rejet direct à proscrire nécessité de passer par un sol filtrant reconstitué
Eaux douces	rivières	élimination de la matière organique	degré d'élimination défini par la dilution du rejet
	lacs et étangs	élimination des éléments fertilisants	risque d'accélération de l'eutrophisation du milieu
Mer	protection normale	élimination des matières en suspension	élimination poussée des matières flottantes
	protection renforcée (baignades - conchyliculture)	élimination des germes pathogènes	nécessité d'une épuration très fiable (procédé extensif)

La prise en compte de la nature du milieu récepteur pour définir le degré d'épuration préalable à un rejet d'eau usée traitée constitue un des éléments fondamentaux de la politique d'objectifs de qualité. Elle est basée sur une bonne connaissance du milieu naturel et en particulier sur les cartes de qualité des eaux établies au niveau départemental. L'utilisation des données existantes peut se révéler hasardeuse en raison de la complexité des phénomènes mis en jeu. Il convient donc d'être prudent et de prendre des marges de sécurité en regard des résultats obtenus par les calculs. Néanmoins, cette procédure, quel que soit son degré d'approximation, fournira toujours des résultats supérieurs à ceux relevant d'un choix systématique, conforme à la réglementation dans sa lettre mais opposé dans son esprit.

Les organismes spécialisés tels que les services régionaux d'aménagement des eaux et les agences de bassin sont en mesure d'apporter aux responsables du choix des degrés d'épuration, les éléments techniques qui pourraient leur faire défaut.

Procédés d'épuration applicables aux petites collectivités

Après avoir défini le degré d'épuration nécessaire à la protection du milieu récepteur, le projeteur doit effectuer le choix d'un procédé d'épuration parmi les différentes techniques actuellement disponibles. Il existe en effet de nombreux types d'installations qui sont susceptibles d'assurer une épuration convenable. Le choix d'une technologie d'épuration devra prendre en compte les conditions de mise en œuvre et d'utilisation qui peuvent varier très sensiblement en fonction de plusieurs paramètres.

L'examen des différents types d'installations suivant ces principaux paramètres a fait l'objet d'une étude comparative des procédés d'épuration applicables aux effluents des petites et moyennes collectivités*. Nous ne rappellerons donc que les paramètres essentiels et les technologies les plus couramment employés pour les petites collectivités.

* Etude réalisée pour le compte de l'Agence par le CTGREF (Supplément N°9 « L'eau en Loire-Bretagne »).

Paramètres essentiels pour le choix d'une technologie

Les paramètres essentiels qui doivent être pris en compte pour le choix d'une technologie seront relatifs :

- aux caractéristiques des eaux usées,
- à l'exploitation,
- au site,
- aux conditions économiques.

Caractéristiques des eaux usées

Les effluents issus des petites collectivités se caractérisent essentiellement par :

- **une sous charge organique** par rapport aux valeurs prises en compte pour le dimensionnement des installations. Ce phénomène est lié à la réalisation par tranche de réseaux de collecte et aux délais apportés dans les raccordements des usagers.
- **une dilution importante** due aux intrusions d'eaux parasites d'origines diverses (réseaux non étanches, raccordements de gouttières,...). La concentration moyenne s'établit souvent à 200 mg/1 en DBO5 et 25 % des stations reçoivent des effluents dont la concentration en DBO5 est inférieure à 100 mg/1.
- **des variations brutales de charge entraînées par des déversements** dont l'importance est faible en valeur absolue mais importante en valeur relative et qui peuvent provenir de petits établissements industriels (charcuteries, restaurants, élevages).
- **des effluents septiques** issus des dispositifs d'assainissements individuels qui auraient dû être abandonnés lors du raccordement à l'égout.

Ces caractéristiques ne sont sans doute pas inéluctables lorsque les réseaux neufs sont réalisés avec soin. Par contre, lorsque la récupération de réseaux anciens se justifie pleinement pour des raisons économiques évidentes, il convient d'en tenir le plus grand compte et de choisir la technique d'épuration en conséquence.

L'exploitation

Les contraintes relatives à l'exploitation seront particulièrement décisives pour les petites collectivités qui disposent de moyens en personnel très limités et qui doivent souvent faire appel à des sociétés de service.

Les **risques d'interventions lourdes** relatives au remplacement d'un équipement coûteux par exemple **doivent être très réduits**, les budgets des petites communes pouvant rarement faire face à des investissements non programmés.

Les réglages nécessitant l'intervention d'un technicien très qualifié doivent être limités à ceux pouvant être définis par les services d'assistance technique.

Par contre, on admettra que le passage quotidien d'un préposé constitue une contrainte normale.

Le site

Les sites sur lesquels sont construites les stations d'épuration se caractérisent généralement par la proximité d'un milieu naturel agréable, cours d'eau, étang, et une médiocre qualité géophysique du terrain. La mise en œuvre d'ouvrages lourds se traduit souvent soit par des coûts de construction élevés, soit par une instabilité très préjudiciable au bon fonctionnement des ouvrages de décantation. Par ailleurs, les superstructures en béton s'intègrent mal dans ces cadres naturels non bâtis.

Les conditions économiques

Les conditions économiques doivent être prises en compte tant pour l'investissement que pour l'exploitation.

Les différentes aides publiques dont peuvent bénéficier les dépenses de construction des stations d'épuration ne doivent pas masquer leurs coûts élevés. Il convient de rappeler que ce coût exprimé par habitant desservi s'accroît très rapidement lorsque la taille des installations diminue.

Il en est de même pour les coûts d'exploitation pour lesquels les postes relatifs aux frais de personnel représentent la plus grande part.

De l'analyse rapide des principaux paramètres pris en compte pour les choix technologiques concernant les petites stations d'épuration, nous retiendrons que les procédés choisis doivent se caractériser par :

- **une bonne tolérance à des variations qualitatives et quantitatives des effluents,**
- **la robustesse et la rusticité des équipements rendant compatible une bonne fiabilité avec une exploitation facile,**
- **une intégration harmonieuse aux sites naturels,**
- **des coûts d'investissements et d'exploitation raisonnables.**

Examen des procédés d'épuration

Les procédés d'épuration peuvent se classer, en fonction des processus d'élimination, en cinq catégories :

- procédés physiques,
- procédés physico-chimiques,
- procédés biologiques par cultures fixées,
- procédés biologiques intensifs par cultures libres,
- procédés biologiques extensifs.

Les procédés d'épuration physique

Ils ont pour objectif l'élimination de la fraction la plus grossière et la plus nuisante de la pollution. Ils peuvent être parfois suffisants pour assurer une protection minimum du milieu récepteur mais constituent le plus souvent une phase primaire indispensable au bon fonctionnement d'une installation d'épuration plus complète.

Les grilles seront à nettoyage manuel. Elles devront donc être largement dimensionnées ($L > 1m$) pour autoriser un nettoyage tous les 2 ou 3 jours. L'écartement des barreaux sera compris entre 30 et 50 mm.

Les ouvrages assurant le dégraissage et le dessablage seront le plus souvent intégrés dans le décanteur primaire lorsqu'il existera. On évitera ainsi surtout pour le dessableur, les équipements traditionnels qui se révèlent à l'expérience très difficiles à exploiter et par conséquent peu efficaces.

Les boues seront généralement traitées dans un digesteur anaérobie situé à la base du décanteur. Leur temps de séjour sera sur la base d'un volume utile de 100 à 150 l par usager, supérieur à 100 jours. Les boues font l'objet d'une concentration et d'une minéralisation plus ou moins poussée en fonction notamment des conditions climatiques (température).

Dans les cas d'implantation sur des sols de mauvaise qualité, la construction d'un décanteur-digesteur peut se révéler coûteuse. D'autre part, l'intégration au site est difficile lorsqu'on ne peut enterrer les ouvrages. Des équipements nouveaux, encore peu utilisés, de microtamisage (mailles inférieures à 1 mm) pourraient pallier ces inconvénients lorsque les effluents sont dilués par des eaux parasites permanentes.

La décantation primaire ou le microtamisage peuvent éliminer jusqu'à 80 % des matières en suspension décantables (40 à 50 % des MES). Le rendement d'élimination de la pollution organique pourra atteindre de 25 à 30 % mais sera le plus souvent voisin de 20 %.

L'intérêt essentiel de ces procédés réside dans la facilité et le **faible coût de leur exploitation et leur fiabilité** qui seront des éléments décisifs de leur choix lorsque le milieu récepteur présentera une tolérance suffisante envers la pollution.

Procédés d'épuration physico-chimique

Ces procédés ont pour objectif d'éliminer en plus des matières en suspension une fraction importante de la pollution colloïdale. Ils mettent en œuvre une coagulation-floculation par adjonction de réactifs minéraux et organiques suivie d'une décantation ou une flottation permettant d'éliminer une fraction importante des matières en suspension et colloïdales. Ces procédés assurent un rendement épuratoire variant de 50 à 70 % de la DBO5 et 80 à 90 % des MES. Ils impliquent une **technologie élaborée**, ce qui se traduit par des **coûts d'exploitation élevés**. Ils seront donc peu adaptés aux petites collectivités, sauf dans les cas particuliers des collectivités à fortes variations de population tels que les campings par exemple.

Procédés d'épuration biologique par cultures fixées

Dans l'état actuel des techniques, le recours aux procédés de traitement biologique s'impose lorsqu'il est nécessaire d'éliminer une partie de la pollution organique soluble.

Les procédés par cultures fixées utilisent un matériau support fixe (lits bactériens) ou des éléments rotatifs (disques biologiques) sur lesquels se développent des cultures bactériennes.

Maintenues dans des conditions aérobies, ces cultures se nourrissant de la matière organique éliminent une fraction importante de la pollution. L'excès de culture est éliminé au niveau de la clarification finale.

Ces procédés présentent des avantages certains de fiabilité et de facilité d'exploitation en raison de l'autorégulation de la flore bactérienne épuratrice. Ils consomment peu d'énergie et sont donc particulièrement adaptés aux petites collectivités. Ils présentent cependant deux inconvénients :

- un coût d'investissement assez élevé,
- une intégration au site très médiocre en raison des superstructures peu esthétiques des ouvrages. Les lits bactériens à faible charge sans décanteur secondaire permettent de ne rejeter que 10 g de DBO5 par usager dans les conditions standard d'utilisation. Les lits bactériens peuvent conduire à un rejet de 5 g de DBO5 par usager mais laisseront 5 à 10 g d'azote ammoniacal.

Procédés d'épuration biologique de type intensif à cultures libres

Ce sont les procédés utilisant la technique des boues activées. Utilisés dans de bonnes conditions, ces procédés permettent d'obtenir les rendements épuratoires les plus élevés.

Cependant, pour les petites stations, seuls les procédés à très faible charge (aération prolongée) sont susceptibles de présenter une fiabilité acceptable sans exiger une exploitation trop délicate.

Ces procédés sont particulièrement sensibles aux surcharges hydrauliques qui se traduisent par des rejets de la culture biologique avec l'effluent traité.

La régulation du taux de boues, les réglages relatifs à la fourniture d'oxygène impliquent des interventions relativement fréquentes de techniciens qualifiés.

Enfin, les **consommations en énergie sont généralement élevées surtout pendant les périodes de sous-utilisation**.

En conséquence, ces procédés ne peuvent se justifier que si la protection des milieux récepteurs exige l'obtention d'un degré d'épuration très élevé.

Procédés d'épuration biologique de type extensif

Les procédés d'épuration de type extensif sont représentés par les techniques de lagunage dont la définition et la mise en œuvre font l'objet des chapitres suivants.

Ils permettent d'atteindre un degré d'épuration correspondant aux niveaux 3 et 4 suivant les modes utilisés.

Ils présentent de nombreux avantages de fiabilité, d'économie, de mise en œuvre et d'exploitation, d'intégration aux sites. Leur inconvénient majeur qui réside dans l'importance des surfaces qu'ils occupent peut être facilement surmonté dans le cas des petites collectivités en milieu rural.

PRINCIPAUX ELEMENTS DU CHOIX D'UN PROCEDE D'EPURATION POUR LES COLLECTIVITES

Eléments d'appréciation Procédés	Caractéristiques de l'effluent brut		Construction		Données économiques		Qualité de l'épuration		Appréciation globale
	dilution	pointes de pollution	facilité de mise en œuvre	inté-gration	investis- sement	exploit- ation	perfor- mance	fiabi- lité	
épuration physique (primaire)	bonne	moyenne	médiocre	médiocre	médiocre	bonne	médiocre	bonne	sujet au niveau 1 souvent suffisant pour les très petites installations avant rejet dans le sol.
épuration physico-chimique	mauvaise	bonne	moyenne	moyenne	mauvaise	mauvaise	moyenne	moyenne	ne se justifie que dans le cas d'utilisation temporaire (camping...).
biologique cultures fixées (lits bactériens)	bonne	médiocre	mauvaise	mauvaise	médiocre	bonne	moyenne	bonne	facile à exploiter, comportant peu d'organes mécaniques
biologique cultures libres (boues activées)	médiocre	médiocre	bonne	moyenne	médiocre	moyenne	bonne	médiocre à bonne	implique une exploitation délicate et coûteuse en sous-charge - ne se justifie que dans les cas de milieux récepteurs très exigeants.
biologique extensif lagunage	bonne	bonne	moyenne	moyenne	bonne	bonne	moyenne à bonne	bonne	de très loin le mieux adapté lorsque les surfaces nécessaires à sa mise en œuvre sont disponibles

En conclusion, le choix par une collectivité de faire bénéficier ses usagers d'un système d'assainissement collectif doit être assumé jusqu'à son terme qui consiste à protéger le milieu naturel des dégradations susceptibles d'être provoquées par le rejet des eaux usées. Il est donc indispensable que le traitement des eaux usées soit assuré efficacement par une station d'épuration. Cette installation ne sera en mesure de fonctionner correctement que si elle fait appel à des techniques adaptées aux contraintes spécifiques des petites collectivités qui se différencient sensiblement des installations de taille plus importante.

Le niveau de performance ne sera donc pas nécessairement considéré comme un élément déterminant du choix des technologies à mettre en œuvre. Il faut noter, par ailleurs, que ce niveau de performance est souvent fallacieux dans la mesure où il implique des sujétions très fortes au niveau de l'exploitation, souvent incompatibles avec les possibilités techniques ou financières des petites collectivités. En conséquence, les choix technologiques se porteront à chaque fois que cela sera possible sur des procédés rustiques, très fiables et dont l'exploitation est facile et peu coûteuse. Les procédés par lagunage répondent particulièrement bien à des critères et constitueront donc les procédés les mieux adaptés à l'épuration des petites collectivités.

13

CHAPITRE II

CHAPITRE II

L'épuration des eaux usées par lagunage

Principe de l'épuration biologique, lagunage naturel, lagunage aéré

Principe de l'épuration biologique - Les organismes vivants et leur rôle dans l'épuration

Présentation générale de l'édifice biologique aquatique et son rôle dans l'épuration

Le schéma page 18 donne des cycles biologiques dans une lagune une image simplifiée, établie sur les bases d'une classification des organismes. Elle ne tient pas compte des variations dans le mode nutritionnel de certains organismes impliqués. Ainsi, les décomposeurs peuvent être considérés comme des producteurs (par dégradation), ou comme des consommateurs (de matière organique). En toute rigueur, ce schéma comme les considérations qui suivent devrait être fondé sur les fonctions des divers maillons du réseau trophique, telles que : respiration, assimilation chlorophyllienne, bio-réduction, bio-oxydation, etc..., ce qui impliquerait des développements hors de proportion avec l'objet du présent exposé.

Le rayonnement solaire est la source d'énergie qui permet la production de matière vivante par les chaînes alimentaires (dites chaînes trophiques) aquatiques.

Les substances nutritives («nutriments» des auteurs de langue anglaise) sont apportées par les effluents sous forme de sels minéraux dissous, de matière organique à l'état dissous, colloïdal ou particulaire.

Les végétaux sont les producteurs du système qu'ils alimentent en énergie sous la forme de matière consommable constituée de leur propre biomasse. Ils synthétisent la matière organique grâce à la fonction chlorophyllienne, à partir du gaz carbonique et des sels dissous. **Cette activité absorbe du gaz carbonique et fournit la majeure partie de l'oxygène nécessaire aux bactéries minéralisantes du milieu dans le lagunage naturel.**

Cette production primaire est mise à la disposition des consommateurs, dont le régime nutritionnel comprend par ailleurs diverses particules organiques.

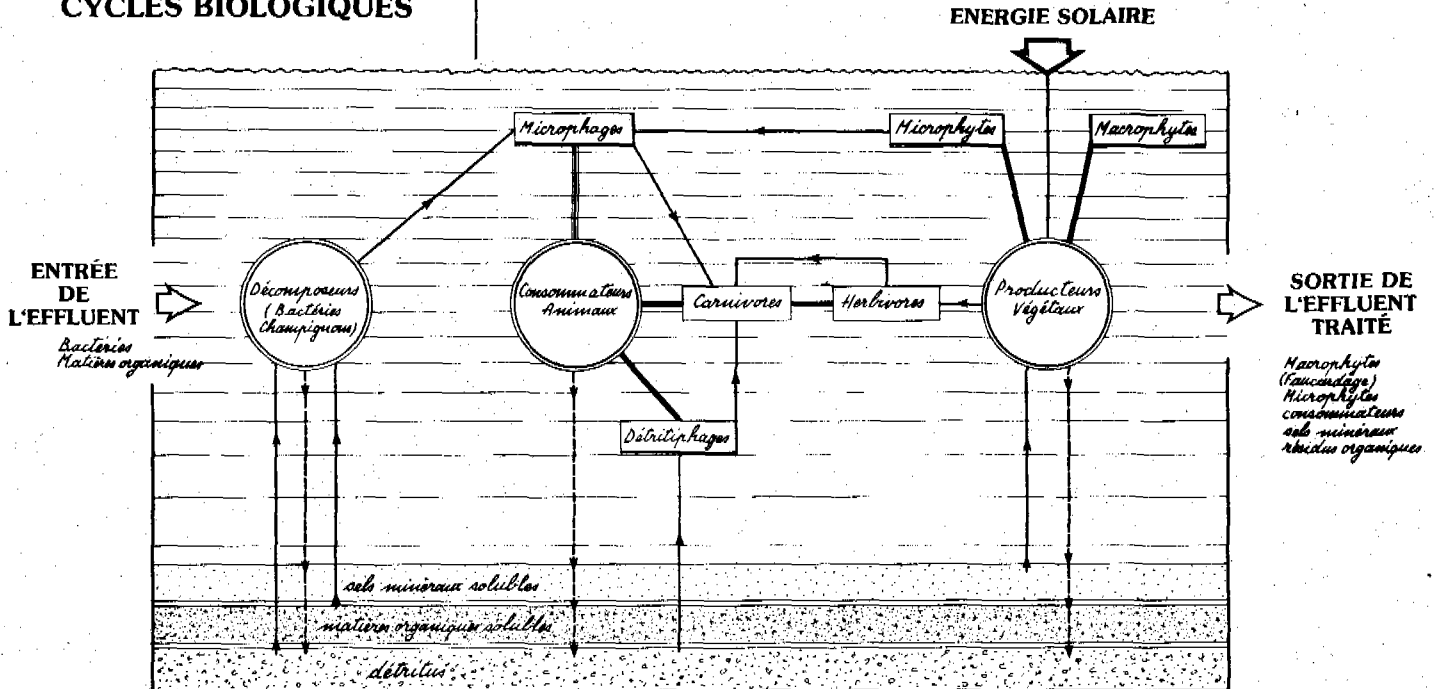
Les déchets organiques (organismes morts, matière organique exogène,...) sont dégradés, assimilés et métabolisés par les saprophages et les « décomposeurs » (bactéries, champignons).

Le cycle ainsi esquissé n'est pas fermé, ni limité aux seuls maillons évoqués, du fait de l'existence :

- d'un apport continu de matières nutritives par l'effluent et d'un rejet de l'eau traitée,
- de prédateurs divers, notamment de la masse bactérienne, tels que les protozoaires (flagellés, ciliés),
- d'un contrôle artificiel de l'édifice biologique (faucardage de la végétation, enlèvement des boues et éventuellement de poissons et mollusques,...) et naturel (évaporation, infiltration,...).

Des complémentarités ainsi que des antagonismes s'établissent entre les espèces et leurs groupements (phénomènes de compétition, de prédation, de symbiose, de parasitisme, ...). Les analyses physico-chimiques ne donnent qu'une vue imparfaite (par décomposition en paramètres qui sont en fait interdépendants) et limitée par les possibilités d'investigation de la qualité des eaux.

CYCLES BIOLOGIQUES



La productivité et la stabilité de l'édifice biologique et donc sa capacité de transformation, sont d'autant plus élevées qu'il est diversifié et abondant. La « capacité d'absorption » est limitée par les apports eux-mêmes qui modifient les conditions du milieu. Elle dépend également des caractéristiques de l'habitat (espace, granulométrie et configuration des fonds et des berges, présence ou non de végétation, ...). Le fonctionnement d'une installation de lagunage est donc fonction d'une part de la charge spatiale, d'autre part de la diversité de l'habitat.

Les principaux organismes vivants, constituants des peuplements

La flore microscopique

Les bactéries

Quel que soit le procédé biologique mis en œuvre, les bactéries assurent toujours la part prépondérante, voire la totalité de la dégradation de la matière organique. La réalisation d'installations d'épuration biologique repose donc toujours sur la création d'une culture bactérienne à grande échelle.

L'épuration aérobie est assurée par des bactéries, qui dans la quasi totalité des cas, et de façon certaine pour les effluents domestiques, se trouvent dans l'effluent brut. Ces bactéries essentiellement hétérotrophes, sont des « décomposeurs » du système. Les espèces les mieux adaptées à se développer sur un substrat, à « s'en nourrir », c'est-à-dire à en assurer l'épuration, prennent le pas sur les autres espèces grâce à une vitesse de croissance plus élevée. La période initiale de fonctionnement d'une installation d'épuration correspond à une phase de croissance bactérienne pendant laquelle les espèces les mieux adaptées à réaliser l'épuration se sélectionnent naturellement. Dans les systèmes extensifs, caractérisés entre autres par l'absence de recyclage de la culture bactérienne, il y a régulation naturelle du développement des bactéries, en fonction de la nourri-

ture qui leur est apportée et des autres conditions de développement, pH, température...

En lagunage aéré, lorsque les dépôts dans les lagunes d'aération sont en équilibre déterminant au-dessus d'eux la zone d'action des aérateurs, la concentration en bactéries est identique en tous points et donc en sortie de la lagune d'aération. Cette homogénéité caractérise le fonctionnement en « **mélange intégral** ».

En lagunage naturel, on considère que les vitesses de croissance sont différenciées en fonction de la situation et notamment d'un bassin amont à un bassin aval. La régulation de la masse bactérienne est un équilibre entre sa croissance et les sorties du système, soit par départ avec l'effluent, soit par séparation physique par décantation. La phase liquide reste le lieu de la dégradation de la matière organique en solution ou colloïdale. **Les bactéries aérobies transforment, en présence d'oxygène dissous, la charge organique, les matières azotées et phosphatées dissoutes en cellules bactériennes (protoplasme et réserves), matières minérales, et gaz.**

L'intérêt de la transformation réside dans le fait que le développement des bactéries n'est pas réalisé sous forme de culture dispersée (bouillon de culture) mais que l'on assiste à **des phénomènes de floculation** plus ou moins marqués. Les bactéries s'agglutinent entre elles par l'intermédiaire de sécrétions (mucilage, sorte de gel constitué de grosses molécules) pouvant semble-t-il être utilisées par les bactéries comme réserve dans certaines conditions défavorables. Cette forme de vie est favorisée par l'action de la microfaune prédatrice des bactéries libres. Les grains de floc, en systèmes extensifs, n'atteignent cependant pas les tailles observées en boues activées classiques. De fait, les dimensions de ces grains semblent toujours inférieures à 10 ou 15 μ . On assiste à une sorte de **floculation incomplète** limitée entre autres raisons par la faible densité des microorganismes dans le milieu, ce qui favorise le maintien en suspension de la culture bactérienne.

Les bactéries anaérobies réalisent la minéralisation de la matière organique des dépôts (transformation de la matière organique en matières minérales et gaz (CH_4 , NH_4)). Dans ces dépôts de fond de lagune, se développent les mêmes processus que dans les digesteurs des stations d'épuration conventionnelles. En effet, l'ensemble des dépôts, à l'exception de leur surface, se trouve privé d'oxygène, l'eau interstitielle ne se renouvelant pas. La vitesse d'évolution de la matière organique déposée est étroitement liée à la température. L'activité bactérienne anaérobie est faible en hiver et les périodes de réchauffement de l'eau, si elles sont brutales, peuvent aboutir à des résolubilisations massives de la charge stockée dans les boues (phénomènes de relargage). Les temps de séjour très longs des dépôts entraînent une minéralisation poussée des boues qui pourront donc trouver facilement une utilisation agricole.

Les algues microscopiques (microphytes)

Ces organismes sont soit planctoniques (dispersés dans la masse d'eau) soit périphtiques (fixés sur des supports immergés) ou épipéliques (déposés à la surface des sédiments).

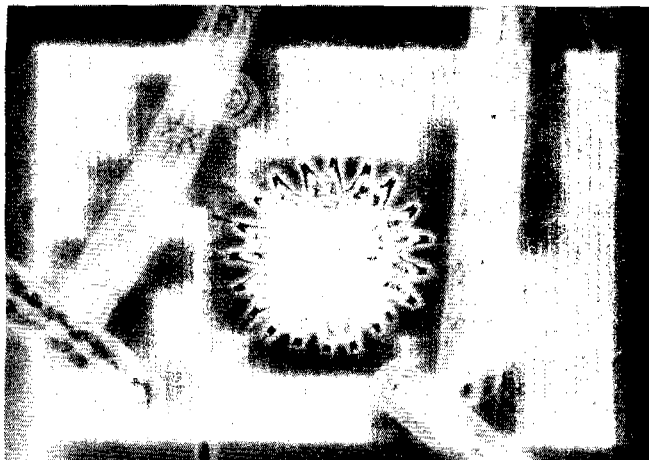
Ils sont représentés dans les lagunes essentiellement par les groupes suivants :

- algues bleues (cyanophycées) plus proches des bactéries que des algues,
- algues vertes (chlorophycées),
- algues brunes (chrysophycées, diatomées),
- eugléniens.

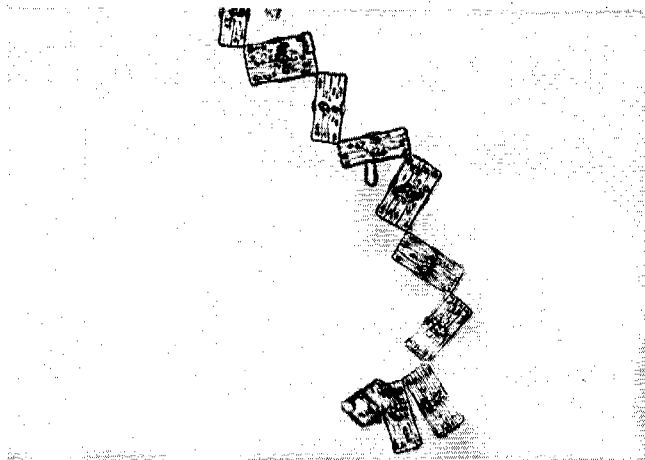
Les peuplements varient en fonction de la charge en matière organique et en sels nutritifs et en fonction des saisons. Certains groupes sont susceptibles de proliférer très rapidement, formant des « fleurs d'eau » (blooms), en l'absence de prédateurs appartenant aux niveaux trophiques supérieurs ou de compétition exercée par des espèces concurrentes. Les

conditions déterminantes de ces phénomènes ne sont pas totalement définies ; on sait cependant que les concentrations en matière organique et sels nutritifs, ainsi que les conditions de température jouent un rôle essentiel. De nombreuses algues rencontrées dans les lagunes (euglénophytes, chlorococcales, volvocales) peuvent utiliser à la fois les substances minérales (nutrition autotrophe) et les substances organiques (nutrition hétérotrophe).

