

# Le lagunage naturel en France – État de l’art et tendances

Yvan Racault<sup>a</sup>, Catherine Boutin<sup>b</sup>

Depuis la fin des années soixante-dix, le lagunage naturel s’est largement développé en France et a trouvé son application privilégiée dans le traitement des eaux usées des petites collectivités rurales. Il y a désormais 2 500 à 3 000 installations d’une taille moyenne de 600 habitants, ce qui représente en nombre 20 % du parc de stations d’épuration. Quelques installations situées en zone côtière sont d’une taille beaucoup plus importante avec la particularité de traiter des charges variables en période estivale. L’expérience accumulée sur plus de 25 ans de l’application de la technique du lagunage sous le climat français a permis de dresser un premier bilan de son fonctionnement et de mieux définir son domaine privilégié d’application.

Le présent article présente une synthèse des résultats collectés soit par le Cemagref, soit par les organismes départementaux chargés des suivis (SATESE<sup>1</sup>) et vise à dégager les conséquences qui en résultent sur la conception et sur l’exploitation des installations.

## Matériels et méthodes

Différentes sources de données ont été utilisées :

– les résultats recueillis auprès des SATESE, en particulier sur les charges appliquées et la qualité de l’eau traitée (Racault *et al.*, 1995), sur les améliorations de qualité (Boutin *et al.*, 2003) et plus récemment sur le traitement des boues ;

– la synthèse des résultats obtenus sur 102 lagunes et sur une période de 3 ans dans le département d’Ille-et-Vilaine (Delouée, 2002) ;

– les résultats d’études de fonctionnement sur plusieurs cycles annuels, menées dans le but d’analyser les causes de dysfonctionnement du lagunage (Racault, 1993).

## Résultats

### Caractéristiques du parc de lagunages naturels et de leurs conditions d’alimentation

Au cours des 20 dernières années, le lagunage naturel a pris dans notre pays une place importante parmi les procédés de traitement des eaux usées domestiques, notamment en milieu rural. Si, en capacité de traitement cumulée, il ne totalise qu’1 à 2 % de la pollution globale à épurer, l’effectif de stations de ce type représente environ 20 % du parc sur l’ensemble du territoire et dans certains départements ruraux, cette part peut atteindre, voire dépasser, 50 %.

Une enquête nationale (Boutin *et al.*, 1986) a établi de manière exhaustive l’état d’implantation du lagunage dans les différents départements français, dix années après son introduction. On avait pu y constater alors le rapide développement du procédé. Sa simplicité a répondu aux attentes de beaucoup de petites collectivités où les techniques traditionnelles avaient jusqu’alors donné des résultats souvent décevants et insuffisants.

1. Service d’assistance technique aux exploitants des stations d’épuration.

### Les contacts

a. Cemagref, UR Réseaux, épuration et qualité des eaux, 50 avenue de Verdun, BP 3, 33612 Cestas Cedex

b. Cemagref, chargée de mission « Épuration des eaux usées », mission appui technique (CGGREF), 140 bis rue de Rennes, 75005 Paris

Au cours des dernières années, la croissance du nombre d'installations construites a fortement chuté en raison de différents facteurs :

- la très petite taille des collectivités restant désormais à équiper de stations d'épuration,
- une qualité de rejet des eaux traitées devenue plus élevée dans certains milieux récepteurs et incompatible avec les performances normales du lagunage naturel,
- la désaffection de certains maîtres d'œuvre pour cette technique.

Cependant, dans certains départements adeptes de cette technique, la construction des lagunages n'a pas faibli ces dernières années (exemple : Ille-et-Vilaine). La taille moyenne des installations de lagunage en France reste aux environs de 600 habitants. Le taux de charge moyen ne peut être connu avec précision en raison du nombre limité de mesures bilans disponibles sur ce type d'installations, de petite taille et ne disposant pas généralement d'énergie électrique.

De l'enquête menée par le Cemagref en 1992 (Racault *et al.*, 1995), il résultait un taux de charge organique moyen correspondant à 25 kg DBO<sub>5</sub>/ha.j<sup>-1</sup> sur l'ensemble des bassins, soit dans la majorité des cas une charge ne dépassant pas 50 % de la charge nominale. Des évaluations récentes sur le département d'Ille-et-Vilaine et portant sur les données de 102 lagunages, sur 3 ans (Delouée, 2002), montrent une charge moyenne proche de la précédente : 27 kg DBO<sub>5</sub>/ha.j<sup>-1</sup>. En majorité, les installations de lagunage naturel en France sont donc sous-chargées

par rapport à leur dimensionnement initial. En matière de débits reçus, la situation est très contrastée. Le lagunage étant souvent choisi pour accepter les effluents de réseaux non séparatifs ou ceux comprenant une grande quantité d'eaux parasites, les charges hydrauliques sont souvent élevées, notamment en période hivernale (Racault *et al.*, 1995).