CHLOROCOCCALES



DIATOMÉES PLANCTONIQUES



La compétition entre espèces ou groupements algaux traduit leur réponse rapide aux conditions de milieu, les microphytes les mieux adaptés se développant et se multipliant au détriment des autres.

S'y superposent des phénomènes d'antagonisme notamment entre algues péryphytiques et planctoniques qui font intervenir entre autres des métabolites produits par les organismes concernés. En particulier, nombre de cyanophycées sécrètent des substances toxiques, susceptibles de perturber gravement l'édifice biologique.

Les organismes du plancton ont une vie brève ; après leur mort (pour la partie non consommée par les niveaux trophiques supérieurs) ils sédimentent et se décomposent dans les zones profondes dont la teneur en oxygène tend ainsi à diminuer. Suivant la turbidité des eaux (dépendant elle-même de la densité du plancton et des autres matières en suspension), la lumière pénètre plus ou moins profondément ; à un certain niveau, les consommateurs d'oxygène par respiration et décomposition équilibrent les apports par la photosynthèse.

En définitive, les microphytes :

- assurent l'oxygénation du milieu (photosynthèse) en période diurne, avec un maximum généralement situé aux alentours du midi solaire,
- assimilent certains composés azotés, phosphorés,
- contribuent aux variations de pH (absorption de gaz carbonique) qu'ils peuvent élever à des valeurs voisines de 9.

Les végétaux macroscopiques (macrophytes)

Les macrophytes comprennent des formes fixées et des formes libres ; il s'agit essentiellement, dans les lagunes, d'algues et de végétaux supérieurs.

Nous nous attarderons plus précisément ici sur les végétaux supérieurs fixés qui seront dénommés (abusivement), sans autre précision, dans les chapitres suivants : macrophytes.

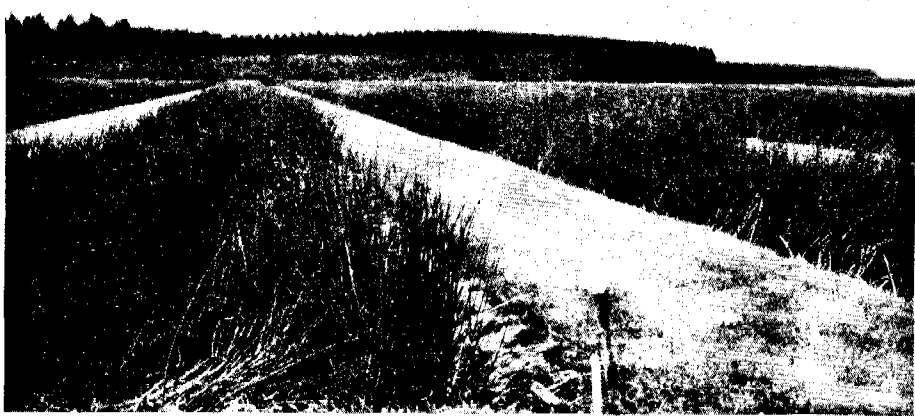
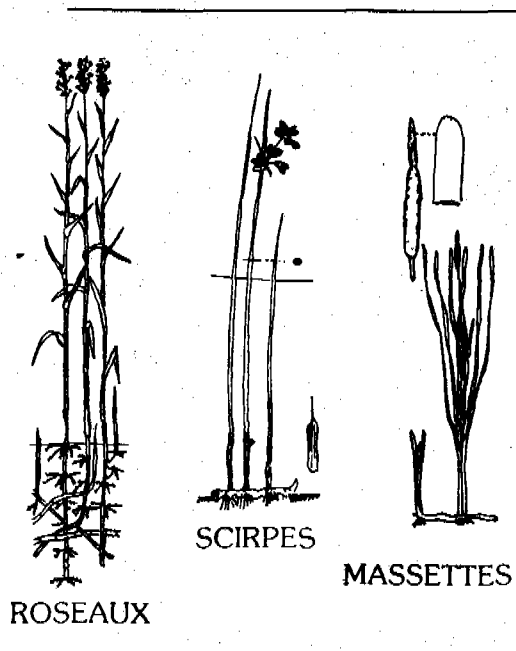
Les macrophytes présentent divers avantages : ils augmentent la diversité de l'habitat, **ils jouent un rôle très important de support pour d'autres organismes permettant ainsi l'établissement d'une culture fixée très active pour l'épuration** (bactéries, algues péryphytiques). Ils assurent en outre leurs échanges nutritionnels avec le sol, les

sédiments et l'eau. Ils peuvent être récoltés et contribuer ainsi à l'exportation d'une fraction des éléments fertilisants. Mais surtout, leur bon développement permet l'installation d'une forte densité d'algues périphytiques, qui d'une part vont assurer l'oxygénation du milieu, et d'autre part vont **éliminer** une part importante **des matières en suspension**.

En effet, les macrophytes et les algues fixées vont très fortement concurrencer le phytoplancton et entraîner ainsi une clarification importante de l'effluent.

En raison de leur capacité à coloniser rapidement le milieu et des facilités qu'ils offrent pour leur plantation et leur faucardage, ce sont les végétaux à rhizomes qui présentent le plus grand intérêt. Ils sont héliophytes c'est-à-dire qu'ils conservent leurs appareils souterrains dans un sol gorgé d'eau et développent des organes végétatifs et reproducteurs aériens. Certains d'entre eux tels que les scirpes parviennent à coloniser le milieu dans une tranche d'eau relativement conséquente. Il semble toutefois qu'ils supportent mal des charges organiques élevées.

Les Phragmites (roseaux) aquatiques ou semi-aquatiques, s'accommodent parfaitement d'une submersion temporaire mais peuvent aussi se développer dans une tranche d'eau permanente et profonde. Toutefois, leur développement et leur densité décroissent avec la profondeur.



Les Typhas (massettes) colonisent volontiers les zones aquatiques permanentes et peu profondes. Ils sont intermédiaires entre les deux groupes précédents en ce qui concerne la tolérance à une certaine charge organique et leur place dans la zonation végétale des lagunes.

Les formes libres sont essentiellement les lentilles d'eau (Lemna) ; elles apparaissent périodiquement dans certaines installations et forment fréquemment un voile superficiel. Leur contribution positive est vraisemblable (contrôle du phytoplancton, conditions favorables à certains consommateurs tels les Cladocères, ...). Par contre, elles peuvent perturber plus ou moins gravement le milieu lagunaire :

- en réduisant la diffusion de la lumière dans le milieu avec répercussion sur le photopériodisme et la photosynthèse,
- en perturbant le régime thermique et en diminuant la fréquence des inversions dans la stratification thermique.

Lorsqu'on veut utiliser les macrophytes, il n'est pas souhaitable de « laisser faire » la nature. Les phénomènes de compétition signalés à propos des microphytes sont applicables aux végétaux supérieurs ; il en résulte que ceux qui se développent naturellement dans une lagune ménageraient des zones plus ou moins colonisées et plus ou moins perfor-

mantes du point de vue de l'épuration. De plus, leur développement optimal demanderait 2 à 3 années, voire davantage, **il faut donc planter.**

La faune

Son importance dans les lagunes est fréquemment sous-estimée. Certains organismes (rotifères, copépodes, cladocères) concentrent et éliminent les éléments figurés (bactéries, algues, substances organiques particulières) par filtration. Les protozoaires éliminent les bactéries et en particulier les bactéries libres contribuant de ce fait à la floculation. Tous participent très activement à l'épuration ; directement par l'ingestion directe et la floculation ; indirectement par le contrôle qu'ils exercent sur les populations algales. En concentrant ainsi les substances « stockées », ils contribuent à l'éclaircissement du milieu.

Nous nous limiterons dans ce qui suit aux organismes pour lesquels nous disposons du plus grand nombre de données. Il convient toutefois de garder présent à l'esprit que de nombreux autres êtres vivants complètent la chaîne trophique du milieu (nématodes, larves d'insectes, mollusques, crustacées,...) mais les données à leur sujet sont mal connues.

Les protozoaires (flagellés, ciliés)

Certaines espèces bactériophages et détritivores sont abondantes dans les eaux les plus chargées et dans les sédiments. D'autres sont algivores et microphages.

Leur densité est étroitement liée à la charge organique du milieu. Ils participent à l'élimination des germes de contamination fécale.

Les rotifères

Certaines espèces, algivores, suivent l'apparition des fleurs d'eau. D'autres, également algivores, sont volontiers bactériophages.

Rotifères et ciliés s'avèrent cependant incapables de juguler la production algale (leur rôle dans les processus de lagunage naturel semble relativement réduit).

Les cladocères

Les plus abondants appartiennent au genre Daphnia. Prédateurs du phytoplancton, ils peuvent l'être aussi des coliformes que l'on trouve dans leur défécation. La digestion de ces germes est toutefois plus importante que la fraction restituée. Au demeurant, les fortes concentrations de daphnies correspondent au minimum de celles des coliformes.



CLADOCERE

Le rôle des cladocères dans la biocénose lagunaire est :

• **positif :**

- par leur large contribution à l'abattement des taux de matière organique, des coliformes et des protozoaires, ainsi que des matières en suspension. Leur capacité de filtration est élevée, de l'ordre de plusieurs centilitres par individu et par jour
- en agissant sur les algues de petite taille, ils favorisent indirectement la croissance du périphyton lorsque celui-ci est présent (par réduction de la compétition : algues périphytiques - algues planctoniques)
- en provoquant, du fait de la filtration, un éclaircissement du milieu ce qui améliore la pénétration de la lumière.

• **négatif :**

- en abaissant le taux d'oxygène dissous par la prédation qu'ils exercent sur les microphytes (photosynthèse), voire même par leur propre respiration
- en s'attaquant aux algues les plus petites, qui sont aussi les plus efficaces dans l'élimination des substances nutritives. Il en résulte généralement en l'absence de périphyton une augmentation des taux en ammoniacque et phosphate dans la masse liquide
- par leurs excréments.

Les cladocères s'accommodent de charges organiques initiales élevées, de faibles taux d'oxygène, de la présence de toxines bactériennes, de l'ion NH_4^+ et de H_2S , et sont relativement peu sensibles aux conditions de température du milieu aquatique.

Les daphnies sont par contre très sensibles à la présence d'ammoniacque et tendent à disparaître en cas de prolifération algale au profit du genre *Moina*, dont l'intérêt est moindre : des développements excessifs de microphytes ont en effet pour conséquence l'élévation du pH (*) qui contrôle la dissociation de l'ammoniacque.

Les copépodes

Leur spectre alimentaire est étendu (algues, proies vivantes, jeunes larves d'insectes, cladocères, rotifères ou ciliés, organismes en décomposition). Ils sont apparemment peu abondants et leur développement semble limité dans le temps.

Cas particulier des poissons

Leur présence résultera très généralement d'un acte volontaire encore qu'ils puissent être introduits sans intervention humaine (transport des œufs par les oiseaux).

Les Cyprinidés tels que carpes et tanches sont apparemment les plus adaptés aux conditions présentes du milieu. Ils ont au stade adulte un régime mixte (algues, larves d'insectes, oligochètes,...).

La présence et le choix des poissons doivent être en relation directe avec un objectif de niveau de traitement et de contrôle donné. Il importe avant tout que les conditions favorables à leur survie soient réunies (habitat, qualité de l'eau, ...) préalablement à leur introduction éventuelle. Dans ce cas, les poissons peuvent permettre un certain traitement complémentaire de l'effluent. Dans une lagune fonctionnant dans de bonnes conditions, les Cyprinidés ont à leur disposition une nourriture abondante et relativement variée. Ils exercent alors une sélection active (liée à leur perception visuelle) des organismes vivant dans l'eau et les sédiments. De plus, une sélection passive s'effectue par filtration du plancton au niveau de leurs branchies. Il en résulte qu'ils s'alimentent des organismes les plus gros et contribuent ainsi à une amélioration de la productivité générale du milieu. Il est possible que les poissons ingèrent des particules organiques. Ils remettent plus ou moins partiellement en suspension les vases et favori-

(*) Le rapport $\frac{\text{NH}_4^+}{\text{NH}_4 \text{ OH}}$ est fonction de la température et du pH.

sent la redissolution des éléments nutritifs, ce qui constituera tantôt une gêne, tantôt un avantage, selon les conditions du milieu. Ils sont aisément « extractibles » d'une lagune et permettent ainsi l'exportation hors de l'installation d'éléments fertilisants.

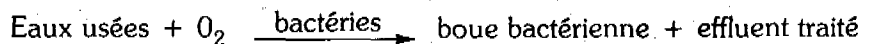
Quoi qu'il en soit, il est encore prématuré de se prononcer sur l'intérêt et l'efficacité réels des poissons dans les processus de lagunage. Les données à ce sujet sont encore très rares et fragmentaires. Il est permis de redouter un mauvais contrôle du phytoplancton de leur part, et l'apparition de brusques explosions algales entraînant les nuisances que l'on sait (100 mg d'algues induisent lors de leur décomposition une DBO ultime de 150 mg d'oxygène). Les résultats obtenus lors d'expérimentations à venir permettront sans doute de préciser l'intérêt et les modalités d'utilisation des poissons. On peut cependant admettre que dans l'ultime bassin d'un lagunage naturel ils peuvent jouer un rôle d'indicateur d'un traitement satisfaisant et surtout d'une absence de toxiques. L'introduction et le défaut d'un contrôle rigoureux d'espèces vivantes ne possédant pas de prédateur ou présentant une aptitude particulière à un développement explosif dans leur aire de transplantation font courir des risques graves à l'équilibre général des écosystèmes.

Il est par ailleurs généralement difficile, voire impossible, d'appréhender l'impact et l'intérêt (notamment comparé à celui de ses semblables autochtones) réels de l'action d'un organisme en quelque sorte « greffé » dans un milieu et introduit en raison de certaines particularités relatives à son régime alimentaire, sa valeur commerciale, son mode de développement, etc... Le ragondin, le rat musqué, le poisson-chat, la perche-soleil... ont ainsi, dans un passé récent, été à l'origine des perturbations dont nous ne cessons de découvrir l'ampleur. **Il est par conséquent fortement déconseillé au maître d'œuvre et aux exploitants de lagunes d'avoir recours, en l'état actuel des choses, à la jacinthe d'eau ainsi qu'aux carpes dites chinoises.**

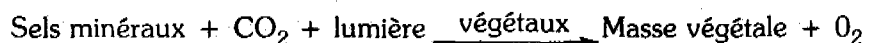
Les mécanismes de l'épuration

Mécanisme global

Du point de vue de l'épuration, le fonctionnement d'un lagunage simple peut être décrit par les schématisations suivantes :

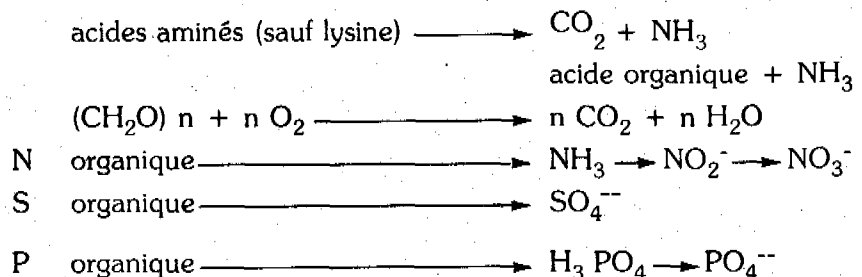


l'apport d'oxygène est assuré par les échanges avec l'atmosphère au niveau du plan d'eau et par les végétaux à chlorophylle.



Dans le lagunage aéré, l'oxygène est apporté artificiellement par les aérateurs.

Du point de vue des substances apportées à la lagune, le sens général des transformations par voie aérobie est le suivant :

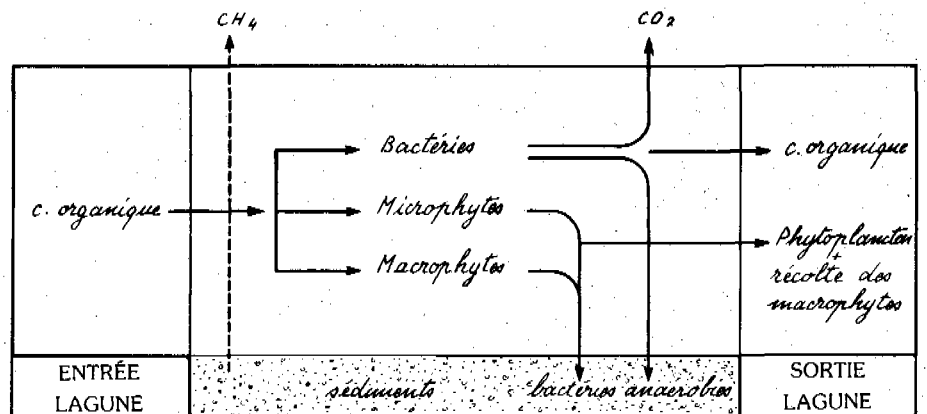


Cycle du carbone

La dégradation des matières carbonées intervient comme nous l'avons vu sous l'action des micro-organismes aérobies. On considère que

50 % du carbone organique peuvent être convertis en cellules bactériennes, le reste formant du gaz carbonique. Le seuil d'élimination possible de la charge carbonée est fonction du temps de séjour. Pour les processus extensifs la charge résiduelle soluble (DBO soluble) se situe à des niveaux très faibles (mais fonction de la température). Pour mémoire, la conversion de la charge organique peut être réalisée aussi par certains champignons susceptibles de se développer en lagunage simple ; l'absorption de matière organique par les macrophytes reste quantitativement négligeable (échanges prépondérants à ce niveau avec le sol et les sédiments). Les sédiments seraient le siège de phénomènes tantôt de stockage, tantôt de relargage de matière organique comme de composés minéraux, ou de micro-organismes : c'est là une donnée importante de la question pour laquelle nous ne disposons malheureusement que de renseignements rares et fragmentaires. Enfin, signalons que la production végétale, lorsqu'elle existe, représente une part non négligeable de la DBO résiduelle, ce qui rend le faucardage nécessaire et pose tout le problème de l'élimination des algues.

CYCLE DU CARBONE



Cycle du phosphore

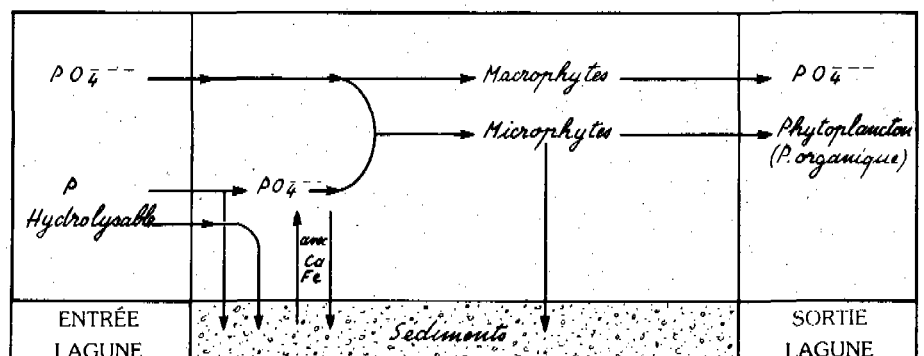
Deux formes du phosphore intéressent la production de matière végétale dans les lagunes :

- le phosphore soluble PO_4^{---} ,
- le phosphore hydrolysable (dont les polyphosphates associés en particulier aux détergents).

Le cycle du phosphore en milieu lagunaire peut se schématiser comme suit (dans le cas, le plus fréquemment rencontré, d'eaux non acides).

En l'absence de macrophytes, il est prévisible que le phosphore sous sa forme PO_4^{---} sera excédentaire et qu'il ressortira de la lagune, même en période de photosynthèse intense. Les macrophytes participent à la réduction de la charge résiduelle.

CYCLE DU PHOSPHORE



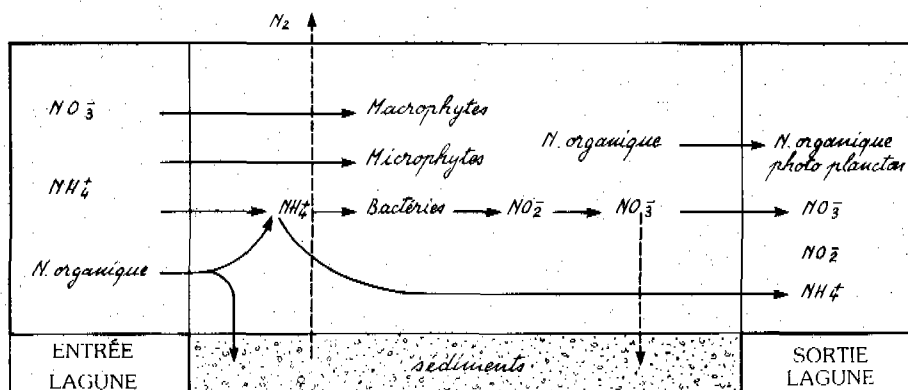
Dans le sédiment, la décomposition du carbone donnera de l'acide carbonique ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$) tendant à rendre les eaux plus acides, ce qui aura pour effet de ralentir la formation de calcaire ou de phosphate calcique. D'autre part, le milieu réducteur gardera les sels de métaux de transition (Fe, Mn, ...) sous forme réduite soluble, ce qui empêchera la coprécipitation du phosphore.

L'ensemble de ces phénomènes, ainsi que leur importance et leur évolution dans le temps, peuvent détenir une part de l'explication des effets de stockage et de relargage constatés in situ.

Cycle de l'azote

La nitrification nécessite des quantités d'oxygène importantes ; à titre d'illustration la nitrification de 20 mg d'azote ammoniacal produit 3 mg de cellules de nitrosomonas et 0,5 mg de cellules de nitrobacter en consommant 85 mg d'oxygène dissous (RIVIERE - 1976). De plus, certaines conditions limitantes doivent être surmontées pour permettre l'activité des bactéries nitrifiantes, à savoir taux d'oxygène suffisant (2 mg/l), temps de séjour important des bactéries (fonction de la température), temps de séjour qui sera presque toujours atteint en lagunage simple et en lagunage aéré. En période photosynthétique active, l'azote nitrique a tendance à disparaître : il est apparemment un facteur limitant de la biomasse. En fait, certaines algues auraient, d'après la littérature, la faculté de synthétiser NO_3^- à partir de l'azote de l'air et il y aurait alors conversion de NH_4^+ en NO_3^- ; si cette conversion existe bien, il semble qu'elle ne soit pas cependant nécessairement totale. L'azote est en définitive un facteur « retardant » et non pas limitant lorsqu'il ne reste plus pour les algues que NH_4^+ à consommer.

CYCLE DE L'AZOTE



Les matières en suspension (MES)

Celles qui entrent dans le système subissent un abattement important du fait de leur décantation, de la réduction de la fraction organique initiale et de l'adsorption, dont ne rendent pas totalement compte les bilans réalisés en sortie : ceci tient au fait qu'il s'est opéré un changement dans la nature des MES. Ce phénomène est constant quels que soient les systèmes d'épuration biologique. En sortie d'installation, les MES sont en majeure partie constituées de corps bactériens ; dans le cas particulier du lagunage simple, une fraction importante de ces MES sortant avec l'effluent traité est constituée d'algues. Ceci arrive aussi en lagunage aéré, mais de façon moins massive et moins régulière. Il semble en effet que dans ce dernier cas, le développement d'algues soit bien corrélé avec des phénomènes de sous-charge ou de salinité importante (régions côtières). De plus, des phénomènes saisonniers (printemps) de remontées de boues ne sont pas à exclure dans les lagunes simples et dans les lagunes de décantation des lagunages aérés. Ce phénomène, mal connu, et dont la fréquence reste aussi à étudier, ne semble toutefois pas devoir être rédhibitoire.

Elimination des germes pathogènes

Les germes pathogènes contenus dans les effluents domestiques proviennent presque exclusivement de la flore microbienne intestinale. Ces germes accompagnent une flore banale se comportant en commensales et ne présentant pas de risque sanitaire. Les germes pathogènes les plus connus sont les Salmonelles responsables des fièvres typhoïdes et paratyphoïdes, la Shigella des dysenteries, le Vibron du Choléra, l'Escherichia Coli. A ces bactéries peuvent se joindre d'autres éléments figurés tels que les entérovirus de la polyomyélite ou de l'hépatite virale A. Enfin, la présence de parasites présente des risques épidémiologiques très importants dans certaines régions du globe et non négligeables en France. Les Ascaris et le Taenia inermis responsable de la cysticerose bovine sont les plus courants en France métropolitaine. Dans les déplacements d'Outre-Mer, il faut tenir compte des ankylostomes et des schistosomes responsables de la Bilharziose.

Ces germes pathogènes sont émis par les individus malades (parfois par des porteurs sains) et ne sont donc généralement présents en grande quantité que dans les cas d'épidémie. Il est donc extrêmement difficile d'en effectuer une recherche systématique si ce n'est à l'occasion d'études particulières. Même en faisant appel à des techniques de concentration, les résultats de ces recherches sont souvent aléatoires et peu significatifs. Devant cette difficulté, il est apparu plus simple de caractériser le niveau de contamination fécale d'un milieu par le dénombrement des germes commensaux de l'intestin tels que les Coliformes fécaux, les Streptocoques fécaux et les Clostridium sulfite réducteurs. Ces germes, très abondants, plusieurs milliards expulsés par individu et par jour, sont d'origine fécale presque certaine. Ils ne se multiplient pas dans le milieu naturel et sont plus résistants que la majorité des germes pathogènes. Leur mise en évidence est facile et rapide, et **ils constituent des indicateurs sûrs et très sensibles**. Il convient toutefois de bien insister sur le fait qu'il s'agit de **germes non pathogènes**, sauf peut-être pour certains types de Coliformes fécaux.

Les Coliformes totaux ne sont pas de vrais indicateurs de pollution fécale car leur origine intestinale n'est pas certaine. Sensiblement plus résistants que les Coliformes fécaux aux agents désinfectants, ils sont utilisés comme germes-test pour juger de la qualité bactériologique des eaux potables.

On considère que les Coliformes fécaux caractérisent les contaminations fécales récentes tandis que les Streptocoques fécaux et les Clostridium plus rémanents peuvent en l'absence de Coliformes fécaux être les témoins d'une contamination plus ancienne. Pour juger du niveau de pollution bactériologique d'un effluent dans une lagune ou dans un milieu naturel affecté par le rejet d'un effluent, on pourra se limiter au dénombrement des Coliformes fécaux et éventuellement des Streptocoques fécaux. Dans les eaux usées brutes, les dénombrements font classiquement état de concentrations comprises entre 10^6 et 10^8 Coliformes fécaux par 100 ml.

On considère qu'un milieu naturel devient impropre aux usages de baignade lorsque le nombre de ces germes dépasse 1 000 pour 100 ml, la valeur moyenne souhaitable étant inférieure à 100. On voit donc qu'un dispositif de traitement des eaux usées classique éliminant 99 % des germes conduit à un rejet contenant encore de 10^4 à 10^6 germes pour 100 ml, ce qui est très éloigné des valeurs souhaitées.

L'expérience montre que le lagunage naturel conduit à une réduction très importante des germes. Les raisons précises en sont encore mal connues mais sont sans doute explicables par les phénomènes suivants :

- les germes disséminés dans un vaste milieu, où ils sont amenés à séjourner longtemps, trouvent difficilement un substrat limité en quantité et évoluent dans des conditions de température auxquelles ils ne sont pas adaptés,
- ils sont soumis à la concurrence vitale avec des organismes mieux adaptés ainsi qu'aux prédateurs des bactéries. Les phénomènes d'anti-

bioses mis en évidence dans les milieux naturels jouent également un rôle important dans les lagunes,

- les germes fixés sur les matières en suspension décantables sédimentent dans le fond de la lagune et se trouvent ainsi éliminés du milieu liquide,
- l'action directe des végétaux produisant des substances inhibitrices ou bactéricides a été mise en évidence pour certains macrophytes,
- le rôle germicide des ultraviolets est bien connu, il affecte essentiellement la couche superficielle des lagunes qui se renouvelle en permanence par les courants de convection.