### Les performances des installations existantes

À l'issue de l'enquête de 1992 et en se limitant aux installations sur lesquelles des mesures bilans étaient disponibles (Racault *et al.*, 1995), nous avons pu dégager les valeurs moyennes obtenues en sortie de lagunage pour tous types de réseaux confondus et en dissociant les réseaux séparatifs des réseaux unitaires. Ces résultats avaient montré des écarts-types élevés sur tous les paramètres, ce qui était représentatif de la variabilité des rejets de lagunage due en particulier aux effets saisonniers et à une dilution plus ou moins marquée suivant les réseaux. Les valeurs obtenues montraient que les exigences de niveaux de rejet de la réglementation européenne (tableau 1) pouvaient s'avérer difficiles à respecter avec des réseaux très séparatifs.

Des mesures récentes (Delouée, 2002) confirment les moyennes obtenues en 1992. Pour ces installations situées en Bretagne, qui ont un âge moyen de 11,6 ans, la charge organique reçue varie entre 16 et 48 kg DBO<sub>5</sub>/ha.j<sup>-1</sup>. Le tableau 2 montre une série de 317 mesures, dont 30 % réalisées en période estivale (juin à septembre). Les valeurs sont proches de celles obtenues sur

► Tableau 1  
– Niveaux de rejet européens et/ou français.

| Charges > 120 kgDBO <sub>5</sub> .j <sup>-1</sup> | Niveau de rejet Europe et France * |      | DCO <sub>f</sub> ** = 120 mg.l <sup>-1</sup> | MES = 150 mg.l <sup>-1</sup> |
|---|------------------------------------|------|--|------------------------------|
| Charges < 120 kgDBO <sub>5</sub> .j <sup>-1</sup> | Niveaux français :                 | D3 * | Rendements : 60 % pour DCO et N-NK           |                              |
|   |                                    | D4   | DBO <sub>5</sub> = 25 mg.l <sup>-1</sup>     | DCO = 125 mg.l <sup>-1</sup> |

\* Valeurs pour lagunages.

\*\* DCO<sub>f</sub> : DCO sur échantillon filtré.

► Tableau 2 – Qualité moyenne des eaux épurées en sortie des lagunes d'Ille-et-Vilaine en mg.l<sup>-1</sup> (Delouée, 2002).

| Période        |                    | DCO <sub>f</sub> * |    | MES |    | N-NK |      | N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> |      | PT  |     |
|----------------|--------------------|--------------------|----|-----|----|------|------|--------------------------------|------|-----|-----|
| Juin-septembre | moyenne écart-type | 95                 | 38 | 74  | 68 | 16,3 | 10,6 | 9,6                            | 10   | 6,6 | 3,6 |
| Octobre-mai    | moyenne écart-type | 71                 | 29 | 50  | 45 | 18,8 | 11,2 | 12,6                           | 10   | 5,7 | 2,9 |
| Année globale  | moyenne écart-type | 78                 | 34 | 57  | 54 | 18,0 | 11,0 | 11,6                           | 10,1 | 6,0 | 3,1 |

DCO<sub>f</sub> : DCO sur échantillon filtré.

l'échantillon du Cemagref concernant les réseaux non séparatifs (Racault *et al.*, 1995). Ce constat de concordance s'explique en partie par la présence fréquente d'eaux parasites sur les lagunes de l'échantillon de Bretagne.

En tout état de cause, il faut pondérer ces résultats par le taux de charge organique reçu qui, en moyenne, demeure très inférieur à la valeur nominale. Par ailleurs, afin de tenir compte de la non-conservation des débits entrée-sortie (phénomènes d'infiltration et d'évaporation spécifiques des bassins de lagunage), les rendements doivent être calculés sur les flux (Racault *et al.*, 1995). Ce mode de calcul, plus représentatif des impacts sur le milieu récepteur, est favorable au lagunage en particulier en période estivale. Il est utilisé en France depuis 1997 avec la mise en place du niveau de rejet D3 (tableau 1) applicable aux petites agglomérations (ministère de l'Équipement, 1997). Concernant l'influence de l'âge des installations, en l'absence d'accumulation de boue excessive, l'impact paraît difficilement mesurable sur les paramètres carbone et azote.

### Les principales causes de dysfonctionnement

Un certain nombre de dysfonctionnements sont apparus sur les lagunages naturels au fil des années et l'analyse des causes a été étudiée notamment au cours d'une étude réalisée dans le Sud-Ouest de la France (Racault, 1993). Les crises se traduisent par la disparition des algues, l'absence d'oxygénation et les nuisances olfactives qui en découlent. Des phénomènes « d'eaux rouges » apparaissent avec le développement de bactéries photosynthétiques du soufre qui utilisent comme substrat l' $H_2S$  du milieu. Ces dysfonctionnements apparaissent majoritairement en période automne-hiver. En automne, avec la réduction de la durée de l'éclairement et la réduction de température, une disparition plus ou moins brutale de la biomasse algale peut intervenir.

Les causes de dysfonctionnement sont multiples, mais quelques facteurs pris indépendamment ou conjointement sont prépondérants, et leur prise en compte a des conséquences sur la conception et le domaine d'application du lagunage. On peut citer en particulier, sous les contraintes climatiques moyennes françaises, les facteurs suivants :

- la concentration des effluents. L'alimentation avec des eaux usées concentrées (moyenne annuelle en  $DBO_5 > 300 \text{ mg.l}^{-1}$ ) est un facteur

aggravant du risque de dysfonctionnement. Le raccordement d'effluents industriels est aussi à proscrire ;

- la surcharge organique, même saisonnière, du premier bassin ;
- la septicité des effluents qui peut affecter la stabilité de l'écosystème lagune (Racault, 1993) ;
- la profondeur excessive des bassins et en particulier du premier. La stratification observée au printemps et en été dans des petits bassins protégés du vent se trouve détruite à l'automne, provoquant un mélange avec les couches inférieures ; ses conséquences seront d'autant plus marquées que le volume en anaérobiose est important ;
- la forme des bassins. Une forme allongée induit un modèle d'écoulement en piston diffusionnel et favorise une surcharge en tête de bassin ;
- une accumulation de boue en tête de bassin (cône de sédimentation) peut amorcer une anaérobiose locale initiatrice de dysfonctionnement.

Ces phénomènes de dysfonctionnement proviennent soit de carences dans la conception soit de défauts d'exploitation qui peuvent trouver remède *a posteriori*. Concernant le premier point, les phénomènes constatés *in situ* ont conduit à modifier les bases de dimensionnement majoritairement adoptées en France entre 1975 et 1995.

### Conception et dimensionnement en France

L'expérience acquise en France sur le lagunage nous a conduits à quelques évolutions sur la conception et les recommandations établies dans les années 80 (figure 1, page 80).

Pour assurer une bonne fiabilité de fonctionnement, trois bassins en série sont nécessaires. La troisième lagune, même si elle améliore peu la qualité du traitement, est très utile lorsque les boues s'accumulent dans les bassins amont au fil des années. Elle permet aussi, lors du curage des boues du premier bassin, de maintenir une bonne qualité de traitement. Certains départements recommandent désormais quatre bassins pour augmenter les capacités de stockage et améliorer la désinfection.

#### Le premier bassin

Les évolutions majeures portent sur la conception du premier bassin et sur son dimensionnement.

► Tableau 3  
– Charges nominales et maximales réelles dans le premier bassin : calcul avant et après 1997.

|            | Surface 1 <sup>re</sup> lagune  | Charge en g DBO <sub>5</sub> .j. <sup>-1</sup> |                            | Charge organique 1 <sup>re</sup> lagune en kg DBO <sub>5</sub> .ha. <sup>-1</sup> .j. <sup>-1</sup> |                |
|------------|---|--|----------------------------|---|----------------|
|            |   | Théorique hab.                                 | Réelle par habitant (hab.) | Nominale  | Maximum réelle |
| Avant 1997 | 5 m <sup>2</sup> .(hab.) <sup>-1</sup>  | 50   |                            | 100   |                |
| Après 1997 | 6 m <sup>2</sup> .(hab.) <sup>-1</sup><br>6 m <sup>2</sup> .(hab.) <sup>-1*</sup> | 50   | 35 à 40                    | 83  | 58 à 67        |

\* hab. : personne raccordée au réseau d'assainissement.

Le comportement de la première lagune facultative est en effet essentiel dans la fiabilité des performances de l'ensemble du procédé lagunage naturel. Le retour d'expérience des lagunes en fonctionnement montre une tendance à la dégradation des performances et à l'accroissement du risque de dysfonctionnement du premier bassin lorsqu'on s'approche des charges organiques initialement recommandées en France pour le premier bassin. En conséquence, nous préconisons désormais un dimensionnement du premier bassin sur la base de 6 m<sup>2</sup>/habitant.

Prenant en compte la charge organique réelle produite par habitant en milieu rural (Pujol *et al.*, 1990), la charge organique surfacique effective de la première lagune s'élèverait de 58 à 67 kg DBO<sub>5</sub>/(ha.j<sup>-1</sup>) (tableau 3).

Quand les volumes d'eaux parasites sont importants et que les conditions locales d'étanchéité peuvent rester dans les valeurs moyennes admises à un coût acceptable, la surface du premier bassin sera portée à 7 m<sup>2</sup>/hab. Pour les installations à population variable et par temps chaud et ensoleillé, ces charges peuvent être dépassées momentanément (pendant quelques jours), mais sans excéder le double de la valeur nominale.

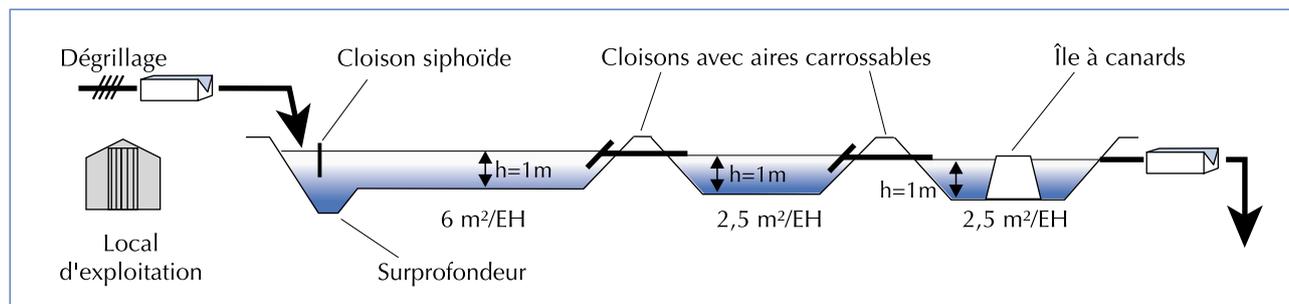
La profondeur recommandée dans la littérature pour le premier bassin est de 1,5 à 1,75 m (Mara