L'élimination des germes qui constitue un des avantages les plus importants du lagunage, **apparaît essentiellement liée au temps de séjour de l'effluent** qui se chiffre en semaines dans les lagunes alors qu'il n'est que de quelques jours et le plus souvent de quelques heures dans les autres types d'installation. **Il faudra donc impérativement éviter les cheminements préférentiels** induisant des courts-circuits qui réduiront considérablement l'efficacité de la désinfection.

En conclusion, les phénomènes biologiques qui concourent à l'épuration des eaux usées par lagunage présentent des similitudes et des différences avec ceux utilisés dans les procédés classiques d'épuration par boues activées et lits bactériens qui peuvent se résumer brièvement dans le tableau suivant :

ELEMENTS DE COMPARAISON
ENTRE LES PROCÉDES CLASSIQUES
D'ÉPURATION ET LE LAGUNAGE

Procédés d'épuration Elément de comparaison	Procédés classiques		Lagunage		
	boues activées	Lits bactériens et disques biologiques	Lagunage naturel (traitement complet)		Lagunage aéré
			à microphytes	à macrophytes	
Principe de l'épuration - eaux	biologique aérobie	biologique aérobie	biologique aérobie	biologique aérobie	biologique aérobie
Etat de la culture	libre - floculée	fixée sur un support	libre peu floculée	en partie fixée sur support	libre peu floculée
Temps de séjour dans les bassins	quelques heures à quelques jours	quelques minutes à quelques heures	> 2 mois	> 2 mois	> 2 semaines
Contrôle de la culture	enrichissement par recyclage contrôle artificiel	autorégulation	autorégulation	autorégulation	autorégulation
Mode de fourniture d'oxygène	aération mécanique	aération par ruissellement	fourniture par les algues	fourniture par les algues	aération mécanique
Boues âge de la culture bactérienne	1 à 30 jours	quelques jours	2 mois	plusieurs mois	3 semaines
Degré de stabilisation à l'extraction	variable suivant la charge massique	très faible	très important	très important	important
Elimination des germes	1 à 2 u. log	1 à 2 u. log	3 à 5 u. log	3 à 5 u. log (données à confirmer)	2 à 3 u. log

En ce qui concerne l'élimination de l'azote et du phosphore par le lagunage, les connaissances actuelles ne permettent pas d'en définir les rendements et les modalités. On peut cependant dire :

- que les observations et mesures réalisées sur les lagunages en activité permettent de constater un abaissement conséquent (60 à 80 %) des taux d'azote et de phosphore entre l'effluent entrant et l'effluent traité. Cette diminution peut s'expliquer par plusieurs phénomènes concomitants qui sont :
- la décantation des MES qui séquestrent l'azote et le phosphore dans les sédiments avec cependant des périodes de relargage,
- les phénomènes de nitrification-dénitrification qui peuvent conduire à la production d'azote gazeux libéré dans l'atmosphère,
- l'assimilation par les macrophytes dont la récolte sortira les éléments assimilés du système. Les quantités d'azote et de phosphore ainsi extraites **restent très faibles** (une tonne de macrophytes en matière sèche contient environ 2 kg de phosphore).

Application au lagunage naturel

Terminologie

Le lagunage aéré naturellement (nous dirons : lagunage naturel) est un procédé de traitement des eaux résiduaires mettant en œuvre les cycles biologiques précédemment décrits dans un milieu où se trouve maintenue une tranche d'eau permanente.

Il s'apparente fondamentalement aux procédés biologiques conventionnels, mais en diffère cependant pour les raisons suivantes :

- il intègre des mécanismes naturels plus complets que dans les procédés classiques,
- aucune recirculation de l'effluent ne s'avère nécessaire pour enrichir la flore bactérienne,
- l'oxygénation du milieu résulte des échanges air-eau et surtout de l'activité photosynthétique des végétaux. Celle-ci doit être suffisante et n'implique aucun recours à un dispositif d'aération mécanique,
- il est davantage soumis aux conditions climatiques du milieu environnant.

Cependant, pour l'essentiel, l'élimination de la charge polluante organique est le fait de bactéries aérobies comme dans les procédés classiques.

Il ne sera donc pas question ici du lagunage anaérobie, ni des lagunes conçues comme de simples décanteurs ou bassins - tampons précédant ou suivant des stations d'épuration classiques.

Les ouvrages dans lesquels se réalise l'opération de lagunage sont des lagunes (*), encore que la littérature en langue française relative au procédé comporte des termes tels que bassin, étang... Du point de vue des processus mis en œuvre, les lagunes sont le siège d'une oxydation bactérienne parfois dénommée à tort stabilisation. Le qualificatif « aérobie » indique que les bactéries minéralisantes sont aérobies strictes ou anaérobies facultatives ; celui « d'anaérobie » qu'elles sont anaérobies strictes. Enfin, les lagunes où l'on distingue - ce qui est le cas le plus général - une zone aérobie supérieure prépondérante et une zone anaérobie inférieure réduite sont dites « facultatives ».

(*) Bien que ce terme désigne habituellement une étendue d'eau saumâtre.

En fonction de la nature et de l'importance des végétaux dont la présence est révélatrice de la conception de l'installation, nous distinguerons :

- **les lagunes à microphytes (*)** (algues planctoniques et benthiques) ; leur profondeur contrarie le développement des végétaux supérieurs (macrophytes) aquatiques. Elles font intervenir une culture bactérienne pour l'essentiel en suspension dans un milieu liquide,
- **les lagunes à macrophytes** (auxquels sont fixées les algues périphtiques) pour lesquelles la tranche d'eau est évidemment plus faible,
- **les lagunes composites** qui peuvent associer outre les deux genres précédents, différents types d'habitats aquatiques (pour la faune et la flore) relativement diversifiés.

Les lagunes d'une même installation peuvent être disposées en série ou en parallèle.

Lorsqu'elles sont en série, cette configuration favorise le fractionnement du traitement de l'effluent. En effet, une loi générale dûment vérifiée est que le jeu de la concurrence vitale privilégie la flore bactérienne la mieux adaptée aux conditions de milieu, au détriment des autres. **Par suite, chacune des lagunes se trouvera colonisée par une flore bactérienne spécifique des principaux stades de la transformation de la matière organique.** On supprimera les risques de court-circuit, ce qui est particulièrement important lorsque l'objectif est de désinfecter l'effluent (**). Les conditions d'aérobiose seront recherchées pour la première lagune qui est la plus chargée, elles seront alors satisfaites pour les bassins situés à l'aval.

La disposition en parallèle est rappelée pour mémoire. Cette disposition entraîne des sujétions de mise en œuvre et d'exploitation qui ne vont pas dans le sens de la rusticité non plus que de la fiabilité. Elle pourra cependant se justifier dans certains cas de charges variables.

Les performances de lagunage naturel

Bien que le procédé de lagunage à microphytes bénéficie d'une expérience plus grande et de données plus précises que pour les autres types de lagunage, son introduction en France est récente et les difficultés rencontrées du point de vue de la quantification de ses performances demeurent réelles. L'extrapolation au territoire national des résultats obtenus au niveau régional (Languedoc-Roussillon notamment) est délicate. Quant aux lagunes à macrophytes, les données sont le fait d'expériences étrangères (***) et sont encore limitées à un petit nombre d'installations. Elles n'en sont cependant pas moins dignes d'intérêt.

Il paraît possible de dégager des ordres de grandeur concernant la réduction de la charge organique et la réduction de la charge bactériologique (exprimée en fonction des germes-test de contamination fécale).

La charge organique éliminée

En traitement complet, la charge admissible est exprimée en kg de DBO5 par hectare et par jour. En effet, les conditions d'aérobiose qui doivent être maintenues de manière impérative sont étroitement liées à la surface du plan d'eau. En traitement complémentaire, il n'est pas évident que le critère à retenir soit celui du passage en anaérobiose ; la DBO5 perd également de son intérêt : sans doute faudrait-il lui associer la DCO, les teneurs en azote et en phosphore. D'une façon générale, les performances constatées sont comparables à celles obtenues par les sta-

(*) Le lagunage simple à l'origine opposé au lagunage aéré est, dans la quasi totalité des cas où il est cité dans la littérature, une expression utilisée pour le procédé de traitement des eaux usées mettant en œuvre des lagunes à microphytes.

(**) Un court circuit intéressant 1 % du débit limitera l'abaissement des germes à 2 U log.

(***) Pays Bas et R.F.A. essentiellement pour une application en France

tions biologiques aérobies conventionnelles. Toutefois la mise en œuvre des seules lagunes à microphytes réduit les performances de traitement en raison du taux de MES essentiellement constituées par les algues à la sortie des ouvrages. Ce degré d'épuration est le plus souvent compatible avec le maintien de la qualité des milieux récepteurs concernés par le rejet, notamment en zone littorale. La disposition judicieuse de lagunes de différentes natures en série peut conduire à de très hautes performances, ce que devraient démontrer certaines opérations en cours à caractère expérimental.

La charge bactériologique éliminée

Les expérimentations conduites en matière de lagunage simple semblent confirmer les ordres de grandeur fournis par les modèles proposés dans la littérature étrangère.

« Si le processus de destruction des germes pathogènes est uniforme, c'est-à-dire ne comporte pas de changements qualitatifs ou quantitatifs, il est possible de se référer à la loi de Chick :

$$\frac{N}{N_0} = 10^{-Kt} = e^{-K't}$$

- N = nombre le plus probable de bactéries après la durée R de rétention
- N₀ = nombre le plus probable de bactéries initiales
- K = « constante » de vitesse, log₁₀ (disparition journalière de bactéries),
- K' = « constante » de vitesse log_e

L'élimination des germes est supposée dans cette formule obéir à une cinétique du premier ordre, c'est-à-dire que la vitesse d'élimination est à tout instant proportionnelle à la teneur du « substrat » présent dans le milieu (ce qui se traduit par $\frac{dN}{dt} = K(T) \cdot N$)

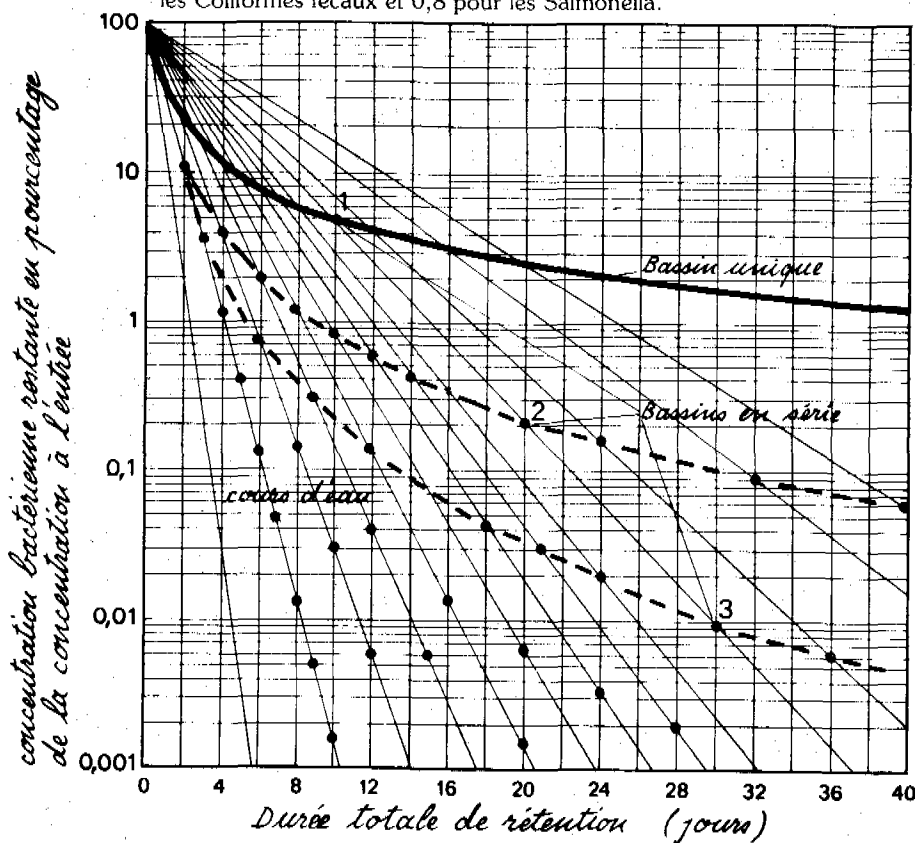
L'application de cette loi (Marais) a conduit à l'établissement de la formule suivante :

$$N = \frac{N_0}{(K T_1 + 1) (K T_2 + 1) (K T_3 + 1)} = \frac{N_0}{\left[\frac{KT}{n} + 1\right]^n}$$

où :

- N₀ → est la concentration initiale en germes
- N → est la concentration finale
- T₁, T₂, T₃ → les temps de séjour dans les lagunes 1.2.3
- K → est le coefficient qui varie en fonction des germes et serait égal à 2 pour les Coliformes fécaux et 0,8 pour les Salmonella.

CONCENTRATIONS
THEORIQUES DES BACTERIES
D'ORIGINE FECALE,*
K ETANT SUPPOSE EGAL A 2



Cette formule peut être traduite par l'abaque ci-après .

Les études menées sur les lagunes du Languedoc n'ont pas confirmé cette loi. Un modèle dit languedocien est proposé par le BCEOM sous la forme empirique suivante :

$$N = N_0 L^{-Kt^{0,5}}$$

où la valeur de K varierait en fonction de la température de la manière suivante :

$$\begin{aligned} - \text{ pour } t \geq 10^\circ \text{ C} & \quad K = 1e^{0,0254 t - 0,948} \\ - \text{ pour } t < 10^\circ \text{ C} & \quad K = 1e^{0,50} \end{aligned}$$

(On peut penser que les prochains modèles mathématiques prendront également en compte les conditions d'ensoleillement).

La valeur de K serait lue sur l'abaque^(A)

Si l'on admet les bases classiques d'un rejet de 150 l par usager dans une lagune dont la profondeur serait de 1m, on peut lire directement sur l'abaque^(B) les surfaces à mettre en œuvre. On lit par exemple qu'un abattement de la concentration de quatre logarithmes implique pour des températures comprises entre 15 et 20° C une surface voisine de 4 m² par habitant (temps de séjour de 30 jours).

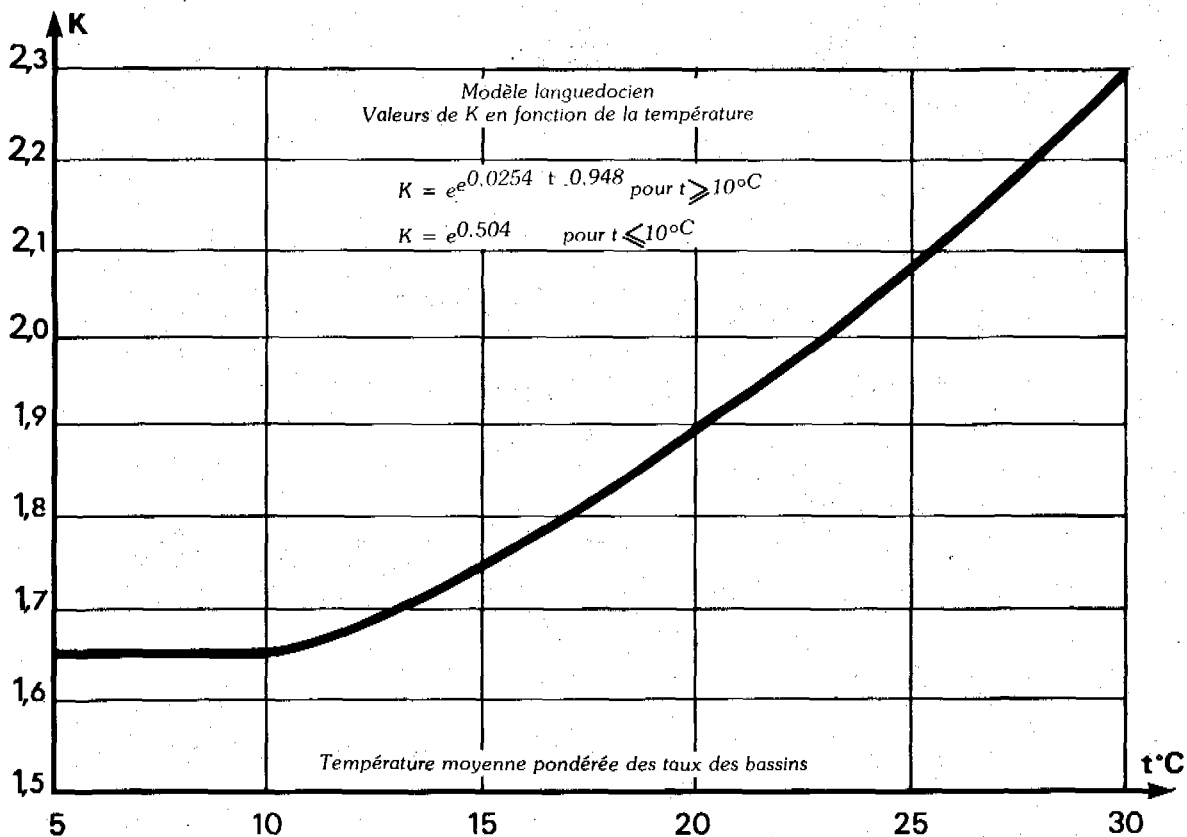
L'application de la formule de Marais pour trois bassins successifs dont les temps de séjour seraient de 15,8 et 8 jours donnerait un abattement voisin de 10⁴ pour les coliformes fécaux.

$$\frac{N}{N_0} = \frac{1}{(2 \times 15 + 1) (2 \times 8 + 1) (2 \times 8 + 1)}$$

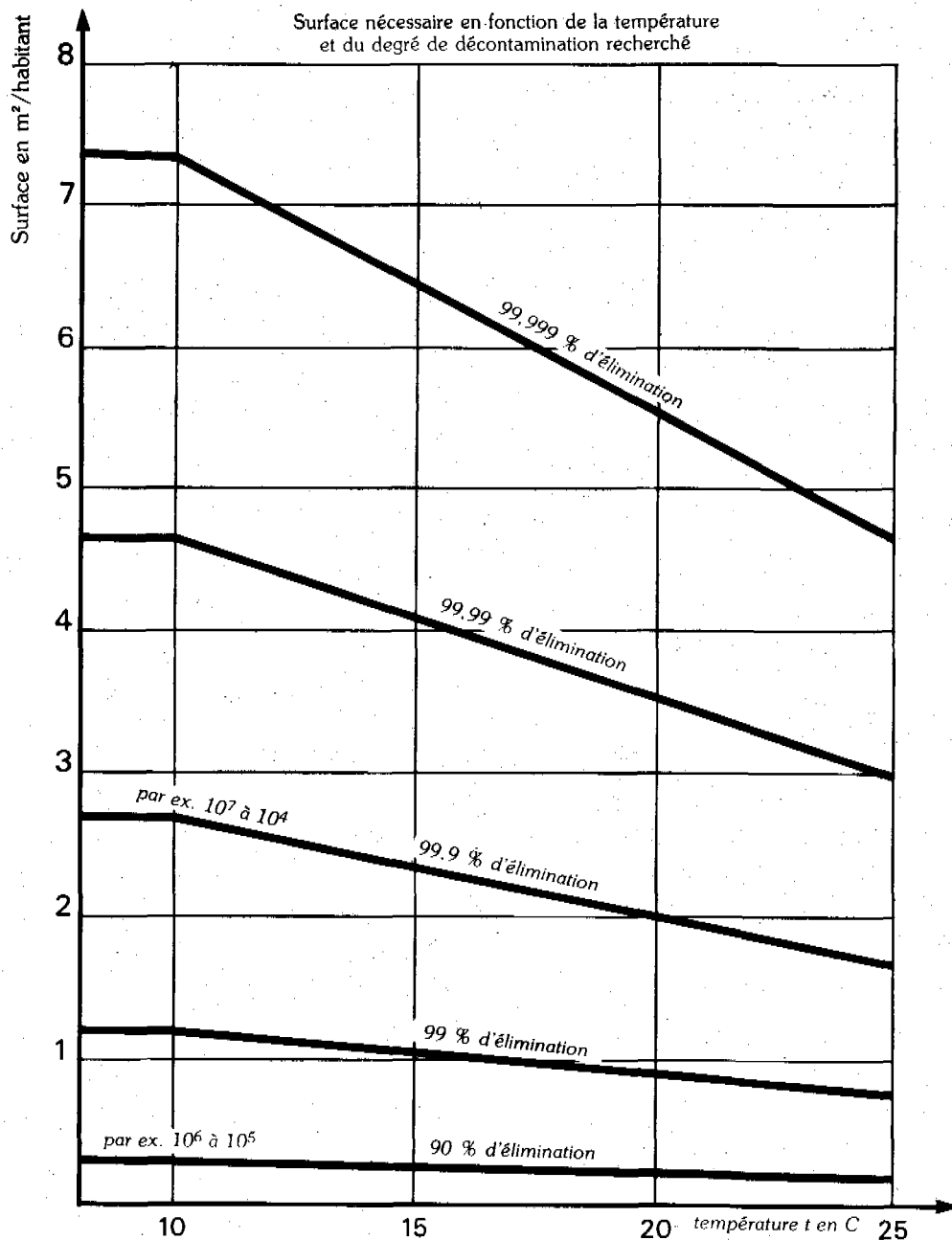
$$\frac{N}{N_0} = \frac{1}{10\,318} \approx 10^{-4}$$

La différence essentielle entre les formules de Marais et celle du BCEOM concerne donc l'opportunité d'un fractionnement en plusieurs bassins qui n'est pas prise en compte dans la formule Languedocienne. On peut penser qu'en raison des risques de cheminements préférentiels, le fractionnement en plusieurs bassins constitue une précaution indispensable.

ABaque A



ABaque B



D'après RINGUELET et BCEOM 1977

En résumé, si un temps de séjour supérieur à **60 jours en 3 bassins** assure une désinfection, il ne convient pas d'abaisser cette durée à des valeurs inférieures à 30 jours, même dans le cas d'un lagunage à microphytes de finition. Les performances des lagunages à macrophytes sont encore mal connues mais il y a tout lieu de penser qu'elles sont du même ordre que celles des lagunes à microphytes.

Rappelons qu'en terme de rendement, un taux de réduction de 99 % est faible et que la précision des mesures et la représentativité des échantillons conduisent à une incertitude sur les résultats de l'ordre d'une puissance de 10.

Dans ces conditions, il sera nettement préférable d'exprimer l'abattement de la charge bactériologique en puissances de 10 (ou unités log.10 : U.L.) et **le lagunage naturel visera à une réduction d'au moins 4 U.L.** de la concentration initiale qui peut varier de 10^7 à 10^{10} .

Conception des lagunes

Le caractère extensif du procédé de traitement par lagunage offre aux concepteurs de très larges facilités d'adaptation qui doivent cependant s'inscrire dans un cadre défini par quelques règles qui découlent directement des processus décrits précédemment. Elles porteront sur :

- la conception générale,
- la profondeur des lagunes qui est une règle fondamentale pour le fonctionnement,
- la charge organique admissible,
- le temps de séjour qui découle de l'application des deux règles précédentes.

Conception générale des lagunes

La conception générale sera basée sur l'utilisation la plus rationnelle des terrains disponibles dans le but de profiter au mieux des possibilités d'intégration au site offertes par le lagunage.

A titre d'illustration, la figure suivante montre quelques possibilités offertes pour une station d'épuration desservant 1 000 habitants.

Profondeur des lagunes

Lagunes à microphytes

L'épaisseur de la tranche d'eau est définie en fonction de l'importance relative aérobiose-anaérobiose.

L'activité photosynthétique intéresse une frange située entre 0 et 1 m sous la surface libre et est maximale dans les 20 à 30 cm supérieurs.

La pénétration de la lumière, variable en fonction de l'importance et de la nature des matières en suspension, devient faible dans une lagune et sous nos climats au-delà de 1,50 m. Il en résulte que les risques d'une évolution en anaérobiose sont sérieux à partir de cette profondeur.

Pour éviter le développement des végétaux supérieurs, la profondeur ne saurait être inférieure à 0,80 m. La meilleure méthode (et la plus simple) consiste pour le concepteur à observer ce qui se passe dans des plans d'eau proches de l'installation projetée.

On doit enfin prendre en compte les exhaussements du fond par suite du dépôt des boues au cours du temps.

L'optimum moyen sur le territoire français est donc voisin de 1 m et peut atteindre 1,50 m lorsque la topographie et les conditions de réalisation le requièrent.

A noter que la pente des talus de digues doit être aussi forte que possible afin de limiter le développement des végétaux supérieurs sur ces digues, mais sera généralement fixée par les conditions de réalisation.

Lagunes à macrophytes

Il est souhaitable de préparer une lagune à macrophytes de la même manière que celle à microphytes du point de vue de l'étanchéité du fond et des berges. Il sera ensuite procédé à un apport de matériaux tout-venant (pas nécessairement de la terre végétale) uniformément répartis en une couche d'épaisseur voisine de 5 cm après tassement.

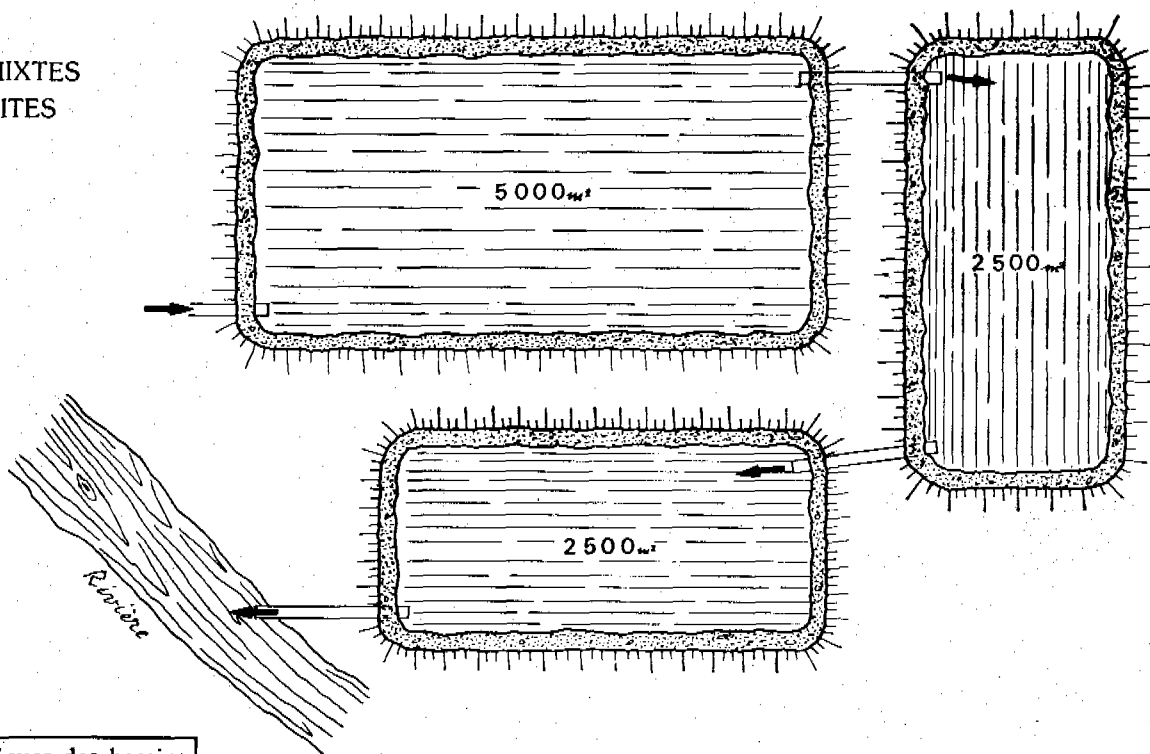
La tranche d'eau utile aura une épaisseur variable de 0 à 0,50 m, et l'on retiendra la valeur courante : 0,30 m.

Lagunes composites

Elles sont une composition des deux types précédents : par rapport au premier groupe, elles se distinguent par une pente de talus de digues relativement faible.