et Pearson, 1998). Cependant, pour assurer la fiabilité du fonctionnement, il est important de limiter les effets d'une demande soudaine en oxygène. Par exemple, à la suite d'une déstratification thermique en fin d'été, le mélange avec les eaux anaérobies des couches inférieures peut provoquer un accroissement important de la demande en oxygène. Afin de disposer d'une fraction de volume en aérobiose suffisant par rapport au volume total, une profondeur de 1 m avec un maximum à 1,2 m est désormais recommandée.

Un surcreusement de 1 m en tête de bassin, facilitant le curage du cône d'accumulation de dépôts à proximité du point d'alimentation et à portée de tonne à lisier, est conseillé. Cette zone peut occuper quelques dizaines de m<sup>2</sup> pour des bassins de petite taille, et environ 5 % de la surface pour des grandes lagunes. Dans certains départements, le premier bassin est précédé systématiquement par un ouvrage dit « piège à boues ». Il s'agit d'un décanteur de petite capacité dont la fonction est de retenir les flottants et les particules les plus lourdes. Son efficacité est garantie par des vidanges régulières, une fréquence trimestrielle paraissant bien adaptée.

La forme de la lagune ne doit pas favoriser un comportement piston de l'écoulement, pour limiter les surcharges organiques en tête. Une forme

▼ Figure 1  
– Dimensionnement type de la filière lagunage naturel.



ramassée est donc recommandée avec un ratio longueur/largeur  $\leq 3$ . La présence de chicanes se révèle inutile dans le premier bassin, elle conduit souvent à un accroissement des zones mortes (Racault *et al.*, 1984).

### La troisième lagune

Durant les années 1980, au commencement du développement du lagunage naturel en France, l’implantation de macrophytes dans le troisième bassin était recommandée. La présence de la végétation peut améliorer la qualité des effluents, à la fois par la limitation du développement algal due à l’ombre créée et par l’exportation d’une fraction des nutriments par les plantes. Cependant, une comparaison statistique des résultats obtenus avec des bassins plantés ou non plantés n’a pas pu prouver ou quantifier le bénéfice de la première solution (Cemagref *et al.*, 1997).

En tout état de cause, pour atteindre l’effet désiré, la végétation doit être faucardée et enlevée en automne pour éviter la formation d’une couche de matière organique en décomposition. Cette opération de faucardage étant rarement réalisée

correctement, la troisième lagune n’est plus plantée désormais et sa profondeur est identique à celle des bassins amont.

La mise en place d’une île dans le dernier bassin facilite l’implantation de canards qui, s’ils sont introduits au printemps, demeurent sur le site et empêchent la prolifération de lentilles d’eau.

### Le curage des boues

Le curage des bassins de lagunage est une opération d’entretien essentielle qui consiste à évacuer les boues décantées, ayant subi une dégradation anaérobie en fond des différents bassins. Afin de mieux cerner les conditions de réalisation de cette lourde opération d’exploitation, une enquête a été conduite dans cinq départements français, soit un échantillon totalisant environ 15 % de l’effectif national (tableau 4). Précisons que cet échantillon ne comprenait pas de lagune étanchée artificiellement, cette technique ayant été mise en œuvre sur des stations plus récentes. Des expériences diversifiées en sont tirées. Le nombre de sites de curage est de 6 à 26 par département, soit

▼ Tableau 4 –  
Résumé des résultats  
des curages de boue.

| Valeurs moyennes par département        |                                   |                          |                          |        |        |                                 |  |      |                    |   |                      |
|---|-----------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------|--------|---------------------------------|--|------|--------------------|---|----------------------|
| Département                             | Nombre de lagunes par département | Nombre de lagunes curées | Année de mise en service | Taille | Âge    | Charge organique lors du curage | Quantité de boue dans la première lagune |      |                    | Coût de l’opération                     |                      |
|   |                                   |                          |                          | hab.   | années |                                 | %  | cm   | cm.a <sup>-1</sup> | l.(hab.) <sup>-1</sup> .a <sup>-1</sup> | € HT.m <sup>-3</sup> |
| A                                       | ?                                 | 6                        | 1985                     | 850    | 19,0   | 46                              | 31,5                                     | 1,7  | 115                | 59,1                                    | 5,12                 |
| B                                       | 114                               | 26                       | 1987                     | 605    | 11,9   | ?                               | 21                                       | 1,6  | 73                 | 25,5                                    | 2,08                 |
| C                                       | 130                               | 15 + 2*                  | 1985                     | 570    | 14,8   | 110                             | 33,8                                     | 1,95 | 98                 | ?                                       | ?                    |
| D                                       | 30                                | 16 + 5*                  | 1983                     | 500    | 11,5   | 81                              | 25,9                                     | 2,75 | 165                | 19,8                                    | 4,30                 |
| E                                       | 88                                | 9                        | 1986                     | 575    | 14,1   | 97                              | 25                                       | 1,80 | 90                 | 22,4                                    | 3,54                 |
| Statistiques sur l’ensemble des données |                                   |                          |                          |        |        |                                 |  |      |                    |   |                      |
| Moyenne                                 |                                   |                          | 1986                     | 590    | 13,1   | 91                              | 25,5                                     | 2,05 | 111                | 23,85                                   | 3,19                 |
| Valeur MAX                              |                                   |                          | 1998                     | 3 000  | 26     | 194                             | 57                                       | 6,6  | 395                | 67                                      | 12                   |
| Valeur MIN                              |                                   |                          | 1977                     | 120    | 5      | 17                              | 3  | 0,4  | 21                 | 9,23                                    | 0,21                 |
| Écart-type                              |                                   |                          | 4                        | 460    | 4      | 37                              | 13,7                                     | 1,36 | 80                 | 15                                      | 2                    |
| Nombre de valeurs                       |                                   |                          | 71                       | 71     | 67     | 45                              | 27                                       | 27   | 27                 | 25                                      | 26                   |