Les végétaux de ceinture présentent, dans ce dispositif, l'intérêt supplémentaire d'assurer une bonne protection contre le battillage et de favoriser l'intégration au site.

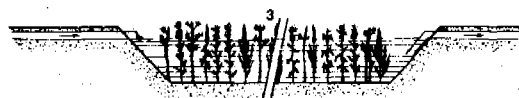
LAGUNES MIXTES
ET COMPOSITES



Les formes géométriques des bassins seront avantageusement remplacées par des formes irrégulières permettant une meilleure utilisation des surfaces disponibles.



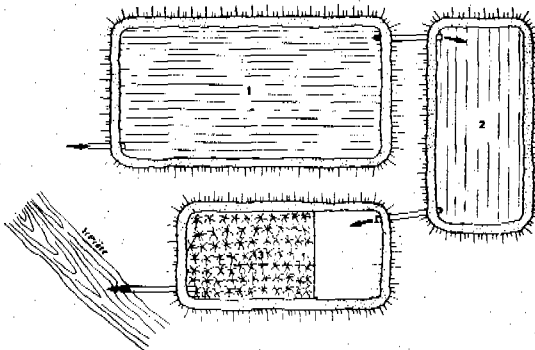
LAGUNES COMPOSITES



autres dispositions



LAGUNES MIXTES
ET COMPOSITES
autres dispositions



Charge organique admissible

A défaut d'indications plus précises, le concepteur retiendra comme **valeur de la charge maximale admissible 50 kg de DBO5 par hectare de plan d'eau, sous climat français « moyen »** pour l'ensemble de l'installation de traitement, ce qui conduit à prévoir **1 ha de plan d'eau pour 1 000 habitants**.

Dans le cas où il s'agit de lagunes mixtes ou à microphytes, la première lagune de la série sera conçue de manière à recevoir une charge journalière maximale de 100 kg de DBO5/ha ; ce qui revient à lui donner, toutes choses égales par ailleurs, une superficie égale à la moitié de la superficie totale.

Dans le cas de lagunes à macrophytes, la plus chargée ne pourra pas admettre plus de 50 kg de DBO5/ha/jour.

Temps de séjour

Données actuelles :

Le temps de séjour d'un effluent dans une installation de lagunage naturel est sans doute le paramètre essentiel dans le cas des lagunes à microphytes, il traduit en fait les conditions de durée nécessaire à la prise en compte de la charge organique par les bactéries en suspension.

Il doit être de :

60 jours, dans le cas d'un traitement intégral

30 jours, dans le cas d'un traitement complémentaire.

Les lagunes à macrophytes ne constitueront pas la première étape d'une série en raison de la sensibilité des végétaux (sauf les phragmites) envers les sédiments et la nécessité des curages. Certaines données actuelles semblent indiquer qu'à superficie égale (correspondant à un temps de séjour plus faible) les performances réalisées sont sensiblement égales à celles des lagunes à microphytes. Cette efficacité serait liée aux grandes surfaces de contact offertes par les tiges végétales et la diversité des espèces trouvées dans un tel milieu qui sont des paramètres importants pour l'épuration.

Rien ne s'oppose au **surdimensionnement** des ouvrages. Il peut être intéressant d'envisager ce cas de figure afin de laminer par exemple le flux hydraulique consécutif à des eaux d'orage (bassins d'orage). Un tel surdimensionnement doit cependant être limité d'une part pour des raisons économiques (immobilisation foncière excessive pour un gain marginal d'épuration), d'autre part pour qu'en période de faible alimentation l'épaisseur de la tranche d'eau pré-déterminée soit maintenue. Il faut donc que, à tout moment, l'on ait : infiltration + évaporation \leq débit d'entrée. Les conditions climatologiques locales (température, pression atmosphérique, vent) fixent la valeur de l'échange eau-atmosphère qui se traduit par la perte d'un volume d'eau souvent non négligeable (de l'ordre de 50 m³ par jour et par hectare de plan d'eau en période estivale). Les conditions d'infiltration sont étroitement liées aux conditions dans lesquelles l'étanchéité est obtenue.

Adaptation à la desserte des populations variables

Le lagunage naturel paraît particulièrement bien adapté aux traitements des eaux usées issues des collectivités à populations variables. On trouve pour ces cas d'application une conjonction favorable entre les objectifs du traitement qui impliquent une élimination des germes mais offrent souvent une grande tolérance quant aux rejets d'algues et les conditions de température relativement élevée qui accroissent les performances du traitement. On peut également ajouter qu'une utilisation partielle dans le temps des installations diminue considérablement la fréquence des curages (15 à 25 ans pour le premier bassin).

En raison de l'inertie du procédé, **le dimensionnement des ouvrages sur la charge de pollution maximum ne paraît pas justi-**

fié lorsque cette pointe est de courte durée, ce qui est souvent le cas. Il convient donc de calculer les volumes des lagunes en intégrant la somme des volumes pouvant être reçus pendant une période consécutive de 60 j pour les lagunes à microphytes, correspondant aux mois de juillet et août. Selon l'acuité de la pointe, le dimensionnement des lagunes pourra être réduit de 10 à 20 % par rapport au dimensionnement effectué sur la pointe.

Dimensionnement du lagunage naturel

(climat tempéré, territoire français, hors domaine de montagne)

Effluent domestique caractérisé par :

- pollution en DBO5 de 50 g/jour par habitant
- volume d'effluent compris entre 100 et 200 l par habitant

Nombre de lagunes : 3

Surface totale des plans d'eau : 10 m² par usager

Surface de la première lagune : 5 m² par usager

Lagunes à microphytes :

profondeur moyenne : 1 m

Lagunes à macrophytes :

profondeur moyenne : 0,30 m

Combinaison des deux types :

1^{ère} lagune à microphytes : 5 m² par usager

2^e lagune à microphytes : 2,5 m² par usager

3^e lagune à macrophytes : 2,5 m² par usager

Terminologie

Le lagunage aéré se caractérise par un bassin de traitement dans lequel la charge biodégradable d'un effluent est détruite par voie bactérienne, une partie au moins de ce traitement étant réalisée en aérobose grâce à un apport d'oxygène dissous dans l'eau artificiellement (aérateurs mécaniques, insufflation d'air, etc...). **Il n'y a pas de recirculation de la culture bactérienne.**

Pour les installations de faible taille, le traitement secondaire se compose généralement de deux lagunes :

- **la lagune d'aération** : dans laquelle se réalisent l'aération, la croissance et la stabilisation partielle de la culture bactérienne et l'essentiel de l'attaque de la charge biodégradable,
- **la lagune de décantation** : dans laquelle les matières décantables (qui forment les boues) se séparent physiquement de l'eau épurée.

On distingue classiquement deux types de lagunes d'aération définissant ainsi :

- **le lagunage aéré aérobie** (ou lagunage aéré stricto sensu) : dans la lagune d'aération l'énergie de brassage est suffisante pour qu'aucun dépôt ne se forme,
- **le lagunage aéré aérobie - anaérobie « facultatif »** : la puissance de brassage de la lagune d'aération est insuffisante pour éviter les dépôts. Théoriquement, un équilibre du niveau des boues en chaque point se réalise. Ces dépôts sont évidemment en anaérobiose. De fait, l'équilibre du niveau des boues est instable, divers phénomènes intervenant (remontée de boues due à une accélération de la production de gaz, resolubilisation d'une partie des dépôts, ...).

Performances - Considérations théoriques

Parmi les processus précédemment décrits, ceux qui font intervenir les bactéries sont de loin les plus importants. En effet, le développement d'algues en lagunage aéré est aléatoire et beaucoup moins important que dans le lagunage naturel. Il peut néanmoins se produire surtout dans les lagunes de décantation. Nous avons choisi de présenter ici une théorie simplifiée permettant de comprendre les relations essentielles qui peuvent lier les performances d'un lagunage aéré à un certain nombre de facteurs. L'expérience ainsi que la bibliographie montrent qu'il ne saurait guère être question d'utiliser comme base stricte de dimensionnement d'une installation, des calculs dérivant seulement des équations que nous présentons ici.

Contrairement au lagunage naturel, le lagunage aéré ne se différencie d'un traitement biologique classique par boues activées par exemple que par l'absence de recirculation de la culture bactérienne. On peut donc appliquer à ce procédé les modèles de croissance des cultures bactériennes tirés de la loi de Monod. Ainsi les performances du traitement seront liées à la biomasse maintenue dans les lagunes.

Le taux de croissance de cette biomasse S_a , s'écrit :

$$\mu = \frac{d S_a}{S_a dt}$$

$$\text{soit : } \mu = \frac{1}{t} \log \frac{S_a}{S_0}$$

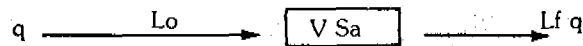
En phase exponentielle, ce taux de croissance peut être considéré comme constant et maximal.

En phase de croissance ralentie, ce qui sera le cas dans les lagunes pour lesquelles on souhaite obtenir des boues suffisamment stabilisées pour ne pas fermenter dans les bassins de décantation, le taux de croissance sera limité par la concentration L_f . Cette concentra-

tion du substrat disponible dans les lagunes (DBO dissoute) sera également la concentration de l'effluent traité, la lagune étant considérée comme un mélange intégral. On aura donc :

$$\mu = \mu \max \frac{L_f}{K_S + L_f}$$

L'équilibre du réacteur biologique peut être schématisé de la manière suivante :



où :

q est le débit d'effluent

L_0 la concentration de pollution entrant dans la lagune

V le volume du bassin

S_a la biomasse

L_f la concentration de pollution sortant de la lagune

La pollution détruite par unité de temps sera $V \frac{\Delta L}{t}$

$$q(L_0 - L_f) = V \frac{\Delta l}{t} = V \frac{dl}{dt}$$

$$\text{si } \frac{\Delta S_a}{t} = -am \frac{\Delta l}{t} = \mu S_a$$

am étant le coefficient de transformation de la pollution en matière vivante.

à l'équilibre $\frac{dl}{dt} = 0$.

et

$$\frac{L_f}{L_0} = \frac{1}{1 + am L_f S_a t}$$

$$\text{en posant } K = \frac{\mu S_a}{am L_f}$$

$$\frac{L_f}{L_0} = \frac{1}{1 + K S_a t}$$

$$t = \frac{L_0 - L_f}{K L_f}$$

Cette présentation montre que le rendement est une fonction croissante du temps de séjour.

Nous voyons par ailleurs que k_f représente les conditions du milieu : type de bactérie, nourriture présente, etc... et en particulier nous pouvons indiquer, suite aux travaux de nombreux auteurs, l'influence de la température de l'eau sur la valeur du coefficient K sous la forme suivante :

$$k = k_{20} \times u^{(10 - 20) \theta} \quad \theta \text{ en degrés centigrades}$$

pour $u = 1,06$ à $1,095$ k_{f20} serait de l'ordre de 0,5 (BARTSH et RANDALL).

ainsi obtient-on $k_{10} = 0,54 k_{20}$ soit à peu près 0,27.

Selon certains auteurs, ce type de formule n'est pas applicable en dessous de 10°C (u étant lui-même fonction de la température).

Il convient donc d'apprécier la température de l'eau dans les lagunes.

On peut proposer le type de calculs suivant pour déterminer ces températures :

$$f. A. (T_L - T_a) = Q (T_1 - T_L)$$

T_1 = température de l'effluent brut ($^\circ\text{C}$)

T_a = température de l'air

T_L = température de la lagune d'aération ($^\circ\text{C}$)

Q = débit journalier (m^3/j)

A = surface de la lagune d'aération (m^2)

ECKENFELDER propose $f = 0,7$ pour le climat des Etats-Unis.
 WHITE et RICH proposent $f = 0,5$ pour les mois les plus froids (moyenne mensuelle de la température de l'air à 2°C en effluent domestique).

On peut admettre pour un réseau relativement long $T_1 = 1$

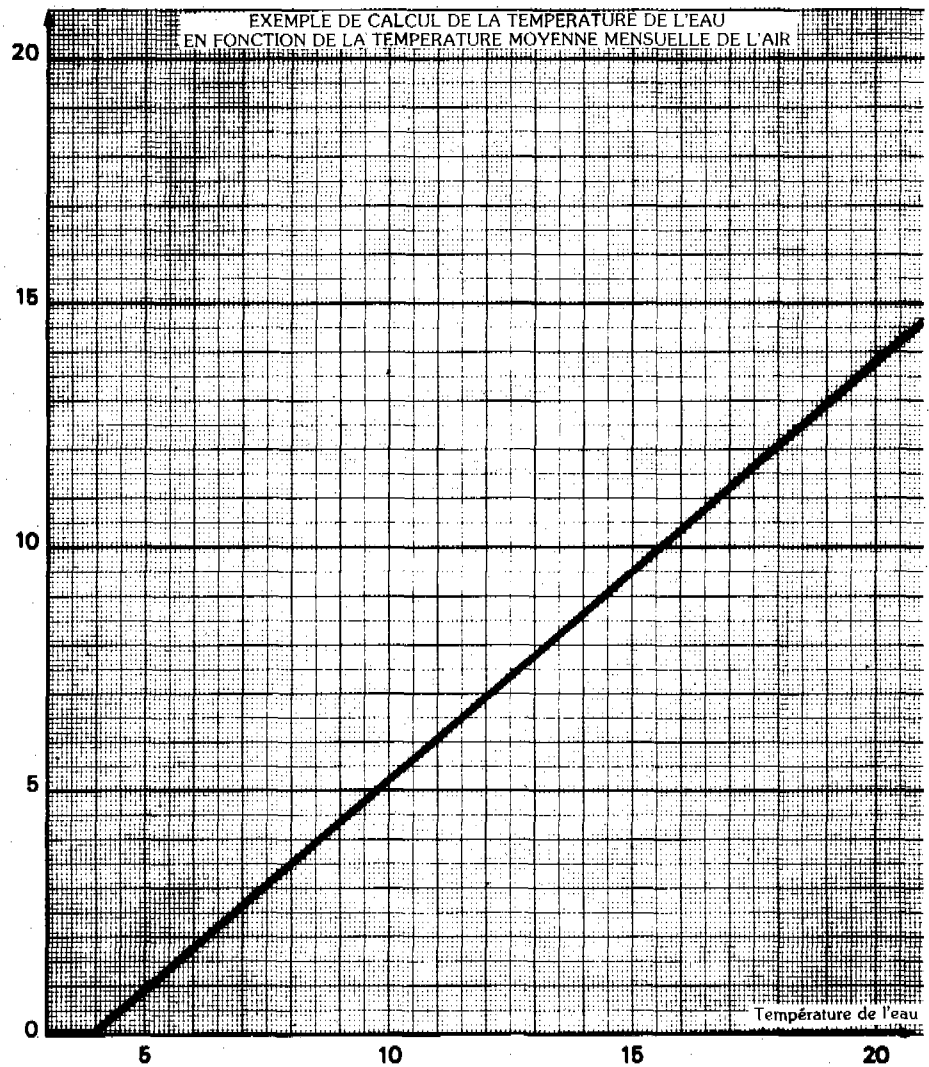
$$T_1 = 10 + 0,25 T_a$$

d'où

$$T_L = \frac{10Q + T_a (0,25 Q + 0,6 A)}{Q + 0,6 A}$$

Les résultats de ce calcul appliqué au cas d'une lagune pour 1000 habitants, berges à 45° , profondeur 3 m, font l'objet du graphique ci-après :

TEMPÉRATURE DE L'AIR $^{\circ}\text{C}$



On voit donc qu'en hiver, le rendement des lagunes sera très sensiblement plus faible.

Dimensionnement des ouvrages et équipements

Pour des raisons d'économie de fonctionnement, il semble que le lagunage aéré aérobie anaérobie facultatif s'impose en particulier en commune rurale. Nous mentionnerons seulement ici, que pour le lagunage aéré stricto sensu les puissances spécifiques nécessaires, en effluent de commune rurale seraient de l'ordre de 12 w/m^3 avec une forme ramassée de lagune et que le dimensionnement ne différerait pas sensiblement de celui que nous proposons en anaérobie « facultatif ».

Lagune d'aération

Pour un effluent domestique classique, 50 g de DBO5 et 150 l par usager, l'application de la formule établie précédemment fournit pour une valeur de $K = 0,7$ un temps de séjour d'environ 15 jours et pour une valeur $K = 0,5$ un temps de séjour de 20 jours permettant d'obtenir un effluent traité contenant 30 mg/l de DBO5.

Pendant les périodes favorables, lorsque la température de l'eau dépasse 20°C , les temps de séjour nécessaires à l'obtention d'un effluent correctement épuré peuvent être sensiblement plus faibles. Cependant, dans ce cas, les boues produites dans le bassin d'aération et retenues dans le bassin de décantation ne seront pas suffisamment stabilisées (l'âge des boues dans un bassin de lagunage étant identique au temps de séjour de l'effluent). Les risques de fermentation dans le décanteur seront donc importants et se traduiront par des remontées de boues dans ces bassins et des taux élevés de matières en suspension dans l'effluent rejeté. **Il convient donc de ne pas abaisser le temps de séjour à moins de 20 jours dans les bassins d'aération qui seront donc dimensionnés sur la base de 3 m^3 par usager desservi.** Cette valeur permet de prendre en compte l'encombrement du bassin pour les dépôts qui peuvent occuper de 20 à 25 % du volume total de la lagune d'aération.

La puissance spécifique devra être de l'ordre de 5 à 6 w/m^3 . Pour les systèmes d'aération classique (aération de surface ou insufflation d'air) c'est une puissance suffisante pour le brassage et la satisfaction des besoins en oxygène. Une étude de WHITE et RICH montre que de plus c'est à cette puissance spécifique que les développements d'algues seraient les moins importants.

Les besoins en oxygène sont difficiles à définir précisément en raison notamment de la fraction de pollution dégradée en anaérobiose dans les sédiments. On peut cependant estimer que l'élimination de 1 kg de DBO5 implique une consommation d'environ 1,5 kg d'oxygène. Les aérateurs utilisés auront le plus souvent de faibles rendements d'oxygénation compris entre 0,7 et 1 kg d'oxygène par kwh consommé. Il s'en suivra **une consommation en énergie électrique voisine de 2 kwh par kg de DBO5 éliminée (*)**.

Cette énergie sera très inférieure aux possibilités des aérateurs dimensionnés sur la base de 5 w/m^3 de bassin. Pour une lagune de 1 000 habitants traitant 50 kg de DBO5, dont le volume sera de $3 000 \text{ m}^3$, la puissance installée sera de 15 kw. Les besoins en énergie seront de $50 \times 2 = 100 \text{ kwh}$ et seront donc fournis en moins de 7 heures de fonctionnement. Il sera donc nécessaire de disposer de moyens de réglage du temps de fonctionnement des aérateurs par des horloges à plots capables de ménager des cycles de fonctionnement au moins égaux à 20 mn.

La profondeur utile de la lagune sera de 2,50 à 3 m si on utilise des turbines et aussi importante que possible dans le cas d'aération par insufflation d'air (aux USA avec de tels systèmes, certaines lagunes atteignent des profondeurs de 6 à 8 m).

Cette lagune d'aération peut être composée en fait de plusieurs lagunes en série, mais les avantages hydrauliques ne paraissent pas suffisants pour compenser dans la gamme évoquée ici le surcoût d'investissement.

(*) Cette consommation d'énergie qui peut paraître excessive est dans la pratique souvent largement dépassée par celle des procédés d'aération prolongée.

Lagune de décantation

Le bassin de forme allongée aura 5 jours de temps de séjour théorique avec une profondeur utile de 2 m environ. On le cure lorsque les boues laissent une tranche de surnageant de 1 m, c'est-à-dire, dans le cas présent, occupent la moitié du volume. Un temps de séjour (théorique) inférieur à 2 jours, avec des boues de lagunage aéré, entraîne une dégradation de la qualité de l'effluent.

Deux bassins en parallèle de 3 - 4 jours de temps de séjour au minimum peuvent être prévus, ce qui permet de réaliser les opérations de curage avec beaucoup plus de souplesse, et en gardant constamment un effluent de bonne qualité. Ces lagunes fonctionneront en alternance.

En résumé, le lagunage aéré appliqué aux petites collectivités sera caractérisé par les éléments de dimensionnement suivants :

Lagune d'aération

- volume : 3 m³ par usager desservi
- profondeur : 2 à 3,50 m avec des aérateurs de surface
- > 4,00 m avec insufflation d'air.

Lagune de décantation

- volume : 0,6 à 1 m³ par usager éventuellement en deux bassins fonctionnant en parallèle
- profondeur : 2 à 3 m.

Surface à prévoir : 1,5 à 3 m² par usager desservi suivant l'emprise des digues.

Domaine d'utilisation

Eléments du choix d'un lagunage aéré

Domaine d'utilisation

Les rendements obtenus, y compris en conditions hivernales, sont compatibles avec l'installation de stations d'épuration en lagunage aéré lorsque le niveau 4 de traitement est exigé. En situation de sous-charge et à la belle saison, une nitrification assez importante peut intervenir. Un problème subsiste, qui est lié aux développements possibles d'algues vertes. Ces algues microscopiques décantent mal et augmentent la charge de l'eau épurée.

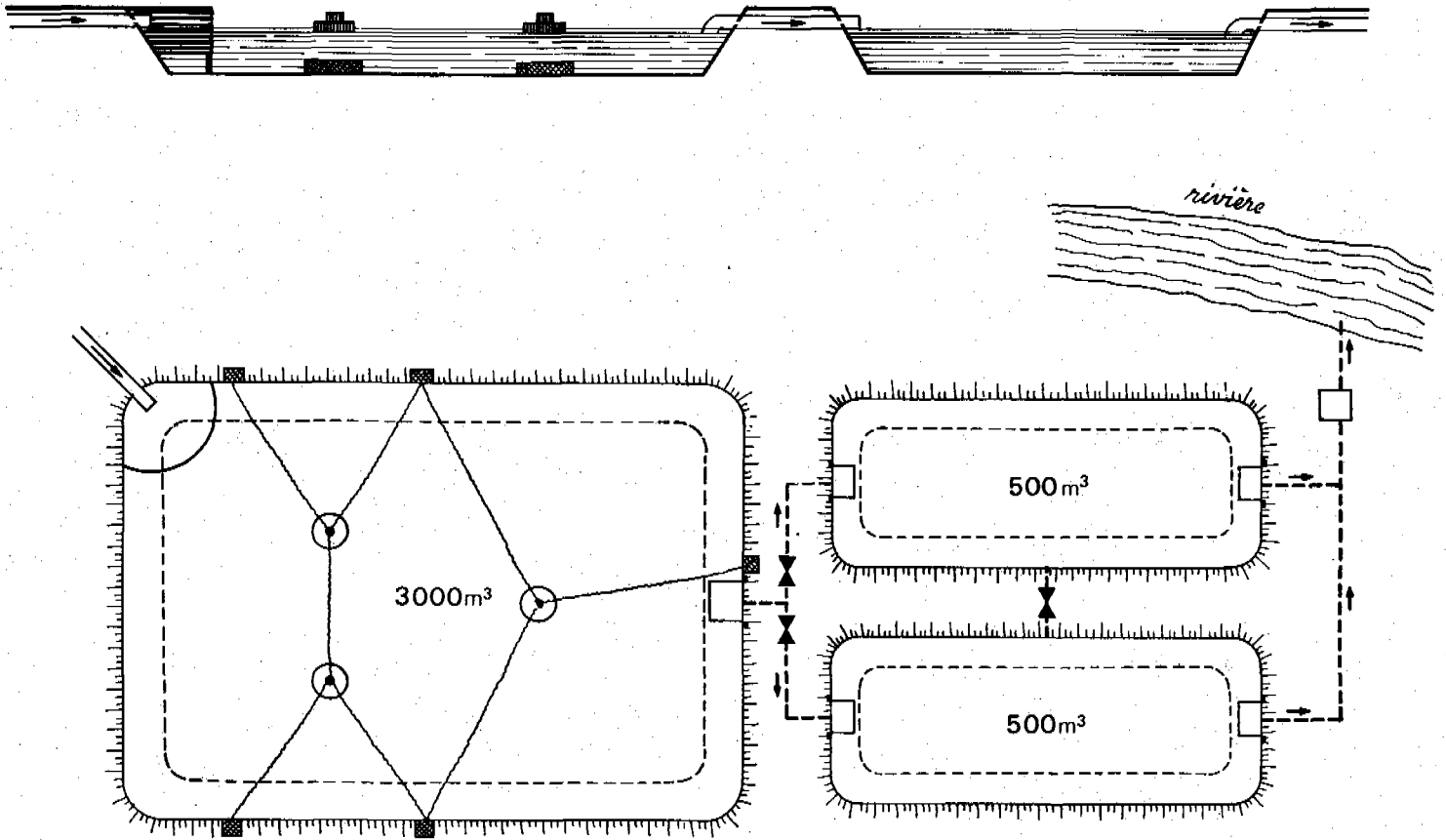
Il est donc possible qu'à certaines périodes ensoleillées les normes du niveau 4 ne soient pas respectées, en particulier en DCO et MES.

Toutefois, il est certain qu'un rejet d'algues n'a pas le même effet sur le milieu récepteur que le rejet d'une charge apparemment équivalente du point de vue des dosages de MES. Dans un premier temps, en effet, les algues rejettent de l'oxygène pendant les périodes diurnes ce qui peut être favorable au milieu récepteur. En eau courante de toute façon cela constitue un problème dont la connaissance reste à affiner tant pour différencier du point de vue des dosages la part revenant aux algues, que pour préciser l'effet sur le milieu récepteur.

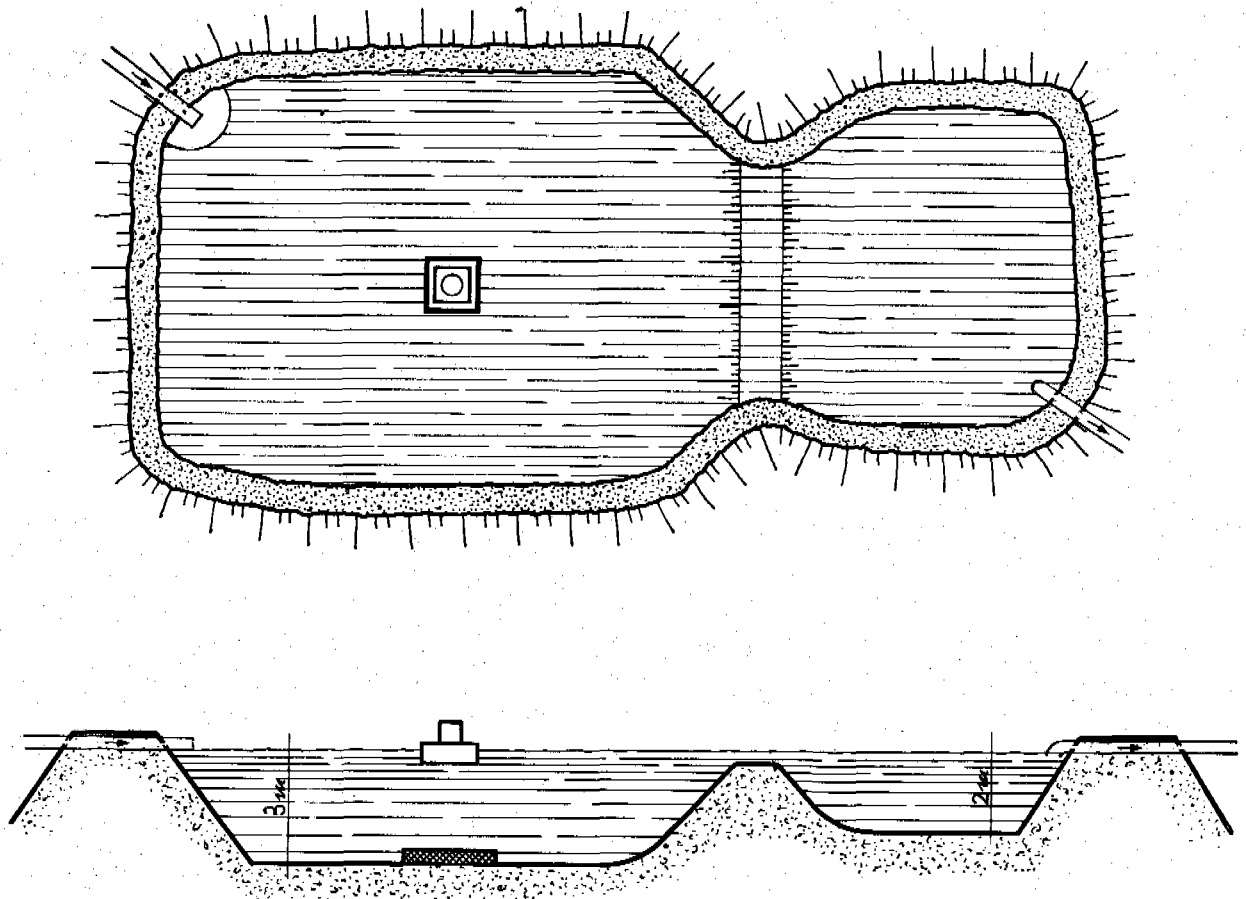
De plus, le développement d'algues induit une réduction notable de la teneur en phosphates d'un effluent, ce que ne font pas les systèmes biologiques intensifs.

L'adaptation de systèmes pour réaliser un traitement complémentaire permettant d'atteindre les exigences d'un milieu récepteur particulièrement sensible, semble possible. Ces traitements de finition restent à préciser mais pourraient prendre la forme de lagunes à macrophytes, voire simplement de bassins à poissons consommateurs d'algues : gardons - carpes.

LAGUNAGE AERE
DISPOSITION TYPE POUR 1000 HABITANTS



LAGUNE AÉRÉE SANS DECANTATION



Éléments de choix d'un lagunage aéré

Niveau de l'épuration nécessaire

Le niveau 3 d'épuration peut être obtenu par un lagunage aéré sans bassin de décantation. La zone aval de ce bassin étant réservée à la décantation et donc aussi calme que possible, ce qui implique une forme allongée des bassins.

Le niveau 4 sera généralement obtenu par lagunage aéré avec bassin de décantation séparé.

Caractéristiques des effluents

Les lagunages naturel ou aéré sont, de tous les systèmes d'épuration biologique, ceux qui sont les plus tolérants vis-à-vis de ce critère, tant au point de vue des variations quantitatives et qualitatives, que des surcharges et des effluents septiques ou présentant une légère toxicité.

Contraintes du site

Ces contraintes sont déterminantes pour savoir si le lagunage aéré peut être choisi.

Il est en effet nécessaire de disposer d'une surface sensiblement plus importante que pour les systèmes classiques d'épuration, mais cependant très inférieure à celle nécessitée par le lagunage naturel. On doit prévoir selon la topographie de 1,5 à 3 m² par usager.

Le sol doit être, ou être rendu, peu perméable et ce qui n'est pas toujours compatible avec un coût d'investissement acceptable.

Il est possible d'installer un lagunage aéré relativement près d'habitations, la seule nuisance (comme pour toute station à boues activées) étant le bruit de l'aérateur ou du surpresseur.

CONCLUSION

L'épuration des eaux usées par lagunage se présente donc comme une technique simple basée sur des mécanismes biologiques complexes. La fiabilité du système est assurée par son caractère extensif qui se traduit par une installation lente mais sûre des équilibres biologiques assurant la transformation ou la rétention de la pollution contenue dans les eaux usées.

Le choix de l'un ou l'autre des procédés sera fortement guidé par les conditions de réalisation. Ainsi, le lagunage naturel exigeant des surfaces importantes sera favorisé lorsque le coût des terrains sera peu élevé et lorsque les conditions d'étanchéité seront favorables.

Le lagunage aéré sera moins exigeant quant aux conditions de terrain puisqu'il implique des volumes trois fois plus faibles et des surfaces inférieures de 6 à 10 fois selon la profondeur des lagunes. Par contre, il nécessitera la fourniture d'oxygène par des équipements dont la puissance et la consommation en énergie seront supérieures à celles mises en œuvre dans les stations classiques. D'autre part, le lagunage naturel peut être utilisé en vue de la désinfection des effluents.

Enfin, si le lagunage présente dans son application au traitement des eaux issues des petites collectivités un minimum de risque d'échec, il convient d'être prudent dans l'extension du procédé aux agglomérations importantes et sous des climats froids.

Des expériences en cours de réalisation en France et des résultats d'origine étrangère concernant des installations en service depuis plusieurs années, permettront certainement d'améliorer nos connaissances pour aborder les installations de plus grandes capacités. On peut penser notamment que l'utilisation des macrophytes qui commence à se préciser apportera au traitement par lagunage de nouvelles possibilités.

CHAPITRE III

CHAPITRE III

Mise en œuvre du lagunage Etudes préalables Génie civil des lagunes Ouvrages annexes

La mise en œuvre du lagunage repose essentiellement sur la réalisation de bassins en terre. Elle s'apparente pour le lagunage naturel à celle des retenues collinaires de petite taille ou des étangs destinés aux loisirs et à la pisciculture dont elle se différencie cependant par la faible hauteur d'eau maintenue dans ces bassins.

Les lagunes aérées plus profondes mais beaucoup moins étendues relèveront davantage des techniques utilisées pour la constitution de réserves d'eau utilisées dans certaines régions pour les cultures maraîchères. La conception et la réalisation des ouvrages principaux, comme des équipements annexes, (ouvrages d'entrée de liaison entre bassin et de sortie) devront conserver au procédé la rusticité qui en fait sa caractéristique primordiale. **Dans la plupart des cas, cette mise en œuvre confiée à des entreprises de terrassement expérimentées posera peu de problèmes.**

Cependant, dans certains cas, les conditions de terrains seront moins favorables et il conviendra alors d'approfondir les études préalables pour éviter notamment de s'engager dans des travaux dont les coûts deviendraient prohibitifs et feraient perdre beaucoup d'intérêt au procédé.

La complexité des travaux ne pourra être estimée qu'après des études préalables concernant les terrains susceptibles d'être utilisés.

Etudes préalables

Les études préalables doivent être entreprises avant que soit arrêté définitivement le choix du terrain sur lequel se situera le lagunage. Ce travail de prospection qui peut être relativement long est indispensable surtout lorsque les terrains disponibles sont hétérogènes dans leurs couches superficielles, ce qui est souvent le cas dans les petites vallées alluviales. La présence d'un horizon favorable d'argile par exemple pourra justifier un déplacement de la station de plusieurs centaines de mètres.

Les études préalables à la conception d'un lagunage comprendront nécessairement :

- une étude topographique,
- la reconnaissance plus ou moins poussée des terrains en fonction de l'importance des installations et des conditions locales,
- le cas échéant des essais de laboratoire.

Topographie

Pour l'établissement du projet et pour les études préalables à cet établissement, il est nécessaire de disposer d'un plan topographique assez précis du terrain retenu. Au stade des études préalables, cette précision peut être de l'ordre de 10 cm en altimétrie, et de 1 m en planimétrie. Les différentes utilisations de ce plan sont :

Au stade des études préalables :

- implanter les travaux de reconnaissance et relier, entre elles, les différentes observations effectuées,
- préciser le niveau de la nappe phréatique et le comparer, éventuellement, avec celui des cours d'eau voisins ou des puits.

Au stade du projet :

- adapter la surface des bassins au type d'épuration choisi. Sur les terrains qui ont une pente naturelle notable, la surface au sol des digues est assez importante, et il faut pouvoir en tenir compte lors de l'implantation du projet,
- fixer la cote du fond du bassin en cherchant à équilibrer au mieux les volumes des déblais et des remblais. Rappelons que lorsque la terre est extraite de son site pour être mise en remblai, il y a une réduction de volume de 15 à 25 % qui est due au compactage volontaire, ou non, du remblai,
- rattacher le projet à son environnement, et plus particulièrement au lit d'une rivière qui risque de déborder, aux autres ouvrages du dispositif d'assainissement, à l'exutoire et aux différentes perspectives paysagères.

Pour remplir ces fonctions le report des levés topographiques pourra se faire à une échelle de 1/100^e au 1/2000^e en fonction de la nature du lagunage adopté.

Parfois, le plan topographique pourra conduire à l'abandon du site et souvent il permettra de préciser les conditions de réalisation du chantier. Ceci est souvent fonction des conditions de drainage du terrain et de la position de la nappe.

Reconnaissance des terrains

Cette reconnaissance doit permettre de préciser la structure du terrain en place et les caractéristiques des matériaux qui le composent. Elle consiste aussi à trouver les ballastières qui doivent être exploitées pour constituer les digues et qui doivent être situées à l'intérieur du bassin chaque fois que cela est possible.

Dans cette reconnaissance nous distinguerons trois parties : la géologie qui décrit les matériaux rencontrés, la géotechnique qui détermine les caractéristiques physiques des matériaux au moyen d'essais de laboratoire et l'hydrogéologie qui étudie le comportement de la nappe dans le sol.

Géologie

Au cours de la reconnaissance de surface on essaiera de trouver la structure géologique du terrain en repérant les affleurements rocheux que l'on reportera sur une carte où l'on indiquera aussi ses caractéristiques : nature de la roche, pendage des couches, ... A partir de ce levé on cherchera à faire une interprétation de la géologie, cette interprétation consiste à imaginer comment les différents affleurements peuvent être reliés entre eux. Pour ces opérations (levé et interprétation) on s'aidera d'une carte géologique locale qui facilitera beaucoup le travail. Lorsque les affleurements sont inexistantes ou trop éloignés du site, l'interprétation ne peut plus être réalisée. Il faudra alors se contenter d'observer des variations de la nature de surface du sol, ou parfois celles de la végétation.

Les conclusions de cette reconnaissance géologique devront principalement porter sur :

- la position des zones humides ou des sources,
- les risques de fuites dans les terrains et le rocher de substratum,
- la présence ou non de blocs qui gêneront les travaux de terrassement et la profondeur de substratum rocheux,
- la nature des matériaux exploités dans les carrières voisines et qui

peuvent trouver leur utilisation dans la construction du bassin,

- les zones de terrains meubles qui paraissent les plus aptes à servir de ballastières.

Elles permettront de définir les zones de terrains les plus favorables à la réalisation des lagunes. **L'étude géologique devra donc être réalisée avant que soit arrêté définitivement le choix du terrain destiné à la station d'épuration.**

Géotechnie

La reconnaissance géotechnique complète l'étude géologique et se fait, si possible, en même temps qu'elle. On commencera par réaliser des tranchées de reconnaissance à la pelle mécanique ou des sondages effectués avec une «sondeuse tarière». Cette dernière technique plus souple peut être utilisée pour la reconnaissance d'une grande surface de terrain, selon une maille qui dépend de la taille de la lagune et de la nature des matériaux rencontrés.

Un ordre de grandeur du nombre de sondages est :

- pour une lagune de 1 ha (lagunage naturel pour 1000 hab.) 5 tranchées de 5 m sont largement suffisantes et on pourra réduire ce nombre à trois lorsque le terrain sera manifestement homogène. Les cinq tranchées seront disposées 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,
- pour une lagune de grande surface (une dizaine d'hectares) on disposerait les tranchées au sommet d'un maillage carré avec un espacement allant de 200 m à 50 m selon la complexité du terrain rencontré.

La profondeur d'investigation dans ces tranchées devra être telle que le niveau atteint soit d'un mètre inférieur à celui prévisible pour le fond de la lagune.

Le technicien précisera l'emplacement des tranchées, décrira les terrains rencontrés et choisira les échantillons à prélever. Très fréquemment les tranchées s'éboulent ou se remplissent d'eau, ce qui les rend inutilisables pour le technicien quelques minutes après leur creusement, aussi celui-ci et le pelleteur doivent-ils travailler de concert. Dans une tranchée la description d'une couche de terrain comprend principalement :

- la profondeur de son toit et de sa base (leur inclinaison dans certains cas, lentilles par exemple),
- la nature du matériau qui la compose : le premier terme doit caractériser la fraction granulométrique qui prédomine (estimation visuelle),
- l'appréciation de la consistance (matériaux fins) et de la compacité (sables et matériaux grossiers),
- la couleur, la présence de débris végétaux, de coquilles, etc...,
- l'humidité,
- la présence éventuelle d'une couche très molle sera détectée, ce qui a une très grande importance pour préciser la nature des fondations des ouvrages rigides, et les conditions de réalisation du chantier,
- le niveau de la nappe phréatique que l'on relève au moment du creusement, et quelques heures après celui-ci. Ces tranchées ne peuvent donc pas être refermées immédiatement.

Lorsqu'on procède par sondages, il est possible de placer des piézomètres simples constitués par un tube de PVC lanterné à sa partie inférieure par des traits de scie à métaux.

SCHÉMA DES IMPLANTATIONS DES TRANCHÉES POUR UN PETIT BASSIN
(4 TRANCHÉES)

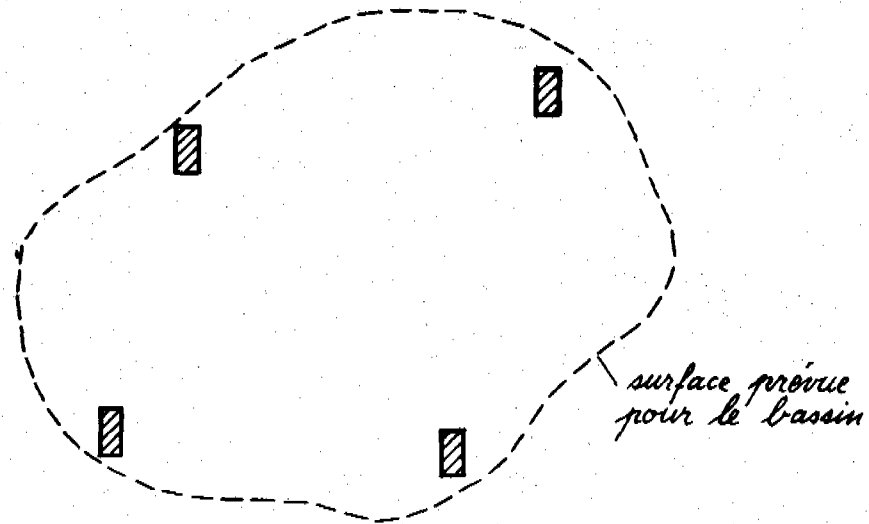
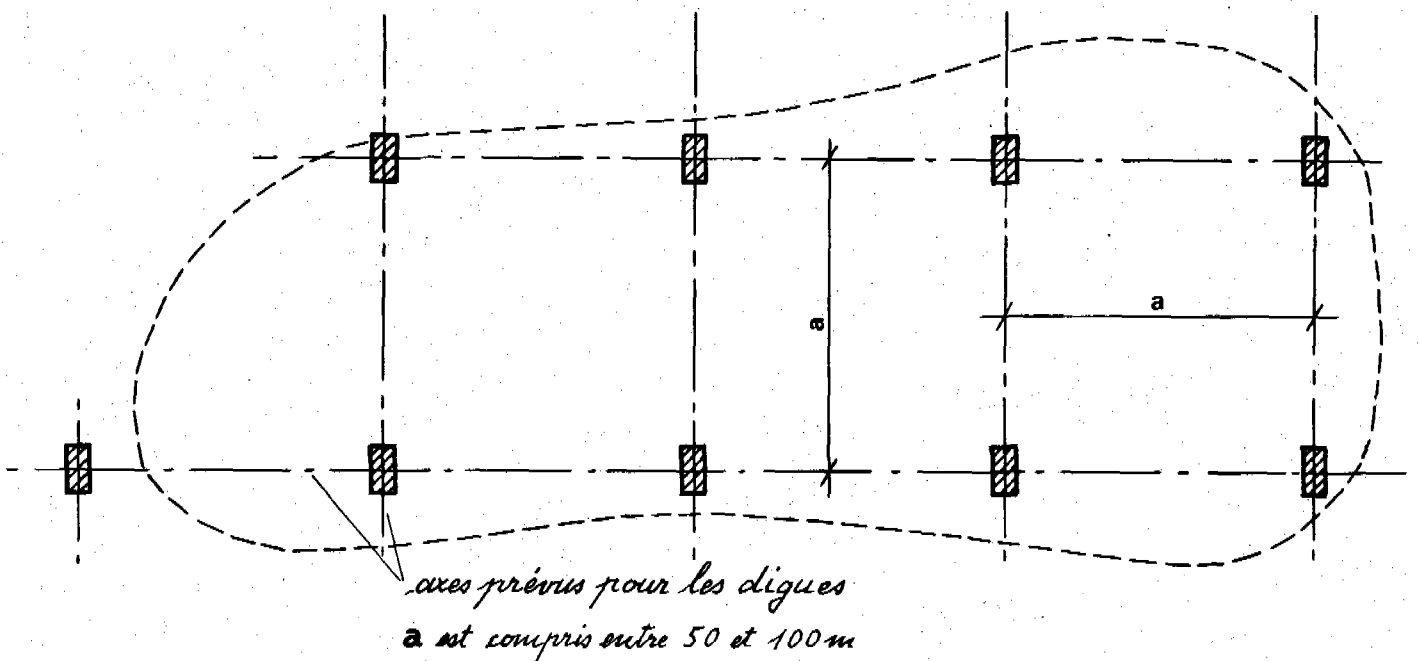


SCHÉMA DES IMPLANTATIONS POUR UN GRAND BASSIN
(PLUSIEURS HECTARES)



La réalisation de ces tranchées sera l'occasion de prélever des échantillons à fin d'analyses si ces analyses se révèlent nécessaires.

Le nombre et le choix des échantillons à prélever ne sont pas fixés à l'avance, mais doivent s'adapter aux difficultés d'ordre géotechnique rencontrées au cours de la reconnaissance.

Lorsque le nombre des tranchées ne dépasse pas cinq, on retient dans chacune d'elles un prélèvement sur chaque couche rencontrée. Lorsqu'une même couche est rencontrée plus de trois fois, on ne fera les essais que sur deux ou trois prélèvements.

Pour les lagunages naturels de grande surface pour lesquels un grand nombre de tranchées est réalisé, on limitera le nombre des prélèvements à ceux qui sont nécessaires pour vérifier la continuité des couches.

Dans chacun des cas, si des ballastières extérieures à l'emprise doivent être exploitées, on ne fera des prélèvements que dans les couches utiles des zones d'emprunt.

La quantité de matériaux à prélever en vue des essais d'identification est de 3 à 4 kg et lorsque le matériau doit être utilisé en remblai étanche, le volume à prévoir doit correspondre à un poids allant de 8 à 10 kg (ce qui est nécessaire aux essais de compactages).

Hydrogéologie

Lorsque l'on découvre un substratum que l'on peut craindre trop perméable, sans en être certain, on peut étudier sa perméabilité en faisant des essais d'eau par pompage et rabattement de nappe si le niveau statique est haut ou par apport d'eau dans le cas contraire. Ceci peut se pratiquer dans les tranchées de reconnaissance et conduire à des valeurs approximatives, mais globales, du coefficient de perméabilité K. Selon la précision recherchée, on adoptera l'un des modes opératoires suivants :

- utilisation d'une seule tranchée : l'application de la formule de l'essai LEFRANC, ou celle de DUPUIT correspond à une précision moyenne (voir annexe),
- utilisation de deux tranchées éloignées de 5 à 10 mètres : l'application de la formule de DUPUIT généralisée donne de bons résultats.

Ces résultats seront toujours de meilleure qualité que ceux que l'on peut déduire des essais effectués sur des échantillons de laboratoire. Ces derniers ne correspondent, en effet, qu'à des mesures très localisées. L'hydrogéologie peut aussi s'appréhender au moyen de piézomètres. La détermination du coefficient de perméabilité peut être réalisée par la méthode du trou de tarière (dite des Hollandais) qui a l'avantage d'être simple et rapide.

Compte rendu de la campagne de reconnaissance

Ces travaux de reconnaissance doivent donner lieu à un compte rendu qui comporte normalement :

- le levé géologique de surface avec son interprétation,
- la position des tranchées de reconnaissance sur un plan topographique. Dans certains cas difficiles, le relevé des points de sondage sera réalisé par un topographe,
- une note de présentation de la structure géologique et géotechnique du site,
- un profil où les coupes de tranchées sont dessinées à l'aide de symboles. Sur celui-ci on pourra suivre l'évolution de l'épaisseur des différentes couches et, en tenant compte de la topographie, on verra :
 - si la mise à l'horizontale du fond des bassins ne dénude pas une couche perméable,
 - si l'épaisseur de la couche étanche superficielle peut permettre son exploitation sur une certaine épaisseur afin d'y prélever les matériaux constitutifs des digues.

Ce compte rendu est complété par les résultats des essais de laboratoire si ceux-ci ont dû être effectués.

Essais de laboratoire

Les essais faits en laboratoire sur les échantillons prélevés pendant la campagne de reconnaissance doivent permettre d'identifier correctement les matériaux, d'en déterminer certaines caractéristiques mécaniques, et les normes de réemploi s'ils doivent être utilisés dans les remblais.

Opportunité des essais de laboratoire

Le coût de ces essais est assez élevé et il faut les limiter à ceux qui sont utiles à la définition des travaux. Dans ce but, le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre doivent avoir défini les grandes lignes du projet pour que la prospection se limite à une vérification des hypothèses faites à l'occasion du tracé de ces grandes lignes. Au cours de cette opération, le maître d'œuvre aura précisé les points qui méritent une attention particulière, et la liste des essais sera faite en conséquence.

Ainsi par exemple :

- il ne sera pas nécessaire de faire des essais de perméabilité sur des matériaux nettement argileux ou constitués uniquement de sable,
- lorsque les tranchées montrent un sous-sol très peu homogène, il sera préférable de faire des mesures de perméabilité en place, avant les autres essais. Ces mesures donnent une idée globale satisfaisante de la perméabilité des couches en place.

Description des essais

Essais d'identification

L'analyse granulométrique faite par tamisage pour les éléments les plus grossiers (supérieurs à 0,08 mm) et par sédimentométrie pour les éléments les plus fins. Cette dernière opération n'est utile que si la proportion d'éléments fins (0,08 mm) est supérieure à 10 %. A la suite de cet essai, on peut préciser la classe du matériau considéré.

La teneur en eau naturelle qui donne une idée de l'état de saturation du matériau en place, et de son aptitude au compactage.

La mesure de la **teneur en matières organiques** si l'on craint la présence de tourbe (forte odeur).

Les limites d'Atterberg qui sont les teneurs en eau correspondant à un changement d'état des argiles (passage de l'état liquide à l'état plastique, et de ce dernier à l'état solide).

La mesure du **coefficient de perméabilité** avec un perméamètre permet de préciser cette valeur pour du matériau en place, mais plutôt pour du matériau remanié et traité par compactage.

A l'exception des cas très délicats (fortes pentes, profondeur importante du plan d'eau ou très mauvaise qualité des terrains de fondation), les essais mécaniques (œdométrie ou triaxial) ne seront pas nécessaires.

Essais concernant les conditions de réemploi

L'essai de **compactage Proctor** permet de déterminer en laboratoire la teneur en eau des terres qui donne le meilleur compactage pour une énergie donnée. Les conditions habituelles d'essais correspondent à l'optimum Proctor Normal et donnent une teneur en eau optimale et une densité sèche optimale correspondante. Sur ce matériau compacté dans ces conditions, on peut faire des mesures de perméabilité et imposer des normes de compactage. La définition de normes de compactage peut apparaître comme une sujétion lourde et disproportionnée avec l'importance des travaux lorsqu'il s'agit de réalisations simples et de petites tailles. **Elle constitue cependant une garantie de bonne exécution** et un recours auprès de l'entreprise réalisant les travaux en cas de malfaçon, **même si aucun essai de contrôle n'est prévu, il est bon de les prévoir au niveau du marché.**

En se servant des essais d'identification et surtout de l'analyse granulométrique on cherchera à regrouper les matériaux par familles pour simplifier les conditions de réalisation du chantier.

Coût des études

Le coût des études de terrains dépendra évidemment du temps nécessaire à la recherche du site favorable et des difficultés rencontrées.

On ne peut cependant estimer que l'étude géotechnique de base pour une petite installation sera comprise entre 3000 et 7000 F* auxquels s'ajouteront éventuellement les essais de laboratoire.

Ces études doivent être réalisées sous la responsabilité du maître d'œuvre:

Leur résultat doit permettre :

- d'arrêter définitivement le choix d'un terrain,
- de préciser éventuellement la nature du lagunage naturel ou aéré,
- d'apporter les éléments techniques indispensables aux entreprises de terrassement, qui seront consultées pour la réalisation des travaux.

Génie Civil

Le génie civil des bassins de lagunage doit être conforme aux règles de bonne construction en vigueur dans tous les travaux de terrassement, de béton armé, de revêtements étanches, de constructions métalliques, etc... Ces règles sont précisées dans les cahiers des clauses techniques générales, relatifs à ces différentes techniques, ces cahiers étant édités soit par le Ministère de l'Équipement, soit par le CTGREF, soit par l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics. Nous citerons ici certaines de ces règles correspondant aux problèmes posés par les bassins de lagunage tout en donnant les critères de dessin et de dimensionnement propres aux différents ouvrages.

Les problèmes posés par les travaux de génie civil se rencontrent au stade de l'élaboration du projet et au stade de la réalisation avec le suivi du chantier.

Conception du projet

La conception d'un ouvrage de lagunage constitue un ensemble homogène dont il est dans la pratique difficile et parfois dangereux de séparer les différents éléments. On peut cependant distinguer :

- les digues,
- l'étanchéité,
- les raccordements entre ouvrages.

Conception des digues

Ces digues sont caractérisées par :

- une hauteur faible,
- un grand développé,
- généralement la présence d'eau dans les fondations,
- un niveau d'eau dans les bassins variant lentement,
- la présence éventuelle de végétation sur les talus amont et aval,
- certaines digues servent de séparation entre deux bassins dont les niveaux sont très proches l'un de l'autre,
- il faut parfois faire des terrassements importants en fond de bassins pour obtenir un niveau horizontal, et il est économique de

* prix 1978

profiter de ces terrassements pour réaliser les digues avec les déblais extraits du fond des lagunes.

Le profil retenu pour les digues dépend des matériaux reconnus lors des travaux de reconnaissance et des conditions générales du chantier. Les solutions adoptées sont donc très variables, mais lors de leur définition il faudra toujours se préoccuper de l'économie d'ensemble du projet.

Nous indiquons ci-dessous quelques solutions qui peuvent être retenues dans différents cas de figure.

Digues homogènes sur horizon étanche

Cette solution peut être adoptée lorsque la quantité de matériau étanche disponible est suffisante. Elle conduit à des ouvrages très simples et économiques. Il faut seulement s'assurer que la liaison entre le terrain naturel et le remblai ne soit pas une zone de circulation d'eau préférentielle. Pour ceci, et après décapage, on prévoira une tranchée d'ancrage remplie de matériau étanche compacté. Sa profondeur comprise entre 0,2 m et 0,5 m dépendra de la hauteur d'eau dans les bassins. Pour les faibles charges (jusqu'à 1,5 m) on pourra parfois se contenter d'une bonne scarification du terrain de fondation. Le schéma suivant donne une idée du profil de digue que l'on peut adopter.

Digues à zone sur terrain à couverture de sable de faible épaisseur

Lorsque le site retenu ne correspond pas à des terrains de couvertures homogènes il est intéressant d'utiliser le maximum de matériaux disponibles dans la cuvette et de prévoir un ouvrage à zones. Lorsque l'horizon étanche est situé sous une couche (pas trop épaisse) de matériau perméable il faut que le noyau de la digue rejoigne cet horizon. La nécessité qu'il y a de prévoir une clef d'étanchéité conduit à une augmentation légère du coût de la digue.