\* Nombre de lagunes curées deux fois.

respectivement 8 à 50 % du parc de lagunages naturels du département. L'analyse des résultats, globalement et par département, démontre la variabilité des pratiques locales.

Les lagunes curées ont une taille moyenne de 590 EH, ce qui est représentatif de la taille moyenne de ce type d'installation en France. L'opération de curage intervient pour la première fois et en moyenne 13 ans après la mise en service, alors que les recommandations sont de l'ordre de 7 à 10 ans. Il existe aussi des curages très tardifs en raison de la faible charge organique reçue. Les 3 curages intervenus après un faible temps de fonctionnement sont plus difficiles à expliquer.

Une estimation de la charge organique réellement reçue est rarement disponible. La charge est donc calculée à partir du nombre de personnes raccordées au réseau d'eaux usées (valeurs généralement faciles à acquérir) rapportée à la capacité nominale affectée d'un coefficient correcteur de 0,8, pour prendre en compte la différence entre la charge polluante réelle de l'habitant par rapport à la valeur théorique des projets. La charge organique moyenne au moment des curages était de 90 %, soit beaucoup plus que la valeur de 50 % constatée sur l'échantillon global des lagunes. Ceci montre que le curage s'impose prioritairement sur des installations proches de leur charge nominale.

### La décision de curage

Le critère principal qui déclenche une opération de curage est tout d'abord l'âge de l'ouvrage, étayé par des critères visuels (remontée de boues sporadiques, couleur laiteuse du bassin de tête...) ou olfactifs temporaires. Pour des petites installations, les mesures physico-chimiques de la qualité du rejet sont trop rares pour démontrer une dégradation de qualité liée par exemple à un taux de boue excessif. Il en est de même pour l'estimation de la charge réellement traitée qui n'a pas été souvent renseignée.

La procédure habituelle avant un curage est de réaliser une bathymétrie afin d'évaluer la hauteur de boue et de localiser les lieux d'accumulation. Le plus souvent, cette mesure est réalisée sur la totalité des bassins à partir d'un bateau, le plus souvent guidé par un maillage en surface. Un opérateur effectue (tous les 25 m<sup>2</sup> à 100 m<sup>2</sup> selon la taille de l'ouvrage) les opérations suivantes :

- mesure de la hauteur de boues affleurantes à l'aide d'un détecteur (MES-mètre, sonde ultrasons...);

- mesure de la profondeur totale du bassin à l'aide d'une perche très rigide ;

- calcul par différence de la hauteur de boue réelle.

Cette évaluation préalable, dont la réalisation paraît très simple, demande pourtant une organisation relativement lourde. Pour une station de taille moyenne, au moins trois personnes sont mobilisées sur site pendant environ un jour. Cette durée s'accroît avec la taille de l'installation, sans pour autant être directement proportionnelle à la surface à sonder. À cela s'ajoute, une journée de technicien (pour la préparation du matériel puis le traitement des données), dont l'expérience de terrain est très utile lors de la critique des données pour leur traitement et interprétation.

Ceux qui pratiquent ces bathymétries préalables, généralement les SATESE, jugent cette opération comme un gage du bon déroulement futur des opérations de curage ; ces mesures deviennent en fait une base chiffrée utilisée ultérieurement dans les contrats liant l'entreprise et le maître d'ouvrage. Si la hauteur de boues moyenne dépasse 25 cm, la nécessité du curage est systématiquement confirmée. Pour des hauteurs d'eau généralement comprises entre 1 m et 1,2 m, cette couche de boues représente donc 20 à 25 % du volume utile. Le temps écoulé entre estimation du volume de boue et curage est de l'ordre d'un an en raison d'un provisionnement pas toujours prévu dans le budget et de contraintes techniques comme les analyses physico-chimiques de boues et l'établissement d'un plan d'épandage. Dans les conditions de charge organique des lagunes françaises, les mesures de hauteur de boue devraient intervenir après 10 à 12 années de fonctionnement.

### Le mode opératoire

Durant le curage, les eaux usées sont dirigées vers le second bassin (canalisation de *by-pass* ou pompage) et le surnageant du premier bassin est transféré dans les bassins aval. Les techniques de curage mises en œuvre sont alors au nombre de quatre et diffèrent principalement par le taux d'évacuation du surnageant :

- pompage direct sans vidange du surnageant. Cette technique est désormais considérée comme désuète car elle ne permet pas de visualiser la bonne réalisation du travail réalisé ;

- évacuation partielle du surnageant sur une hauteur de 20 cm environ et utilisation d'un

radeau flottant pour maintenir le dispositif de pompage que l’on guide et déplace en fonction de la texture des boues évacuées. Des canalisations permettent le déversement direct des boues dans des citernes qui assurent le transport vers la zone d’épandage choisie. Ce mode d’extraction est utilisé dans 35 % des cas, même s’il montre une souplesse limitée pour accéder aux bords des bassins, lieux clairement identifiés comme zones de dépôts privilégiées. Même si notre échantillon ne comprenait pas de lagune étanchée artificiellement, le système d’extraction par radeau flottant devrait être systématiquement retenu pour le curage des ouvrages étanchés artificiellement, car aucun engin n’est en contact directement avec les berges ou le fond des bassins ;

- évacuation totale du surnageant jusqu’à ce que les boues soient affleurantes. Un engin de chantier, muni d’une lame et se déplaçant sur de larges chenilles (bulldozer des marais, dameuse de neige...) pénètre à l’intérieur des bassins et pousse les boues vers un poste de pompage. Ce mode de curage est souvent privilégié (38 % des cas) du fait de la visibilité du travail effectué ;

- évacuation totale du surnageant et séchage des boues sur place pendant une période suffisante, de l’ordre du mois, afin de réduire leur volume. Cette méthode qui modifie longtemps le fonctionnement de la lagune reste d’usage très limité (5 % des cas).

### L’évacuation des boues

Le plus fréquemment, les boues sont épandues simultanément à leur évacuation et plusieurs tonnes à lisier assurent des rotations vers les terres agricoles les plus proches possibles et clairement identifiées dans le cadre du plan d’épandage. Cette organisation n’est pas toujours réalisable. C’est pourquoi, dans 10 % des cas, les boues sont momentanément entreposées dans une zone délimitée à l’aide d’andins. La déshydratation se poursuit alors au moins 6 mois, conduisant à un volume de boues relativement faible qui sera aussi épandu sur terres agricoles.

Pour calculer le volume réel de boue extrait, les services techniques comptabilisent le nombre de citernes remplies et la surface concernée par le curage. La hauteur moyenne de boue mesurée ainsi est de 25,5 cm. Le fort coefficient de variation (55 %) témoigne des différences d’un site à l’autre et entre départements. En prenant en compte l’âge de l’installation, l’accroissement

de la hauteur de boue dans le premier bassin est de 2 cm par an, ce qui est en accord avec les estimations généralement admises. Ces résultats concernent 27 curages de premiers bassins de lagunage. En rapportant ce volume annuel de boue à la capacité nominale de l’installation, le volume moyen de boue accumulé est de 110 l/(hab.an). Malheureusement, ces valeurs ne peuvent pas prendre en compte l’accroissement de la population raccordée au cours du temps, qui n’est pas disponible. Quelle que soit l’unité utilisée pour exprimer l’accumulation de boue, l’écart-type important observé montre la variabilité des valeurs.

### Discussion

On dispose seulement de 12 curages concernant la totalité des bassins. Dans ce dernier cas, l’accumulation de boue est plus importante (2,3 cm/an), correspondant à un volume de 200 l/(hab.an). Ce résultat un peu surprenant peut s’expliquer de la façon suivante :

- dans un cas, par l’accumulation de lentilles d’eau non extraites depuis le précédent curage 10 ans auparavant ;

- dans l’autre cas, par un curage tardif intervenu après 15,5 ans de fonctionnement. Il est cependant possible que des fortes charges hydrauliques aient transféré des boues du premier bassin vers les suivants. Pour 19 curages où les boues ont été extraites de la première lagune et d’une partie des suivantes, le volume moyen annuel est de 140 l/(hab.an).

L’analyse des boues a été systématiquement réalisée pour s’assurer de leur conformité à la réglementation de l’épandage. Ces analyses doivent cependant être examinées avec précaution pour prendre en compte les variantes opératoires de prélèvement des échantillons :

- avant l’évacuation de l’eau,
- lors du curage, avec une incertitude sur leur représentativité,
- après stockage ou avant épandage.

Les données disponibles sur le poids sec dans les deux premiers cas relèvent de seulement 12 lagunes. Le taux moyen de matières sèches (MS) de ce petit échantillon est de 8,5 %, variant dans une plage allant de 0,8 % à 14,2 %. Dans ce dernier cas, avant épandage, le poids sec était supérieur à 200 g/kg, soit 20 % de matière sèche.

Il apparaît impossible de relier le taux de MS à la méthode de curage. En dépit de ces réserves, on peut estimer la masse de boue produite à environ 12 kg MS/(hab.an), variable selon le taux de MES dans les eaux usées brutes. La production de boue observée résulte de la minéralisation qui tend à réduire la masse introduite, mais est contrebalancée par la dégradation des algues et des bactéries.