Digues étanches par membrane ou tapis d'argile

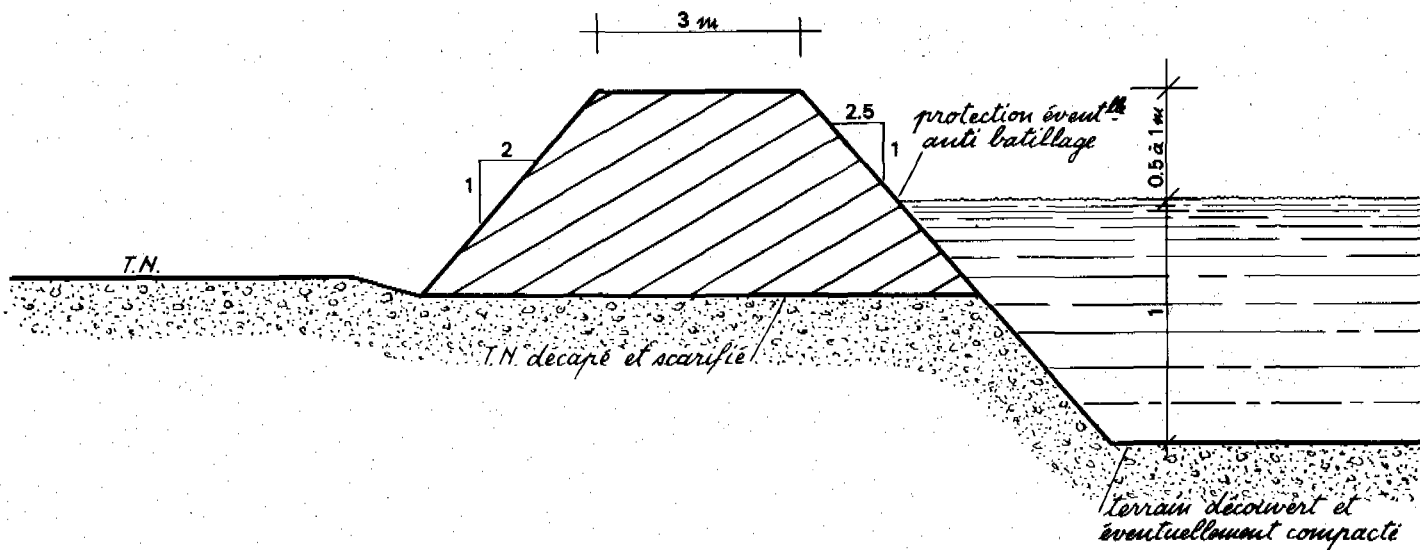
Dans certains cas les matériaux disponibles sur le site ne permettent pas d'assurer l'étanchéité des bassins. Il faut alors utiliser soit des étanchéités en membranes à base de bitume ou d'élastomères, soit des tapis en matériaux argileux compactés. Dans ce dernier cas et pour des raisons de mise en place, la pente des talus ne peut dépasser la valeur de 3,5/1. L'utilisation de membranes conduit à un coût élevé des bassins et elle n'est généralement prévue que pour les bassins aérés mécaniquement et pour lesquels il faudra prévoir une protection supplémentaire par plaque de béton ou enrochement à l'aplomb des aérateurs.

Lorsqu'il y a plusieurs types de remblais, il faut qu'entre le matériau étanche et le corps de la digue, la condition de filtre soit à peu près satisfaite. Cette condition porte sur la granulométrie des différents matériaux, et on ne pourra évidemment pas être aussi rigoureux que pour les barrages. Cela peut conduire à imposer la mise en place d'un filtre, ce qui complique le chantier. Certains procédés tels que la fermeture (compactage de surface ou rouleau lisse), de la surface de tout venant au contact de la terre, ou sa stabilisation avec une émulsion et le répandage d'une couche mince de matériaux intermédiaires peuvent être économiques, mais ils doivent être employés avec prudence et après essais sur place avec le matériel prévu pour le chantier.

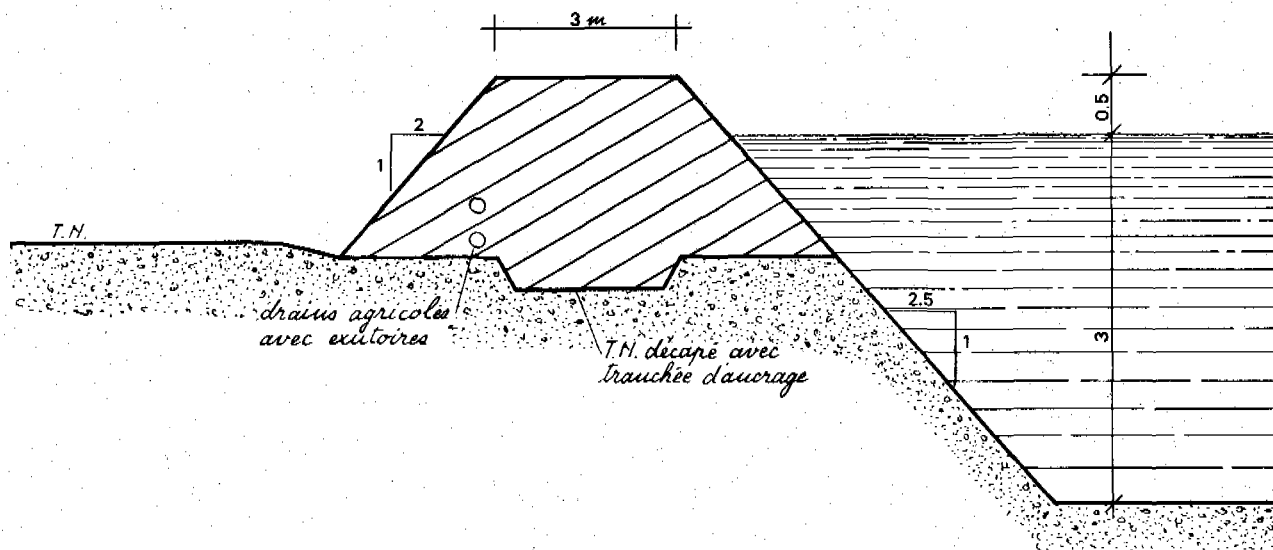
En l'absence d'eau la **stabilité des talus** est pratiquement toujours assurée lorsque leurs pentes sont de 2,5/1 pour les sables, et 2/1 pour les argiles compactées. En présence d'eau (talus côté lagune) la stabilité des talus en terre argileuse compactée est assurée avec une pente de 2,5/1.

En général, on adoptera ces pentes lorsque les conditions de mise en place n'imposeront pas de valeurs plus faibles, la taille des digues ne justifiant pas de calculs plus complexes.

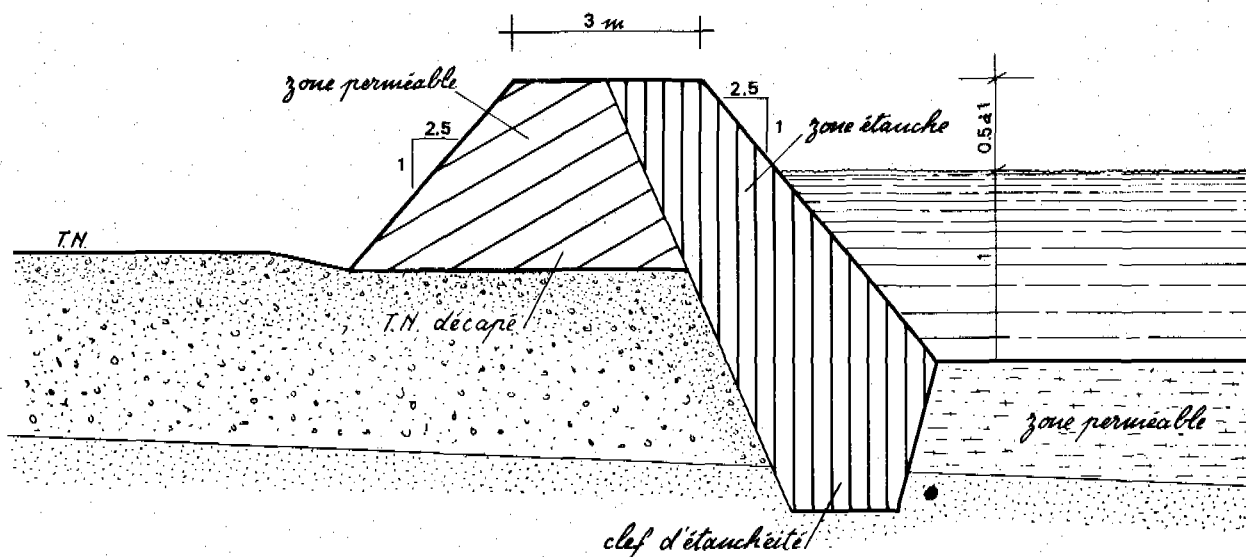
DIGUE HOMOGENE SUR HORIZON ETANCHE



DIGUE HOMOGENE AVEC TRANCHEE D'ANCRAGE



DIGUE A ZONE



Lorsque l'on voudra placer une couche mince de terre étanche sur le talus amont, il faudra retenir une pente maximale de l'ordre de 3,5/1 pour que les engins de compactage légers puissent y travailler.

On se méfiera des terrains vaseux qui peuvent être trop compressibles et donc le siège de tassements importants, voire de rupture. Cette situation peut se rencontrer dans les zones marécageuses ou au droit de certains exutoires de lagunes naturelles. Si l'on ne peut pas alors modifier l'implantation de la digue, ou curer le matériau, il faut élargir son assise et surtout provoquer la plus grande part des tassements par un préchargement (en tout venant par exemple) avant mise en place de l'étanchéité ou du matériau définitif.

Les tassements que l'on observera toujours sur les crêtes de digues, sont généralement négligeables et se produisent alors en grande partie au cours du chantier. Ils peuvent cependant être assez importants pour que l'on doive prévoir une surhauteur des digues au projet. Cette possibilité se rencontre dans les argiles très plastiques et demande un examen approfondi.

Le drainage des digues ne devrait pas poser de problèmes dans les cas simples et pour le lagunage naturel.

Pour les lagunes profondes de plus de trois mètres, il peut être nécessaire de mettre en place un dispositif de drainage.

Lorsque le matériau constitutif de la digue est moyennement étanche, le drainage peut être obtenu par l'une des solutions suivantes :

- sélectionner pour la zone aval une terre sensiblement moins étanche que celle placée à l'amont (schéma n° 4),
- placer un lit de sable de 0,2 m sur le tiers aval de la fondation de la digue,
- disposer des drains agricoles (avec exutoires) tous les 50 m dans le plan vertical, au droit du bord aval de la crête (schéma n° 5).

Le problème du batillage

Le vent pour les lagunes naturelles et les aérateurs mécaniques dans les lagunes aérées créent des vagues (batillage) qui viennent battre les digues et sont susceptibles d'entraîner leur dégradation rapide. Il est donc indispensable de prévoir une protection antibatillage.

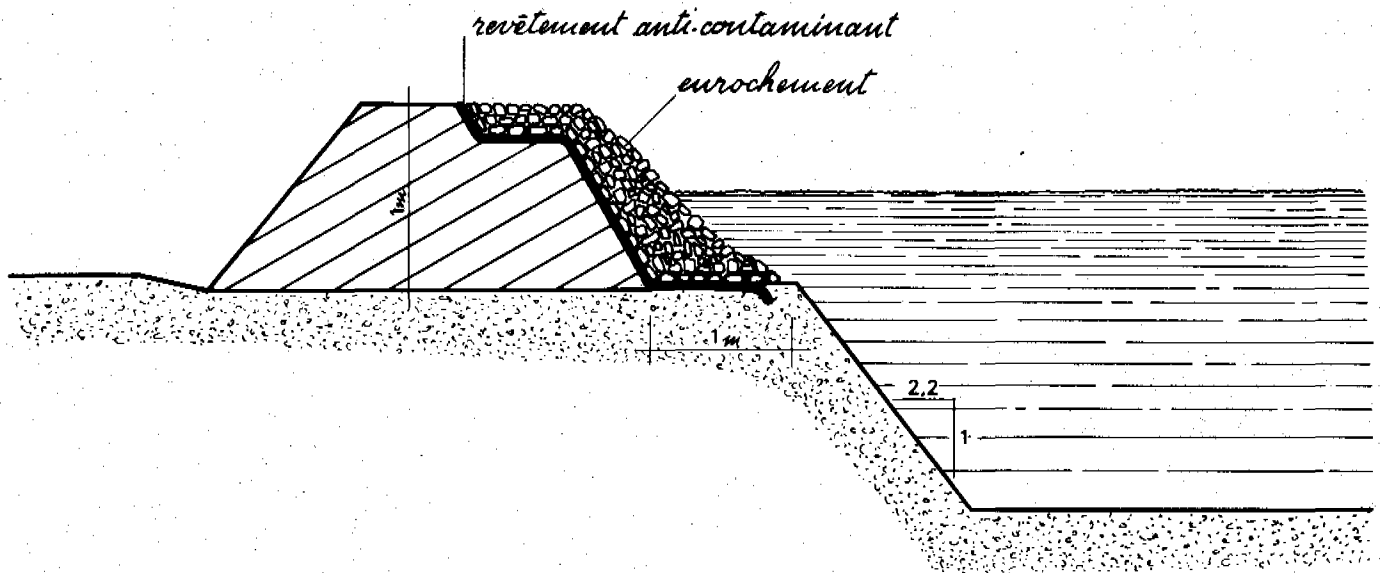
Pour les bassins de faible superficie, on peut admettre que la végétation naturelle suffira à stabiliser les talus à condition toutefois que le matériau constitutif des digues ne soit pas trop sableux. Cette végétation devra être en place avant la mise en eau des bassins. De bons résultats peuvent être obtenus dans des conditions économiques acceptables par l'emploi de canons d'engazonnement.

La mise en place d'une couche de béton maigre peut être envisagée, cependant ces revêtements coûteux sont très sensibles aux dilatations et dégradations engendrées par les variations de température.

On peut utiliser également des fascines, mais leur maintien au contact des digues peut poser quelques problèmes.

La solution la plus classique reste l'enrochement ou du gros tout-venant dès lors qu'on peut disposer à proximité de l'installation d'un matériau rocheux bon marché. Cet enrochement peut être réalisé sur l'ensemble des digues et sa mise en œuvre peut être alors réalisée après une période d'examen du comportement de la digue envers le batillage.

Pour les lagunes de grande profondeur, on peut limiter l'enrochement à la partie supérieure de la digue. Cet enrochement pourra être protégé de la contamination due aux matériaux fins par une membrane filtre du type Bidim.



Revanche

La revanche aura pour objet d'éviter toute submersion de la crête des digues due aux vagues, à des tassements ou à une faible élévation du plan d'eau consécutive à une augmentation passagère du débit d'entrée.

Pour les petits bassins, elle sera comprise entre 0,5 et 1 m. Pour les grands bassins, il faudra tenir compte des vagues et du soulèvement du plan d'eau sous l'effet du vent.

La largeur de la crête doit être au minimum de 3 m pour permettre la circulation des tracteurs. Elle sera engazonnée pour limiter la formation de ravines. Dans le cas d'enrochement, on disposera une couche de tout-venant compacté très plane dont on surveillera l'évolution.

Étanchéité

Le problème posé par l'étanchéité d'un lagunage peut être abordé sous plusieurs aspects.

Tout d'abord, il convient de s'assurer que les nappes phréatiques exploitables pour l'alimentation en eau ne puissent être contaminées par une lagune dont les eaux contiendront nécessairement des germes et des éléments indésirables tels que les produits azotés sous toutes leurs formes (NH_4 - NO_2 - NO_3).

Les lagunes ne devront donc pas être établies à l'intérieur des périmètres de protection des captages dont l'eau est destinée à la consommation.

Par contre, il est concevable que des lagunes et cela sera souvent le cas des petites installations réalisées près des cours d'eau puissent être en communication avec des nappes alluviales inexploitable en raison de leur qualité initiale très médiocre ou de leur faible productivité. En effet, un bassin de lagunage ne peut jamais être parfaitement étanche et **plutôt que de bonne étanchéité, il vaut mieux parler de limites à ne pas dépasser pour les pertes.**

On peut se donner comme objectif que le niveau d'eau maintenu dans les bassins soit sensiblement constant surtout dans les cas de lagunage aéré, ce qui signifie que les débits de fuite et d'évaporation ne soient pas supérieurs aux apports d'eau admis dans les ouvrages.

Il faut enfin tenir compte du pouvoir colmatant des eaux usées dû aux matières colloïdales et en suspension. L'expérience montre que les matières qui se déposent au fond des lagunes en accroissent rapidement l'étanchéité lorsque le niveau du plan d'eau reste constamment plus élevé que celui du toit de la nappe.

On cherchera cependant à obtenir à la mise en œuvre la meilleure étanchéité possible au meilleur coût.

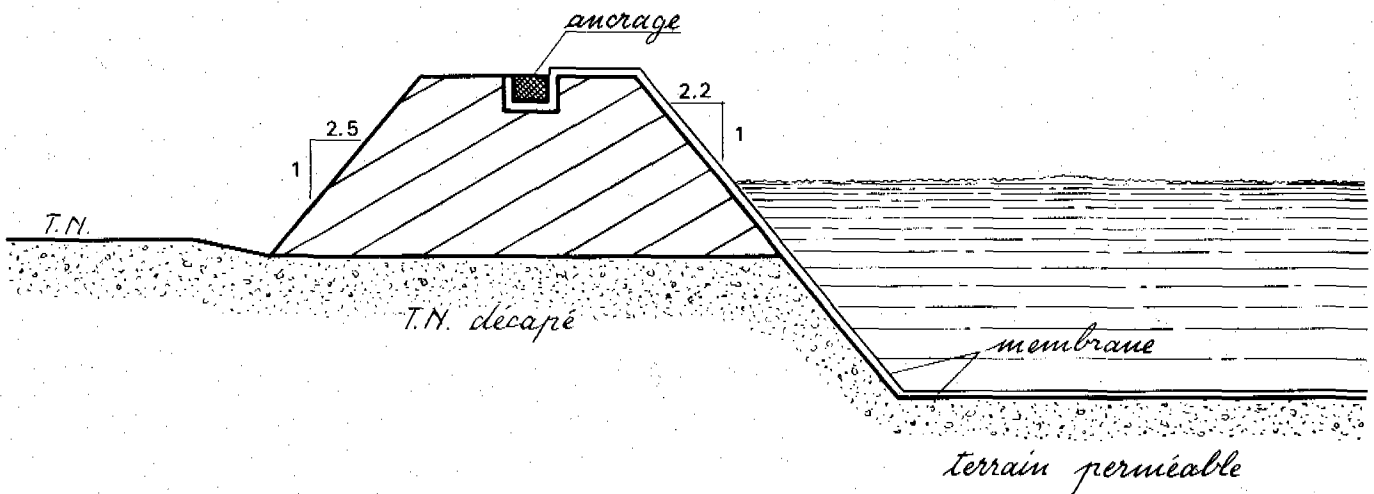
Si le **terrain naturel est étanche** et que les fondations des digues sont bien réalisées, il n'y aura pas de problème d'étanchéité.

Dans les autres cas on peut envisager, **si le terrain naturel est perméable dans son état** (trous de vers, racines, mauvais serrage) **et suffisamment étanche une fois compacté**, de supprimer la couche supérieure de la terre végétale et compacter le terrain en place ainsi découvert. Si l'étanchéité de ce terrain est à la limite admissible, il faudra procéder par deux passages : une couche supplémentaire de 20 cm est décapée puis mise en place avec compactage après avoir compacté la couche inférieure.

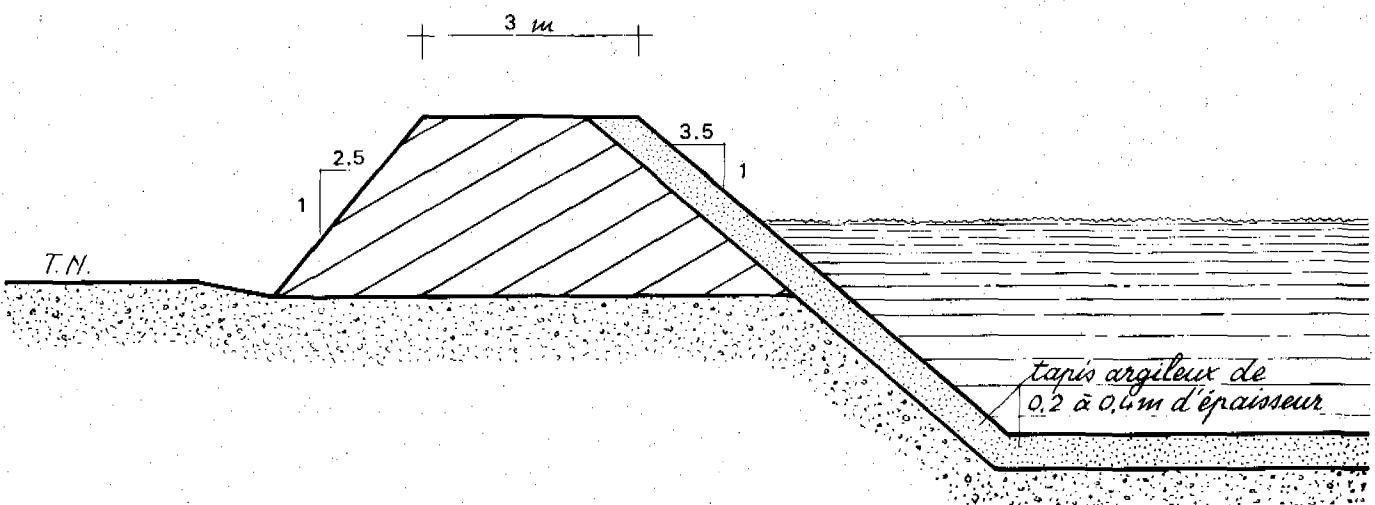
Si le terrain naturel est trop perméable même après compactage, il faut apporter une étanchéité extérieure qui peut être constituée de **deux couches de terre compactée** de 15 cm chacune. Ces couches recouvrent le talus amont des digues dans le cas de digues perméables, ou se prolongent sous celles-ci dans le cas de digues étanches.

On met deux couches de terre compactée pour garantir la continuité de l'étanchéité et réduire le gradient hydraulique au travers de la terre (gradient inférieur à 10). Lorsque le terrain en place est moyennement perméable, on peut se contenter d'une seule couche de 20 cm. Il faudra veiller dans ce cas à ce que cette couche ne soit pas percée par l'affouillement dû aux turbines dans le cas d'un lagunage aéré ou par les engins utilisés pour le curage.

UTILISATION D'UNE MEMBRANE



BASSIN ENTRE TAPIS EN ARGILE COMPACTÉE



S'il n'y a pas de terre suffisamment étanche disponible à proximité, on peut utiliser des étanchéités artificielles en PVC, néoprène ou feutres imprégnés de bitume, etc... Pour les PVC, il faut choisir les meilleures qualités et si possible des feuilles armées. **Le coût de l'étanchéité est alors important**, et actuellement il est équivalent à celui de 2 à 3 m³ de terre compactée par m² traité et se traduit par un doublement du coût.

Pour la pose de ces membranes, il faudra prendre les précautions retenues habituellement pour ces procédés dont les principales sont :

- bonne soudure des lés,
- bonne planéité du sol (elle dépend du type de membrane),
- ancrage sur les rives,
- absence de sous-pressions (par bonne gestion ou drainage).

Sur les surfaces planes, on peut envisager l'utilisation de bentonite mélangée au terrain, mais il faut que le terrain s'y prête et que des essais de laboratoire aient défini les doses à utiliser. (Il faut que la granulométrie du terrain soit fine et régulière). On notera que sur les talus, ce matériau ne tient pas, et qu'après imbibition on ne peut plus faire circuler des engins (et même des personnes) dessus. Les talus doivent donc être traités en membrane.

Dans le cas des membranes, la protection par enrochement ou tout-venant ne sert pas à lutter contre les effets du battillage, mais à limiter l'action des ultra-violets et des chocs. Elle peut donc être moins épaisse.

Lorsqu'il existe un horizon étanche à une profondeur moyenne (2 à 5 m) et qu'il serait trop coûteux d'y raccorder l'étanchéité, on peut se contenter de mettre en place un tapis amont, qui limite les fuites en allongeant la longueur de percolation.

Lorsque le terrain en place présente des zones étanches, et d'autres qui ne le sont pas assez, ces dernières seules seront traitées. Il faudra prendre beaucoup de précautions pour définir la limite entre les zones et assurer un recouvrement de l'étanchéité de l'ordre de 5 m.

Raccordement entre les différents types d'ouvrages

Outre les problèmes classiques en matière de petits barrages, dans le cas des lagunages on se trouve en présence de fondations qui souvent sont assez mauvaises et supportent mal les ouvrages rigides.

Les problèmes classiques concernent :

- **les passages de canalisations dans la digue** lorsqu'elles sont reliées à des organes qui ne peuvent pas suivre les tassements de la digue, il faudra prévoir des systèmes de raccordement suffisamment souples pour permettre les tassements différentiels. Au passage de la digue, elles seront placées dans des tranchées faites dans la terre compactée et entourées de béton vibré qui assure un contact intime entre les deux matériaux. **Il sera toujours préférable de ménager ces passages dans les parties hautes des disques** plutôt qu'en pied, sauf pour les vidanges bien entendu.

- **les raccords avec les ouvrages légers** en béton tels qu'évacuateurs, seuils... Pour limiter les fuites au contact des deux matériaux, il n'est pas nécessaire, comme dans les barrages, de prévoir des redans en béton qui coupent les cheminements préférentiels. Si possible, on essaiera de se servir de la terre comme coffrage du béton. Lorsque cela ne sera pas possible, il faudra compacter soigneusement la terre au contact de la paroi après avoir enduit celle-ci d'un produit de type bitume.

- **les raccords d'ouvrage en béton lourd avec les digues en terre** ou d'autres ouvrages souples sont assez caractéristiques des lagunages. Les ouvrages en béton lourd abritent parfois des organes électromécaniques (vis d'Archimède par exemple) qui sont reliés à des constructions qui doivent suivre le terrain naturel et ces liaisons n'acceptent pas de tassements différentiels importants. Dans le cas des petites

lagunes, ces problèmes ne se présenteront pratiquement jamais. Pour les lagunes aérées nécessitant la construction d'un local d'exploitation pour abriter l'armoire électrique, et le cas échéant, un surpresseur d'air, on veillera à désolidariser ce local des digues.

On a pris l'habitude en Travaux Publics de fonder les ouvrages rigides sur des puits ou des pieux lorsque le terrain est de mauvaise qualité. Dans le cas des bassins de lagunage, cette technique ne peut pas être retenue car on empêche alors les tassements des constructions en béton armé. Les ouvrages en béton devront être fondés sur radier général chaque fois que cela est possible.

Réalisation des travaux

La facilité de l'exécution des terrassements et par conséquent leur coût et souvent leur qualité sont très liés aux conditions météorologiques. On veillera donc à ce qu'ils soient exécutés à une période favorable de l'année qui se situera dans beaucoup de régions entre les mois de juin et d'octobre. La qualité de la réalisation sera très liée à la compétence de l'entreprise qui en sera chargée, il n'en demeure pas moins vrai que le maître d'œuvre devra assurer une surveillance des travaux.

Assainissement du chantier

On rencontrera assez fréquemment des terrains humides ou une nappe à faible profondeur. Pour que les engins puissent circuler et le compactage se faire dans des conditions acceptables, il faudra drainer le chantier (zones de ballastières et zone de la lagune).

Dans les terrains assez étanches, on cherchera à empêcher l'eau de pluie de pénétrer dans le sol en lissant la surface de celui-ci tout en la modelant en forme d'ados et en prévoyant des exutoires. Lorsqu'il n'y a pas de nappe au niveau du terrain naturel, cette disposition devrait suffire. Dans le cas contraire, il faut procéder au préalable à un rabattement de la nappe par des canaux drainants dans lesquels l'eau est pompée. Ces dispositifs doivent être réalisés avant le début du chantier pour être efficaces.

Dans le cas de terrains perméables, un drainage par des fossés suffit et il peut être mis en place au début du chantier.

Compactage des terres

Il se fera avec les engins couramment utilisés et qui dépendent de la nature des sols à mettre en place.

Pour les terrains argileux, le rouleau à pieds de mouton ou à pieds dameurs, ainsi que le rouleau à pneus, conviennent. Pour le rouleau à pneus il faut prévoir un hersage de la surface de la couche compactée avant mise en place de la couche suivante. Les rouleaux à pieds de mouton ne compactent qu'à une certaine profondeur (celle des pieds : de l'ordre de 20 cm), et ne seront donc pas intéressants pour les tapis étanches en terre où le rouleau à pneus et le rouleau à pieds dameurs sont les mieux adaptés.

Pour les sables on utilisera des rouleaux à pneus (sable fin) ou des rouleaux vibrants lisses.

Les normes de compactage à retenir sont définies à partir des valeurs de l'optimum Proctor. Au vu de la taille des ouvrages on pourra retenir une densité sèche minimale égale à 95 % de l'optimum Proctor Normal pour une teneur en eau comprise dans la fourchette :

$$(w_{\text{opt}} - 5 \%) \text{ et } (w_{\text{opt}} + 3 \%)$$

w_{opt} étant la teneur en eau correspondant à l'optimum.

Sauf dans les cas très délicats (ballastières saturées), il n'est pas nécessaire de faire des planches d'essais particulières de compactage, les premiers essais de contrôle réalisés au début du chantier suffisent pour préciser les conditions d'emploi des engins au cours du chantier.

Dispositions diverses

En fin de journée, et surtout lorsqu'il y a des risques de pluie, il faut fermer les terres argileuses compactées par passage d'un rouleau lisse et en adoptant une surface ayant une légère pente. Ceci limite les imbibitions de la terre par les pluies et les arrêts de chantier qui en résulteraient.

A la réouverture du chantier, la surface de terre est hersée et s'il y a eu imbibition, il faut attendre que le matériau sèche suffisamment.

Un compactage important peut être obtenu par la circulation des camions, surtout lorsque la digue a une longueur assez importante. Il faudra organiser la circulation des véhicules pour rendre cet effet le plus uniforme possible, **mais il devra toujours être prévu au marché un complément par un compactage avec des engins spécialisés.**

Contrôle du chantier

Il portera surtout sur les terrassements et la nature des terrains rencontrés en fondation et dans les bassins.

Contrôle des remblais

On vérifiera que les matériaux utilisés en remblais sont bien homogènes et conformes à ce qui a été mis en évidence lors des travaux de reconnaissance. On devra se contenter d'un examen visuel et des essais (granulométrie) ne seront prévus que si cet examen fait penser à une modification.

Des contrôles de densité sèche et de teneur en eau permettront de suivre la qualité du compactage. La mesure se fait avec un densitomètre à membrane et la teneur en eau est estimée par dessiccation.

Contrôle des fondations et des bassins

Après décapage et **avant que la terre ne se dessèche** ou ne se sature, on fera un levé de la surface pour mettre éventuellement en évidence des zones perméables qui n'auraient pas été découvertes lors des travaux de reconnaissance. Si le terrain présente des zones étanches et d'autres perméables, les limites entre les différentes zones seront piquetées.

Au droit des digues, on s'assurera que la terre est exempte de racines ou autres matières végétales.

En conclusion, la conception et la réalisation des bassins de lagunage reposent sur l'application de techniques le plus souvent élémentaires de la mécanique des sols qui sont couramment utilisées en équipement rural pour la création des retenues d'eau.

La complexité apparente des études et procédés décrits précédemment ne doit pas masquer la rusticité et la facilité de mise en œuvre qui seront dans la règle générale.

Il convient toutefois d'insister sur la nécessité impérieuse des études préalables des terrains dont les résultats correctement interprétés conduiront soit à une réalisation sans problème grave, soit à l'abandon du procédé et éviteront tant aux maîtres d'œuvre qu'aux maîtres d'ouvrage bien des désagréments. Notons enfin que ces études préalables se justifient pour tous les procédés et qu'il peut être moins coûteux de consolider une digue en terre que de réparer un bassin en béton fissuré à la suite d'un tassement différentiel non prévu.

Ouvrages annexes de génie civil

Les ouvrages annexes aux bassins de lagunage viendront compléter les ouvrages de terrassement et comprendront des équipements classiquement utilisés dans les stations d'épuration et des équipements spécifiques au lagunage et en particulier au lagunage aéré.

Ces ouvrages situés en tête de station se différencieront dans leur conception des équipements mis en œuvre dans les autres types de stations en raison des tolérances qu'ils devront admettre quant à la charge hydraulique et ne devront pas diminuer la rusticité du procédé.

Equipements classiques des stations d'épuration

Ils seront constitués par :

- un déversoir d'orage dans les cas de réseaux unitaires,
- un poste de relèvement lorsque l'alimentation de l'installation n'est pas gravitaire,
- des prétraitements : dégrillage, dégraissage et parfois dessablage,
- mesure de débits.

Déversoir d'orage

Le déversoir d'orage a pour fonction de limiter le débit des eaux usées entrant sur la station à une valeur compatible avec un fonctionnement satisfaisant de l'installation.

Les performances du traitement biologique par lagunage ne sont pas sensiblement affectées par des surcharges hydrauliques relatives à une dilution des effluents par des eaux non polluées. En effet, si le rendement d'épuration défini comme le rapport des concentrations entrée et sortie de l'installation va baisser en raison de la dilution de l'effluent brut, la qualité de l'effluent traité restera constante ou s'améliorera.

Le débit maximum admissible sur l'installation ne sera donc lié qu'aux paramètres hydrauliques de l'installation et en particulier aux sections des canalisations de liaison et de sortie de l'effluent qui devront être suffisantes pour éviter tout risque de débordement pouvant mettre en péril la tenue des digues.

On devra donc veiller à ce que les déversoirs d'orage ne comportent pas de risques importants d'obstruction de la canalisation d'alimentation de la station.

Poste de relèvement

Le poste de relèvement a pour but d'alimenter l'installation. Il est donc composé d'une cuve et d'un dispositif d'exhaure. Dans les petites installations, on utilise généralement des pompes immergées.

La cuve de réception des eaux doit être suffisamment lestée pour être stable à vide. Son volume utile compris entre les niveaux haut et bas commandant le fonctionnement des pompes peut être déterminé par la formule :

$$v = \frac{\theta q}{4}$$

avec :

v = volume utile en m^3

q = débit de la pompe en m^3/mn

θ = le temps en mn séparant deux démarrages de pompes.

Pour les faibles débits, la valeur de θ sera au minimum de 10 mn.

Un panier dégrilleur placé au débouché du collecteur protégera les pompes.

On installera deux pompes fonctionnant alternativement et permettant d'assurer un secours en cas de panne. **Cette disposition paraît s'imposer quelle que soit la taille de l'installation.** Il ne conviendrait pas en effet que la fiabilité du lagunage soit limitée par celle du poste de relèvement des eaux. Ce poste sera équipé d'une potence et d'un treuil permettant la remontée du panier dégrilleur pour son nettoyage et celle des pompes en vue de leur entretien.

Prétraitements

Les prétraitements ne sont pas indispensables au bon fonctionnement des lagunages. Cependant, ils peuvent se justifier par le souci d'améliorer l'aspect des bassins. Ils doivent répondre impérativement à deux conditions :

- être suffisamment simples et rustiques pour ne pas entraîner de surcoût à l'investissement ni imposer des sujétions importantes d'exploitation,
- accepter les surcharges hydrauliques sans que leur efficacité soit trop compromise.

Ces deux conditions conduisent à limiter les prétraitements à un dégrillage lorsque le réseau d'égoûts est de type unitaire. Il pourra être complété par un dégraissage lorsque le réseau sera de type séparatif.

Dégrillage

Il sera limité au panier dégrilleur dans le cas d'une alimentation par poste de relèvement. L'écartement des barreaux sera dans ce cas compris entre 35 et 50 mm. Lorsque l'alimentation de la lagune sera gravitaire, le dégrillage sera constitué par une grille placée en travers d'un canal. On veillera à ce que cette grille soit suffisamment large (environ 1 m) pour diminuer la fréquence du nettoyage. Le canal d'amenée sera par contre aussi étroit que possible pour éviter qu'il se comporte comme un décanteur primaire (schéma). Le dégrillage sera muni d'un by-pass alimentant la lagune en effluent non dégrillé en cas de colmatage.

L'espace entre les barreaux sera compris entre 35 et 50 mm.

Pour les lagunages aérés les plus importants, on peut concevoir l'installation d'un dégrillage mécanique dont l'écartement des barreaux sera réduit à 25 mm. Ces équipements robustes et fiables facilitent grandement le travail du préposé.

Dégraisseur

Les problèmes posés par l'admission des huiles et des graisses devraient être résolus à leur origine par l'installation et l'entretien de boîtes à graisse avant l'admission des effluents dans les collecteurs.

Cependant, ces éléments flottants étant responsables du mauvais aspect du plan d'eau, on doit envisager un dispositif simple de rétention. Il sera constitué par un bassin présentant une cloison syphoïde. Cet ouvrage pourra être incorporé au premier bassin de lagunage.

Décanteur - digesteur

Le projeteur peut être tenté d'installer un décanteur-digesteur à l'amont du lagunage dans le but de limiter la fréquence du curage des lagunes.

Une analyse des contraintes économiques et des avantages apportés par cet équipement conduit à l'exclure presque systématiquement pour les petites stations d'épuration.

En effet, le coût de ces ouvrages qui doivent être enterrés pour conserver au lagunage ses qualités d'intégration au site entraîne en général un doublement de l'investissement initial. L'extraction des boues d'un décanteur digesteur doit s'effectuer 4 à 6 fois par an alors que la période entre deux curages de la lagune peut être estimée en moyenne à 4 ou 5 ans. L'économie réalisée sur les bassins de lagunage sera limitée à 15 à 20 % si le décanteur est bien conçu, ce qui est rarement le cas pour les petites installations.

Sauf cas très exceptionnels, on fera également l'économie du dessableur dont les contraintes d'entretien sont particulièrement lourdes en regard de son intérêt fonctionnel.

Mesure de débit

La mesure des débits d'entrée et de sortie des installations doit être prévue quelle que soit la taille des installations. Dans le cas du lagunage les volumes sortant des lagunes peuvent être très sensiblement inférieurs aux volumes entrant en raison des infiltrations et de l'évaporation ; de plus, le régime hydraulique sera considérablement laminé en raison de la surface importante des bassins.

On installera à l'entrée un canal de tranquillisation susceptible de recevoir un déversoir. A la sortie il suffira de prévoir un accès facile permettant une mesure par empotage dont la précision sera généralement suffisante dans le cas des petites agglomérations.

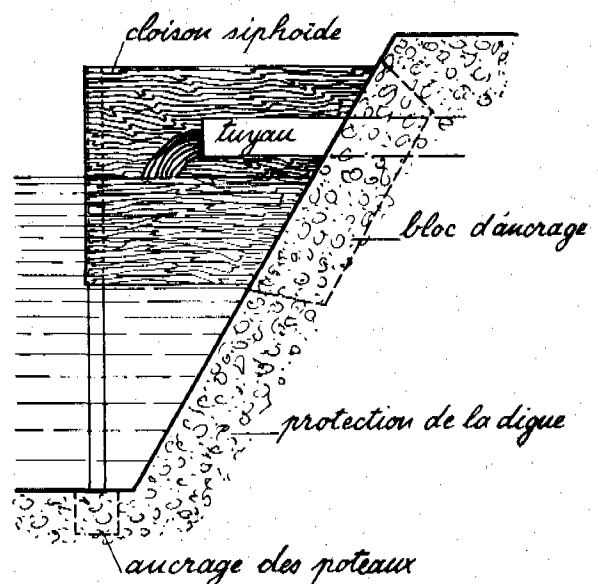
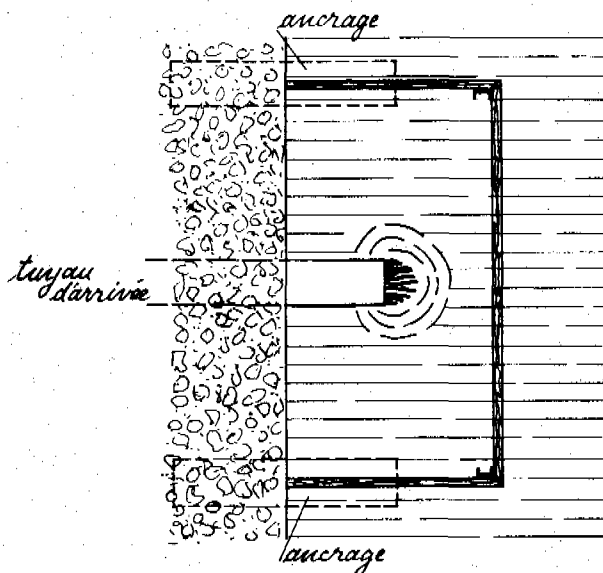
Equipements spécifiques des lagunes

Les ouvrages d'amenée et de liaison seront conçus aussi simplement que possible avec le souci cependant d'éviter les circuits hydrauliques préférentiels.

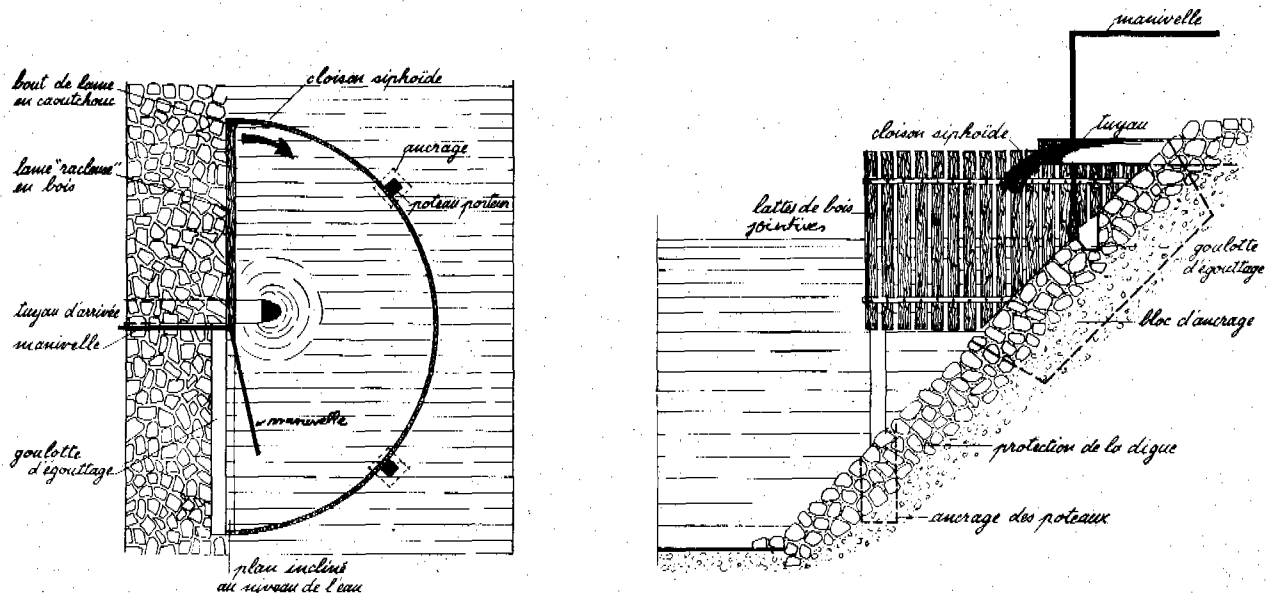
Amenée des effluents - Répartition

On conseille classiquement d'équiper l'arrivée des effluents dans un lagunage naturel d'un diffuseur dont le débouché se situe au niveau du tiers amont de la lagune. Un tel dispositif permettrait d'améliorer l'écoulement hydraulique régulier, de répartir la charge dans l'ensemble du bassin et d'étendre la zone des dépôts des matières les plus lourdes.

DEGRAISSEUR RUSTIQUE UTILISE EN ALLEMAGNE DU SUD
AMENEE DES EFFLUENTS

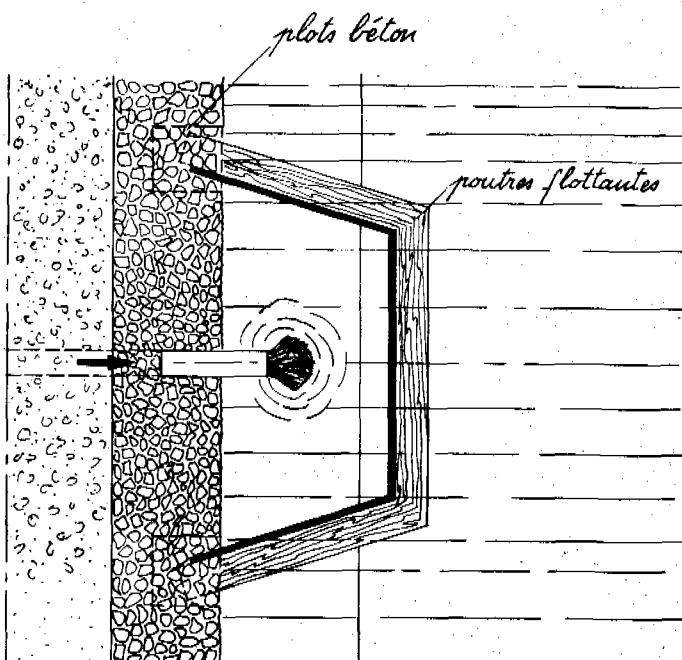
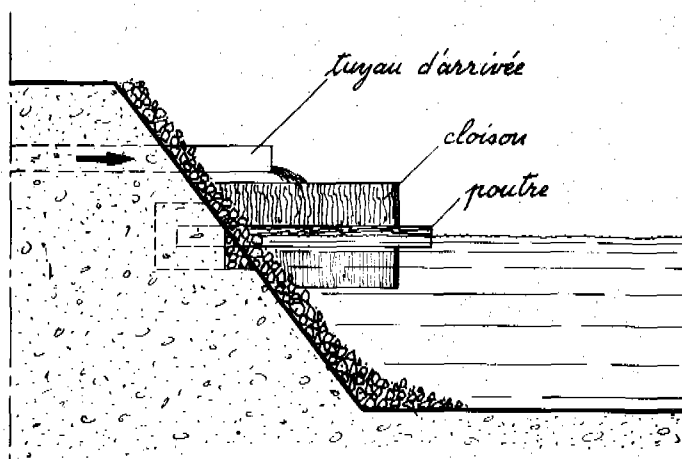


AMENEE DES EFFLUENTS
 DÉGRAISSAGE
 (autre disposition)



AMENEE DES EFFLUENTS
 DÉGRAISSAGE
 (autre disposition)

Schéma : Direction Départementale
 de l'agriculture du Haut-Rhin



En fait, il semble qu'un tel dispositif ne se justifie pleinement que dans le cas d'une alimentation par pompage pour laquelle on peut profiter d'une certaine énergie à l'arrivée dans la lagune.

Dans les cas d'alimentation gravitaire, il ne semble pas y avoir d'inconvénient majeur à utiliser un dispositif très élémentaire d'admission en tête d'installation. Ce dispositif sera la règle pour le lagunage aéré. On veillera à protéger la berge des affouillements susceptibles d'être provoqués par l'écoulement des effluents sur les digues.

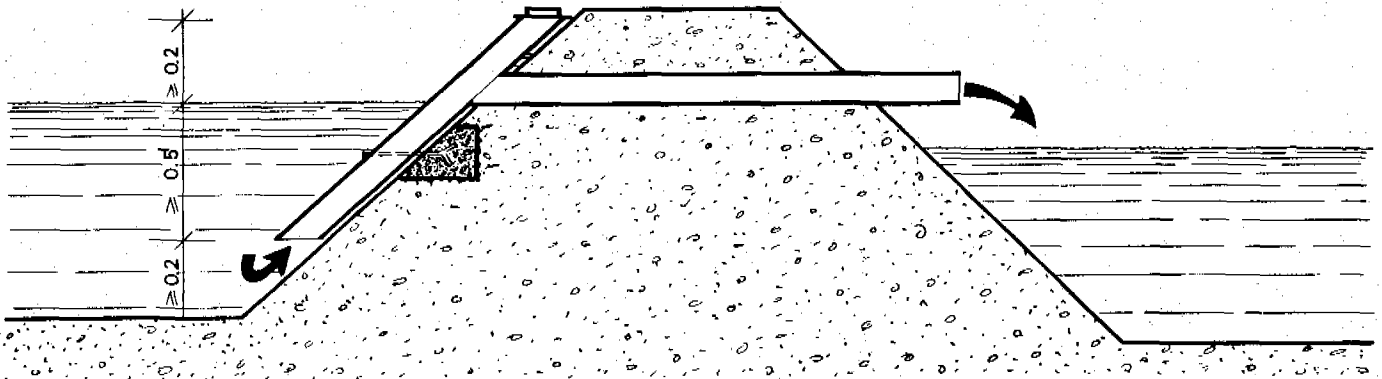
Canalisation de liaison et sortie des effluents traités

La communication entre les bassins sera réalisée par une canalisation située au niveau du plan d'eau et précédée par une cloison siphonoïde ou un T plongeant. Il convient en effet d'extraire les eaux les moins chargées en algues et les moins oxygénées qui se situent nettement au-dessous du plan d'eau sans entraîner les dépôts de fond. Les emplacements des ouvrages de communication seront judicieusement déterminés pour ménager un cheminement hydraulique satisfaisant en évitant les zones mortes et les cheminements préférentiels.

On évitera le plus possible, pour des raisons de commodité d'exécution, les canalisations situées en pied de digue.

L'ouvrage de sortie des effluents traités sera identique aux ouvrages de liaison entre bassins. Il n'est pas utile en particulier de prévoir une lame déversante dont la mise en place sera coûteuse et l'horizontalité très aléatoire.

CANALISATION DE LIAISON ENTRE DEUX BASSINS

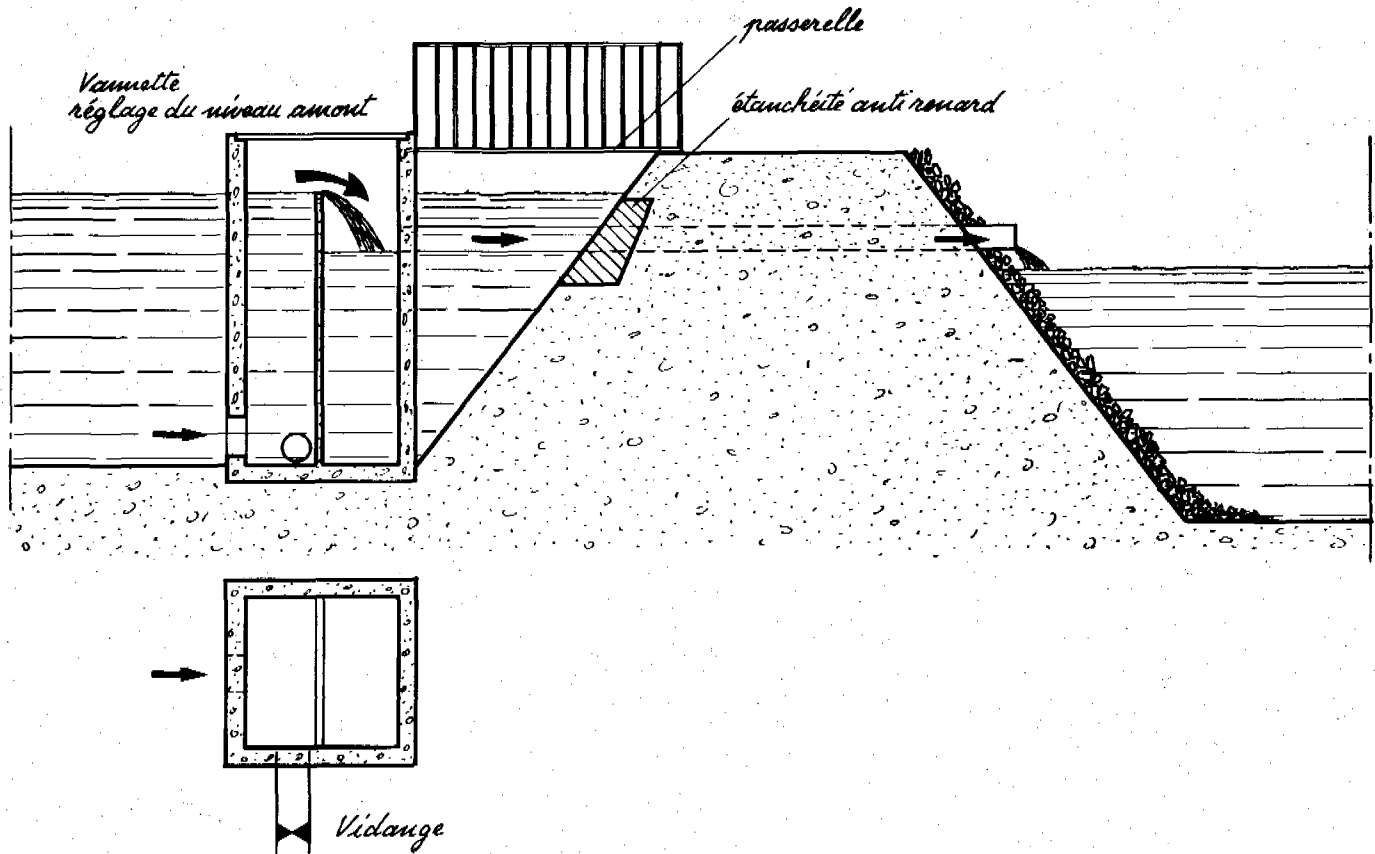


Pour limiter l'emprise des bassins de lagunage, on peut envisager de remplacer les digues de séparation entre bassins par des cloisons du type de celles utilisées pour les clôtures, plaques en ciment ou en bois et poteaux en béton. Cette disposition implique que tous les bassins soient remplis et vidangés en même temps, ce qui ne constitue pas un problème important compte tenu de la fréquence des vidanges.

On veillera à ce que la communication entre les bassins s'établisse bien par la partie supérieure avec une extraction amont à la moitié de la hauteur du bassin.

Vidange des lagunes

Lorsque la topographie s'y prête, on prévoira l'installation d'un dispositif de vidange gravitaire des bassins en utilisant un dispositif connu sous le nom de moine de pisciculture (coût élevé).



Il convient toutefois de noter que la possibilité de vidanger gravitairement une lagune présente un intérêt marginal. En effet, le curage partiel des lagunes n'implique pas nécessairement la vidange des bassins et peut se réaliser par des équipements couramment utilisés en agriculture (pompe à lisier).

Cette dernière opération ne s'imposera donc que très accidentellement et on pourra pour les petites installations faire appel sans grands frais à des pompes d'épuisement de débits élevés.

Equipements électromécaniques des lagunes aérées

Les équipements électromécaniques seront constitués par les dispositifs d'aération des bassins qui assurent également l'homogénéisation.

Dans la plupart des cas, on optera pour des aérateurs de surface. Compte tenu de la gamme classique des équipements disponibles, on peut dresser le tableau suivant :

Nb. d'habitants desservis	300	300/400	450/500	550/600	650/700	750/800	900/950 1000
Puissance des turbines (kW)	1x4	1x5,5	2x4	4+5,5	2x5,5	2x4 +5,5	3x5,5

La mise en œuvre de plusieurs turbines permet de minimiser les conséquences d'une panne éventuelle, et de mieux répartir l'énergie de brassage dans la lagune.