De même, il est difficile de calculer un coût moyen de curage. Les données présentées incluent habituellement le coût des études préliminaires de plan d'épandage dans le coût global du curage, mais pas les analyses chimiques. Quelquefois, les berges sont réparées à l'occasion du curage et le coût est intégré. Le coût moyen de curage et d'épandage ainsi calculé ressort à 24 € HT/m<sup>3</sup> (tableau 4, page 81). Le budget annuel à prévoir serait de 3,20 € HT/(hab.an). Les facteurs mentionnés auparavant expliquent les grandes différences observées (coefficient de variation de 60 %). Pour l'année 2000, par exemple, le coût d'investissement des lagunages naturels était de 100 à 160 € HT/hab et le curage représentait un coût à l'année équivalent à 2 à 3 % de ce montant.

### Les développements futurs

L'accroissement des exigences de qualité pour les milieux sensibles a conduit à la nécessité de développer des traitements complémentaires. Les recherches se concentrent actuellement sur l'utilisation de filtres à sable à alimentation intermittente (FSI) à la sortie des lagunes. Ce système présente l'avantage de conserver les capacités hydrauliques des lagunes et d'y ajouter l'intérêt des filtres à alimentation intermittente dans l'élimination de la matière organique et la nitrification complémentaire. Une qualité de niveau D4 (tableau 1, page 78) devrait être obtenue. Dans le cadre d'un programme européen LIFE, une installation pilote combinant ces deux techniques a été construite pour résoudre le problème des petites collectivités déjà équipées de réseaux partiellement unitaires (Boutin *et al.*, 2004). L'objectif est de confirmer que ce système est suffisamment simple pour être exploité en milieu rural avec des temps d'intervention limités et une main-d'œuvre non spécialisée. Cependant, il convient de rappeler que l'obtention de ces qualités de traitement exige de respecter l'alternance de l'alimentation des filtres, ce qui nécessite un minimum de deux visites par semaine, fréquence supérieure à celle

exigée pour un lagunage conventionnel à trois bassins. À la fin de l'année 2005, nous espérons pouvoir ainsi définir sur cette filière de traitement les éléments suivants :

- caractéristiques techniques de ces nouveaux systèmes combinant le lagunage (1 ou 2 bassins) et l'infiltration intermittente avec les qualités d'effluent correspondantes,
- limitations hydrauliques,
- coûts d'exploitation et contraintes de maintenance.

L'ajout d'un étage de filtres plantés de roseaux à écoulement vertical en tête d'un lagunage existant devrait être envisagé lorsqu'il existe une surcharge organique sur le premier bassin. Ce type de filière a été étudié par Liénard *et al.* (1993) et un niveau D4 a pu être obtenu. Des études complémentaires devraient être réalisées pour confirmer qu'avec ces installations dimensionnées à 5 m<sup>2</sup>/hab en lagunage et précédées de filtres plantés dimensionnés à 1 m<sup>2</sup>/hab, la qualité des effluents traités permet de maintenir un niveau D4.

### Conclusion

Le lagunage naturel demeure une technique largement utilisée pour le traitement des eaux usées en zones rurales en France. Les données récentes confirment qu'en moyenne, les installations reçoivent une charge organique nettement inférieure à la charge pour laquelle elles ont été dimensionnées. Leurs performances en termes de rendement, calculées sur les flux, permettent d'atteindre le niveau D3 de la circulaire du 17 février 1997. Cependant, avec le retour d'expérience, il y a eu ces dernières années des modifications de dimensionnement pour tenir compte des dysfonctionnements constatés. Les changements les plus notables sont sur la taille du premier bassin, désormais porté à 6 m<sup>2</sup>/hab et qui ne devrait pas recevoir des charges organiques supérieures à 70 kg DBO<sub>5</sub>/(ha.j). Il apparaît aussi que les lagunages naturels fonctionnent de manière plus fiable avec des effluents dilués, leur usage n'est donc pas préconisé pour des réseaux très séparatifs.

Le curage des boues demeure une opération majeure d'exploitation dont le coût, réparti à l'année, représente 2 à 3 % du coût d'investissement. Prenant en compte les faibles taux de charge reçus sur les installations durant les premières années,

le premier curage intervient en moyenne après 13 ans de fonctionnement. L'analyse statistique des résultats montre des écarts importants dans les données, mais on peut néanmoins estimer, à partir des résultats du premier curage, la quantité

de boue produite à 110 l/(hab.an) et une quantité moyenne de matières sèches de 12 kg MES/(hab.an). Il semble que le deuxième curage pourrait avoir lieu dans un délai de 10 ans. □

---

## Remerciements

Les auteurs remercient les SATESE des départements de l'Ain, des Côtes-d'Armor, de l'Isère, de la Moselle et du Tarn-et-Garonne, ayant rassemblé les données concernant le curage des boues de lagunage.

## Résumé

Le lagunage naturel représente 20 % du nombre total de stations d'épuration en France. La pratique acquise durant ces 20 dernières années a conduit à la modification du dimensionnement du premier bassin facultatif des lagunages naturels ; sa surface est désormais dimensionnée à 6 m<sup>2</sup>/hab. pour limiter les risques de dysfonctionnement. La surface cumulée des 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> bassins est maintenue à 5 m<sup>2</sup>/hab. Les lagunes doivent préférentiellement être utilisées lorsque les effluents sont dilués. Globalement, les installations reçoivent une charge organique éloignée de leur valeur nominale, ce qui explique que le premier curage de boue intervienne en moyenne 13 ans après la mise en fonctionnement. Partant d'un échantillon représentatif de lagunages naturels, soit 15 % des lagunages français, il a été possible d'estimer le temps, les moyens matériels et le coût des opérations de curage ainsi que la quantité de boue accumulée. À partir de la boue extraite au premier curage, on peut estimer la production annuelle à 110 l/(hab.an), ce qui représente environ 12 kg MS. (hab.an). La tendance actuelle d'une augmentation des niveaux de qualité au rejet dans les milieux récepteurs sensibles a conduit à rechercher des solutions adaptées de traitement de finition par filtre à sable à alimentation intermittente, avec ou sans plantation de macrophytes.

## Abstract

Waste stabilisation ponds represent 20% of the total number of wastewater treatment plants in France. Practical expertise acquired during these last 20 years has led to modification in design of the first facultative basin of WSP systems. Its active surface area is now dimensioned at 6 m<sup>2</sup> (p.e.)<sup>-1</sup> in order to limit the risk of malfunctioning. The cumulated surface of the 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> basin is maintained at 5 m<sup>2</sup> (p.e.)<sup>-1</sup>. Another practical point is also that WSPs must receive mainly diluted influents. Globally, the plants are on average far from their nominal loads, which explains that the first sludge removals took place on average 13 years after being put in operation. Based on a representative sample of plants, i.e. 15% of the French WSPs, it has been possible to estimate the time, material means and cost needed for sludge removal as well as the amount of sludge accumulated. The sludge removed at the 1<sup>st</sup> removal yields on average 110 L (p.e.)<sup>-1</sup> which represents 12 kg DM (p.e.)<sup>-1</sup>. The current trend of increasing the levels of quality necessary for discharge into sensitive receiving bodies has led to adaptive solutions of polishing treatments by Intermittent Sand Filter Systems with or without the plantation of reeds.

## Bibliographie

- BOUTIN, C., LIÉNARD, A., 2004, Waste stabilisation ponds and intermittent sand filters in series : a predicted evolution in France, *Water* 21, p. 56-58.
- BOUTIN, C., LIÉNARD, A., BILLOTTE, N., NABERAC, J.-P., 2003, Association de lagunes naturelles et d'infiltration-percolation : résultats des pilotes et perspectives, *Ingénieries-EAT*, n° 34, p. 35-46.
- BOUTIN, P., RACAULT, Y., 1986, Le lagunage naturel, situation actuelle d'une technique d'épuration en France, *Techniques Sciences Méthodes*, 81 (6), p. 273-284.
- CEMAGREF, SATESE, École nationale de la Santé Publique, Agences de l'eau, 1997, *Le lagunage naturel : les leçons tirées de 15 ans de pratique en France*, Co-éditions Cemagref Éditions, Agence de l'eau Loire-Bretagne, Antony, France, 60 p.
- DELOUVÉE, D., 2002, *Le lagunage naturel : étude statistique de la qualité des rejets en Ille-et-Vilaine, traitements complémentaires au lagunage*, mémoire de maîtrise, université de Rennes 1, UFR S.V.E., 44 p + annexes.
- LIÉNARD, A., BOUTIN, C., BOIS, R., 1993, Coupling of reed bed filters and ponds : an example in France, *Wat. Sci. and Tech.*, 28(10), p. 159-167.
- MARA, D., PEARSON, H., 1998, *Design manual for WASTE STABILIZATION PONDS in Mediterranean Countries*, European Investment Bank (ed.), Lagoon technology international, Leeds, Royaume-Uni.
- Ministère de l'Équipement, du Logement, du Tourisme et du Transport, 1997, Circulaire d'application n° 97-31 du 17 février 1997 relative à l'assainissement collectif de communes – ouvrages de capacité inférieure à 120 kg DBO<sub>5</sub>/jour, parue au B.O. du 10 mai 1997.
- PUJOL, R., LIÉNARD, A., 1990, Qualitative and quantitative characterization of waste water for small communities, *Wat. Sci. and Tech.*, 22(3/4), p. 253-260.
- RACAULT, Y., 1993, Ponds malfunction : case study of three plants in the south west of France, *Water Science and Technology*, 28 (10), p. 183-192.
- RACAULT, Y., BOUTIN, C., SEGUIN, A., 1995, Waste stabilization ponds in France : a report on fifteen years experience, *Wat. Sci. and Tech.*, 31(12), p. 91-102.
- RACAULT, Y., BOUTIN C., 1984, Étude par traçage du comportement hydraulique d'une lagune d'épuration, influence de la géométrie du bassin, *Rev. Fr. Sci. Eau*, 3(2), p. 197-218.