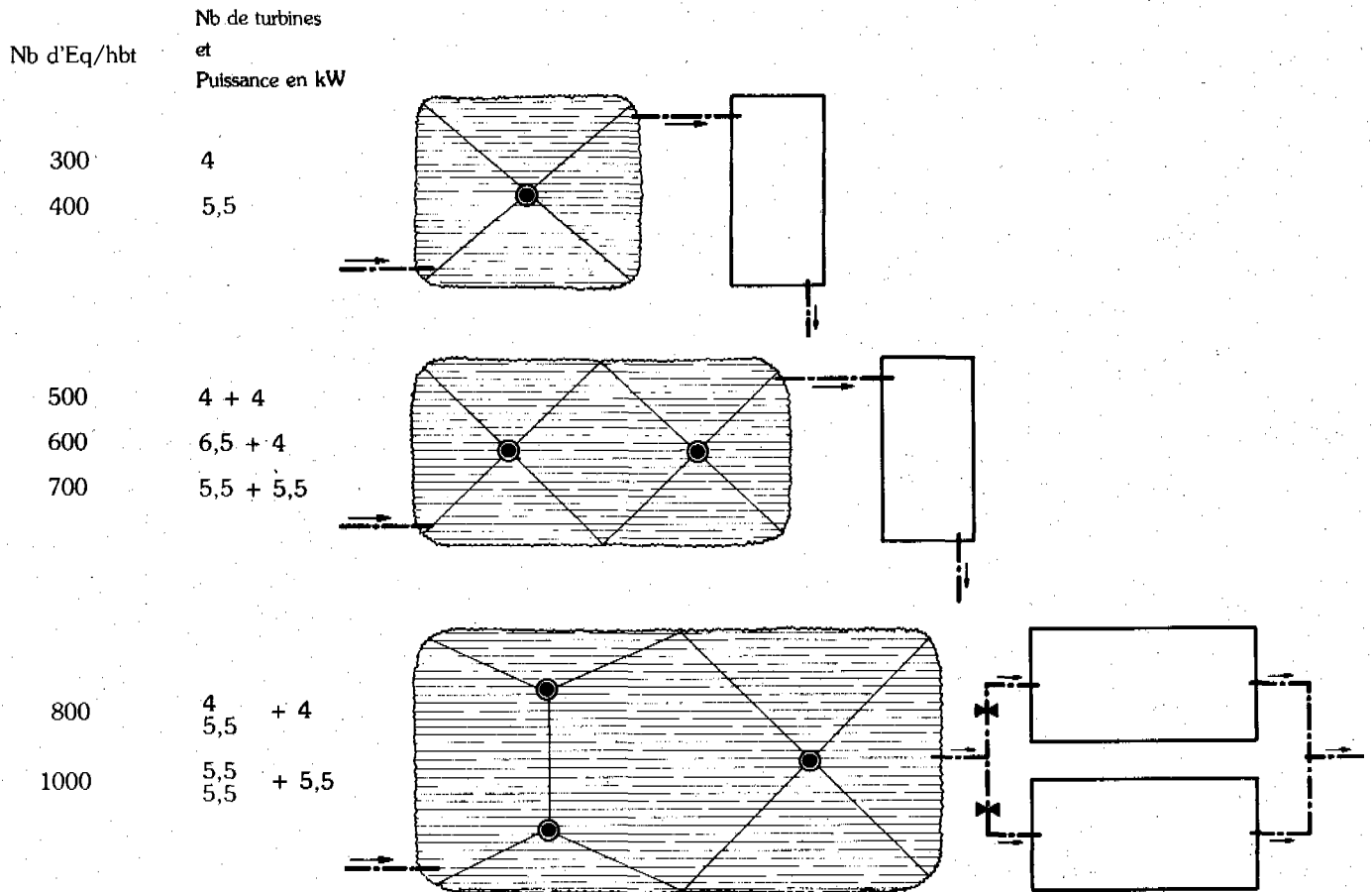
Ces turbines seront maintenues par trois ou quatre élingues en acier ou en tergal fixées à des plots en béton situés dans les digues.

La protection contre l'affouillement susceptible de nuire à l'étanchéité des bassins sera assurée par des plaques de béton disposées dans le fond à l'aplomb des aérateurs.

Lorsque l'insufflation d'air se justifiera, notamment dans le cas des lagunes profondes ($h < 4$ m), la puissance du surpresseur sera sensiblement identique à celles des turbines proposées dans le tableau ci-avant. On prendra dans ce cas le soin de bien insonoriser le local abritant cet appareil particulièrement bruyant.

Le temps de fonctionnement des aérateurs doit être défini en fonction des besoins en oxygène.

DISPOSITION DES TURBINES D'AÉRATION



Clôture du terrain

La clôture d'une installation d'épuration par lagunage peut parfois poser quelques problèmes.

Pour les lagunes aérées profondes, il est indispensable que l'installation soit clôturée au même titre que les stations d'épuration classiques.

Pour les lagunes naturelles, il n'apparaît pas souhaitable d'édifier une clôture constituée par un grillage dont la hauteur serait de 2,5 m et qui serait soutenu par des poteaux placés tous les 2 ou 3 m. Une telle disposition présenterait deux inconvénients majeurs : d'une part son coût élevé qui pourrait représenter 20 à 30 % de l'ensemble de l'installation, mais aussi son manque d'esthétique qui ferait perdre beaucoup d'intérêt quant à son intégration au site.

Il conviendra donc d'utiliser les procédés de clôture en usage dans le milieu agricole environnant, c'est-à-dire plus souvent le fil de fer ronce et les piquets de bois qui suffiront à interdire l'accès des lagunes. Ce dispositif pourra être complété, le cas échéant, par une haie vive.

CHAPITRE IV

CHAPITRE IV

L'exploitation des lagunages

Un des intérêts principaux des lagunages est la simplicité de l'exploitation. Cette simplicité ne saurait cependant aller jusqu'à une absence d'entretien qui se traduirait à terme par un abandon pur et simple des installations.

Trois types d'interventions peuvent être distingués :

- surveillance des équipements mécaniques et électromécaniques
- entretien des lagunes
- curage de bassins et élimination des boues

Surveillance des équipements mécaniques et électromécaniques

Dans le cas d'un lagunage naturel alimenté gravitairement, cette intervention sera limitée au nettoyage de la grille et réalisée tous les deux jours si la grille est bien dimensionnée. Les déchets seront collectés dans des poubelles étanches.

Dans le cas d'une alimentation par pompes et pour le lagunage aéré, il est souhaitable que la fréquence de passage du préposé soit quotidienne. Les temps de fonctionnement des pompes et des aérateurs seront relevés et permettront de déceler d'éventuelles anomalies de fonctionnement comme l'absence de permutation des pompes de relèvement.

Le réglage du temps de fonctionnement des aérateurs dans tous les cas de lagunage aéré sera effectué en principe tous les deux ou trois mois sur les conseils du service d'assistance technique qui pratiquera des mesures d'oxygène dissous. La présence d'algues dans les bassins aérés fera perdre toute signification à la mesure d'oxygène si cette mesure est réalisée en période diurne. La présence d'algues en grande quantité dans ces bassins n'est pas souhaitable. Si la couleur de l'eau dans les bassins d'aération évolue au vert foncé, il faudra augmenter les temps de fonctionnement des aérateurs quelles que soient les valeurs d'oxygène mesurées. En effet, dans ces cas, la surcharge organique sur un bassin se comportant en fait comme un lagunage naturel entraîne un risque d'anaérobiose qui peut apparaître en quelques jours, notamment en période de réchauffement des eaux. Cette anaérobiose conduira à un développement des bactéries du soufre qui feront passer la couleur de l'eau du vert au brun (bactéries rouges) avec de possibles dégagements d'odeurs d'hydrogène sulfuré. **En cas d'odeurs inhabituelles, et notamment en été par temps orageux, le fonctionnement des aérateurs sera maintenu 24 heures consécutives** ou plus jusqu'à élimination totale des odeurs.

Entretien des lagunes

Elimination des flottants

En cas d'arrivée d'éléments flottants, il pourra s'avérer utile pour sauvegarder l'aspect esthétique des bassins, de les éliminer à des fréquences pouvant varier de 1 fois par semaine à 1 fois par mois. Ces flottants se rassemblent sous l'effet du vent dans un coin de la lagune. Les hydrocarbures fréquemment présents dans les effluents sont généralement absorbés par les digues et ne présentent donc pas de graves inconvénients. Cependant, en cas d'arrivée trop fréquente, on devra en rechercher l'origine et faire cesser les déversements dans le réseau.

Entretien des digues

L'entretien des digues portera essentiellement sur la maîtrise de la végétation et la lutte contre les rongeurs éventuels.

La tonte de l'herbe et l'élimination des broussailles devront permettre un accès permanent à l'ensemble des berges. On pourra ainsi déceler la présence éventuelle de rongeurs. La présence de végétation aquatique près des berges favorise l'installation de rongeurs aquatiques tels que le ragondin et le rat musqué.

Le ragondin et le rat musqué nichent à proximité du plan d'eau. Lorsque le terrain est meuble (absence d'enrochements), ils peuvent miner les abords de la berge. Leur reproduction donne lieu à des migrations saisonnières importantes.

Les problèmes posés par les rongeurs ne sont pas spécifiques aux lagunes et concernent au même niveau de risques tous les autres plans d'eau. Il ne semble pas en particulier que les rongeurs s'installent plus électivement dans les lagunes. Le contrôle de rongeurs sera grandement facilité par l'entretien soigneux des berges.

Les moyens en personnel et en matériel seront réduits. La qualification du personnel et les temps passés seront compatibles avec les moyens les plus limités des petites communes. On doit prévoir en moyenne 2 à 3 heures par semaine et 1 ou 2 journées complètes par mois pour l'entretien des digues.

Le matériel utilisé sera composé des outils classiques de nettoyage, pelle, fourche, balai-brosse et d'une grande époussette solide pour la récupération des flottants et une faux pour le débroussaillage.

Une poubelle ou des sacs plastiques résistants seront utilisés pour la collecte et le transport des rejets de dégrillage et des flottants.

La mise à disposition d'une brassière de sauvetage est exigée par les normes de sécurité.

Pour les installations importantes, la disposition d'une embarcation permettra une inspection des digues par l'intérieur.

Entretien des lagunes à macrophytes

L'entretien des lagunes à macrophytes consistera essentiellement en la plantation et le faucardage des végétaux.

Mode et technique de plantation des végétaux

Scirpus lacustris.

La période favorable à la plantation se situe au printemps (vers avril). Les plants prélevés sont constitués des portions de rhizomes porteurs d'un bourgeon terminal et de 3 à 5 tiges vertes dressées à 50 cm d'intervalle.

Phragmites communis :

La période favorable à leur plantation est identique à la précédente. Les fragments de rhizomes prélevés doivent être âgés de 5 à 6 ans. Ils sont plus ou moins creux, et de ce fait sensibles à l'introduction d'air lorsqu'ils ont été sectionnés.

Les chances de réussite de la transplantation seront augmentées si les rhizomes extraits sont placés aussi rapidement que possible dans des récipients pleins d'eau (sacs plastiques par exemple). De même, les plants en seront retirés juste avant repiquage, dont le mode est analogue à celui des scirpes. La densité de plantation est de 5 unités au mètre carré.

Le mode de plantation est le suivant :

manuellement : une bêche est enfoncée dans le sol (profondeur : 25 à 30 cm). Un mouvement de va-et-vient provoque une échancrure dont l'ouverture supérieure est de 15 à 20 cm. Le plant est introduit à la base de l'échancrure, puis un nouveau mouvement de va-et-vient suivi d'un enlèvement de la bêche referme l'excavation.

mécaniquement : l'on procède à la confection de sillons parallèles distants de 50 cm. Après introduction des plants, les sillons sont refermés par compression latérale (pression exercée dans l'espace intersillons).

Faucardage

Il est à réaliser de préférence une fois par an, en automne. Lorsque les scirpes font l'objet d'une commercialisation, la coupe peut se pratiquer en été, manuellement, de façon à obtenir des tiges végétales de bonne qualité qu'il est possible de laisser sécher dans de bonnes conditions. Dans ce cas, l'on peut procéder à une coupe d'été tous les deux ans, et à une coupe d'hiver chaque année (mécanisée par exemple).

Les scirpes doivent être sectionnés suffisamment haut pour respecter la zone méristématique (basale) et conserver à la plante sa fonction chlorophyllienne. En tout état de cause, le faucardage doit se pratiquer dans toute la mesure du possible au-dessus de la surface libre. On retiendra comme hauteur minimale de référence : 0,50 m (à compter du fond).

Les phragmites, à la différence des scirpes, possèdent des nœuds répartis sur la tige dressée, et les entre-nœuds sont creux (comme le sont, relativement, les rhizomes). Par contre, le méristème est également basal.

La période favorable à leur faucardage se situe avant la chute des feuilles, c'est-à-dire vers la fin du mois de septembre. La hauteur de coupe se situe **toujours** à la fois au-dessus de la surface libre et du nœud le plus proche du sol.

A noter que l'introduction d'eau dans la portion d'entre-nœud sectionnée nuit fortement au développement des phragmites ; de ce point de vue, l'influence du batillage peut être négligée. En effet, s'il contribue à l'introduction d'eau, le mouvement qu'il imprime aux tiges dressées contribue à l'en faire également sortir.

Curage des bassins - Elimination des boues

Le curage des bassins

Comme dans tous les procédés d'épuration des eaux usées, il existe pour le lagunage une production de boues en excès qu'il faut éliminer. Cependant, en raison des volumes mis en jeu, le problème des boues de lagune présente deux spécificités très importantes.

D'une part, la fréquence d'extraction de ces boues en excès s'évalue en années, alors qu'elle s'évalue en mois dans le cas d'une digestion anaérobie et en semaines dans le cas des boues activées. D'autre part, les longs temps de séjour conduisent à une minéralisation poussée, une concentration relativement élevée et une masse résiduelle faible.

Le calcul théorique de la production de boues établi sur la base d'une production quotidienne de 30 g de boues stabilisées par usager desservi et sur une concentration de 55 g par litre, conduit à évaluer le dépôt de boue à 2 ou 3 cm par an et sur l'ensemble des bassins d'un lagunage naturel. En pratique, la répartition des dépôts n'est pas uniforme, elle intéresse essentiellement le premier bassin et à l'intérieur de ce bassin plus particulièrement la zone proche de l'admission. Les observations encore peu nombreuses conduiraient à prévoir le rythme des interventions du curage suivant :

- tous les 2 à 3 ans : curage partiel à proximité du point d'introduction de l'effluent,
- tous les 10 ans : curage de l'ensemble du premier bassin.

Les bassins secondaires à microphytes ou à macrophytes ne semblent pas devoir être curés avant 15 ou 20 ans.

L'enlèvement des boues des lagunes va donc se présenter comme une intervention lourde qui doit être dissociée de l'exploitation de routine.

Sauf dans les cas exceptionnels de lagunes constituées par deux bassins pouvant fonctionner en parallèle et équipés d'un système de vidange gravitaire, il ne sera ni utile, ni judicieux de vider entièrement la lagune pour procéder au curage.

Dans le cas des lagunages aérés, les lagunes de décantation pourront être curées à partir des berges au moyen de pompes du type de celles utilisées en agriculture pour le lisier. Les dépôts situés dans les lagunes aérées se situeront dans les angles et près des bords.

Pour les lagunes simples et pour les petites installations, on pourra après abaissement du plan d'eau, accéder dans les bassins et déplacer l'aspiration d'une pompe installée sur les digues. Dans les installations plus importantes, on utilisera des pompes à eaux chargées, flottantes ou immergées à partir d'un radeau.

La durée du curage dépendra bien entendu de la taille de l'installation; on peut cependant l'estimer (pour 1000 habitants) à une journée pour le curage partiel d'entrée du lagunage naturel et celui d'une lagune de décantation en lagunage aéré, et à une semaine pour un curage complet d'un lagunage naturel. Dans ce dernier cas, on profitera de cette opération lourde pour remettre en état les digues si cela est nécessaire.

L'élimination des boues

La seule destination finale des boues devra être son utilisation agricole (voir les publications du CTGREF se rapportant à ce sujet).

Le curage se fera donc à une époque de l'année où cette utilisation agricole est la plus favorable compte tenu des pratiques culturales, au voisinage de l'installation.

Le cas le plus favorable sera celui où la proximité des terrains sera compatible avec un transport par canalisations. Dans les autres cas, on utilisera du matériel agricole pour le transport et l'épandage.

Bien qu'il s'agisse d'une intervention lourde et parfois coûteuse, il convient de ne pas en exagérer a priori les difficultés.

CONCLUSION

Ce document n'a pas abordé les aspects financiers du lagunage en raison de la très grande dispersion des données actuellement disponibles. Plus que pour tout autre procédé, le coût du lagunage varie dans de très larges proportions en fonction du site dans lequel il s'insère.

Le premier facteur du coût est le prix du terrain en raison des surfaces utilisées. L'acquisition d'une parcelle de terrain agricole de faible valeur ne pourra se comparer à celle de la même superficie située dans une zone constructible et l'élaboration des plans d'occupation des sols pourra avoir des conséquences décisives sur la possibilité de réaliser ou non un lagunage dans une commune.

Les conditions naturelles du site et en particulier la topographie du terrain et la nature du sol constitueront le deuxième facteur du coût. Des terrains plats, situés à une cote suffisamment basse pour éviter la mise en place d'un poste de relèvement et permettre d'équilibrer les remblais et les déblais sans transport de matériaux, seront des conditions très favorables. Par contre, des terrains accidentés, rocheux, nécessitant une étanchéité artificielle conduiront à des coûts beaucoup plus élevés.

Les époques de l'année auxquelles seront réalisés les travaux pourront également avoir une incidence sur le coût.

Le degré de finition des ouvrages de génie civil, l'enrochement des digues, le type de clôture dont le linéaire sera nécessairement élevé, les voies d'accès et de circulation seront aussi des paramètres du coût.

Enfin, les techniques de réalisation et les matériels utilisés, les qualifications des entreprises, les phénomènes de concurrence seront aussi des facteurs non négligeables.

Les données actuellement disponibles permettent de situer les coûts du lagunage dans un intervalle allant de 15 à 120 % des coûts des stations d'épuration classiques. Il convient de signaler cependant qu'à égalité de coût d'investissement, le lagunage naturel reste économiquement préférable en raison du coût d'exploitation et de l'absence de dépenses d'énergie. Pour le lagunage aéré dont les consommations d'énergie sont sensiblement identiques à celles des procédés d'aération prolongée, les coûts d'exploitation resteront plus faibles en raison de la facilité de l'exploitation.

L'aspect économique n'est cependant pas le seul avantage du lagunage. Sa fiabilité et surtout le fait que ses meilleures conditions de fonctionnement et notamment son efficacité bactériologique coïncident avec les périodes les plus chaudes qui sont également les périodes pendant lesquelles les milieux récepteurs sont les plus sensibles en font un outil remarquable pour la protection des ressources naturelles en eau. Enfin, l'intégration harmonieuse de ces équipements aux paysages ruraux devrait satisfaire les défenseurs de la nature les plus exigeants.

Il ne faudrait cependant pas considérer le lagunage comme une technique d'épuration universelle et il convient de rappeler les limites du procédé dans le domaine des performances.

Si les rendements d'épuration évalués en fonction des paramètres classiques DBO₅, DCO, MES, très comparables aux meilleurs procédés d'épuration ont pu être obtenus dans un certain nombre de cas, les performances des installations de lagunage seront en règle générale limitées par les rejets d'algues avec l'effluent traité. Les teneurs en matières en suspension et en DBO₅ et DCO mesurées sur l'effluent non filtré pourront périodiquement dépasser des valeurs de 100 mg/l.

Pour les petites installations desservant moins de 1000 habitants, et la très grande majorité des milieux récepteurs concernés, ces valeurs seront facilement supportées. Il pourrait ne pas en être de même pour des stations beaucoup plus importantes et des milieux particulièrement sensibles.

Ces insuffisances seront peut être comblées par les progrès que ne manquera pas de faire la technique du lagunage dans les prochaines années. En effet, cette technique n'est pas figée et des perspectives intéressantes sont dès à présent ouvertes grâce à l'utilisation des macrophytes. Les études en cours et notamment celles entreprises par le C.T.G.R.E.F. devraient conduire à une meilleure maîtrise de ces techniques et à leur optimisation qui trouvera tout son intérêt dans l'application du lagunage à l'épuration des effluents des plus grandes collectivités.

126

BIBLIOGRAPHIE

Principaux ouvrages et documents consultés

N. ANGELI, 1977. «Bassin pilote d'autoépuration des Prés Duhem. Rapport final du Laboratoire de Biologie Animale sur le suivi biologique effectué de mars 1976 à février 1977». Service de Prostistologie et Microscopie Electronique. Université des Sciences et Techniques de Lille I.

D. BALLAY, L.A. LECLERC, M. VAUCOULOUX. «Progrès récents et perspectives dans le domaine de l'épuration des eaux résiduaires». Regards sur la France (ouvrage consacré au CTGREF) - Janvier 1978.

C.T.G.R.E.F., Groupement d'Antony - Division Q.E.P.P. - «Les processus extensifs d'épuration par systèmes biologiques». Informations techniques, Cahier 24, n° 2 - Décembre 1976.

E.F. GLOYNA, Ed. O.M.S. - «Bassins de stabilisation des eaux usées».

International Conference on Biological Water quality Improvement Alternatives par Dr. de JONG - «Bulrush and Reed Ponds. Purification of sewage with the aid of ponds with bulrushes or reeds». RIJK-WATERSTAAT - 3-5 Mars 1975, Philadelphie.

M.D. PARENTY, 1977 - «Variations spatio-temporelles du plancton des bassins de lagunage alimentés par la station d'épuration d'Aniche-Auberchicourt-Nord». Mémoire pour l'obtention du D.E.A. biologie de la reproduction et du développement — Université des Sciences et Techniques de Lille.

Ministère de la Qualité de la Vie (DPPN et Délégation de la Région Languedoc Roussillon) - **Ministère de l'Agriculture** (SRAE Languedoc Roussillon) - «Etude des conditions de fonctionnement d'étangs de stabilisation. Etang tertiaire de Leucate-Village. Etude BCEOM n° 124 - Février 1976.

R. RINGUELET - 1977 - «Le lagunage naturel - Un procédé rustique souple et efficace pour épurer les eaux usées domestiques».

Ministère de l'Agriculture - Direction de l'Aménagement Technique des barrages en aménagement rural 1977.

Ministère de l'Equipement - SETRA - LCPC - Recommandations pour les terrassements routiers - Janvier 1977.

C.T.G.R.E.F. - Informations techniques. Le compactage des remblais - Mars 1973.

C.T.G.R.E.F. Antony - Fascicule 69 du C.P.C. Etanchéité titre IV-4. Chapes et membranes - 1973.

M. VAUCOULOUX - Utilisation des végétaux aquatiques dans les procédés d'épuration biologiques — Rapport de Mission effectuée aux Pays Bas et en République Fédérale d'Allemagne (20 septembre au 2 octobre 1977). C.T.G.R.E.F. - Groupement d'Antony - Division Q.E.P.P. Juillet 1978.

M. VAUCOULOUX - Le lagunage naturel - Procédé biologique extensif d'épuration des eaux usées domestiques. Etude n° 30 CTGREF, Groupement d'Antony - Division Q.E.P.P. Juillet 1978.

M. VAUCOULOUX - L'épuration des eaux usées domestiques par lagunage naturel aux USA - Eléments d'un bilan d'utilisation des lagunes à microphytes. Orientations et recherches actuelles. Rapport de Mission effectuée aux Etats Unis d'Amérique (7 août au 21 août 1978). CTGREF Groupement d'Antony - Division Q.E.P.P. - Janvier 1979.

Agence de Bassin Loire-Bretagne - Assainissement des agglomérations littorales - Orientations des choix technologiques - 1977.

Agence de Bassin Loire-Bretagne - Etude comparative des procédés d'épuration des effluents des petites et moyennes collectivités. Supplément n° 9 de l'Eau en Loire-Bretagne - 1976.

S.C. WHITE and L.G. RICH - How to design aerated lagoons to meet 1977 effluents standard. Water and Sewage works - Mars - Avril - Mai - Juin 1976.

J. BEBIN - La lagunage aéré - Tech. et Sciences Municipales - Novembre 1973

E.H. BARTSCH et C.W. RANDALL. Aerated lagoons a report on the state of the art Wpcf 43 1971.

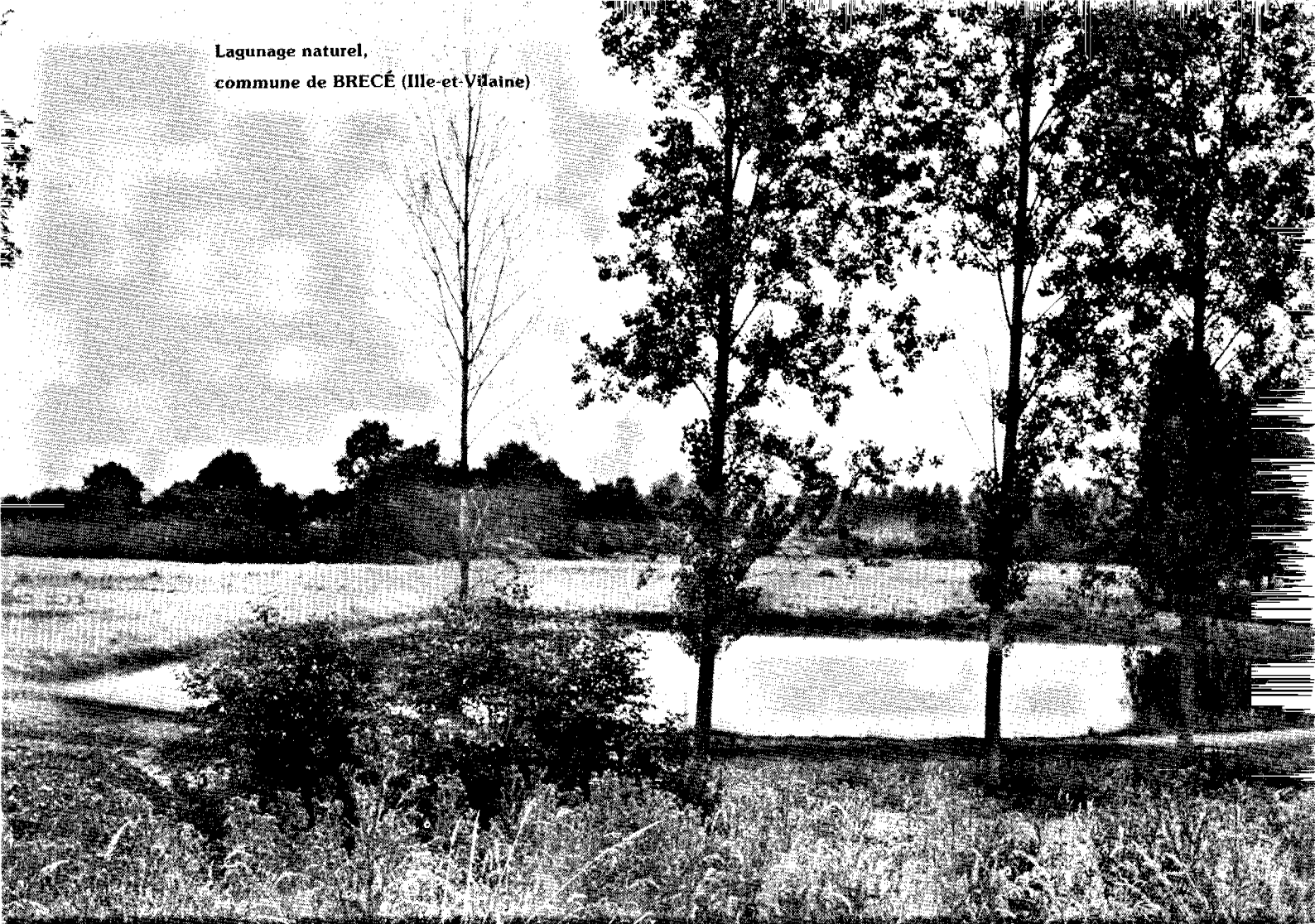
W.W. ECKENFELDER - A rational design procedure for aerated lagoons treating municipal and industrial wastewaters. Advances in water pollution research : Proceedings of the 6 th International Conference W.P.R. - Pergamon Press - London 1973.

Mc KINNEY - Mathematics of complete mixing activated sludge Trans. America Soc. Civil eng. 128 III - 1963



Crédit photographique : CTGREF Paris

**Lagunage naturel,
commune de BRECÉ (Ille-et-Vilaine)**



**Lagunage aéré pour 500 habitants,
commune de CHAUCHÉ (Vendée)**

