

Y. Racault* C. Boutin** P. Molle***	Le lagunage naturel en France. Retour d'expérience et évolutions de la technique
*Cemagref, UR "Réseaux, Epuration et Qualité des Eaux", 50 avenue de Verdun, BP 3, 33612, CESTAS cedex, France. **Conseil Général du GREF, Mission d'Appui Technique aux services déconcentrés, 140 bis r de Rennes, 75006 Paris. ***Cemagref, Unité de recherche "Qualité des Eaux et Prévention des Pollutions", 3 quai Chauveau, 69336 LYON cedex 09, France.	Table des matières : MOTS-CLÉS INTRODUCTION MATERIEL ET METHODES RESULTATS CONCLUSION BIBLIOGRAPHIE

Résumé

Le lagunage naturel représente 25% 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 6m²/hab pour limiter les risques de dysfonctionnement. La surface cumulée des 2^{ème} et 3^{ème} bassins est maintenant à 5m²/hab. Les lagunes doivent préférentiellement être utilisées lorsque les effluents sont dilués. Globalement, les installations reçoivent une charge organique loin 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. A partir de la boue extraite au premier curage on peut estimer la production annuelle à 110L/(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. L'abattement des germes pathogènes pour un objectif de réutilisation des eaux nécessite des bassins de maturation complémentaires ou une infiltration percolation avec respect de périodes d'alimentation et de repos.

Mots clefs

Curage des boues, désinfection, dimensionnement, eaux usées domestiques, lagunage naturel, qualité eau traitée.

INTRODUCTION

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 plus de 3000 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.

L'essentiel des travaux sur les performances des installations françaises a porté sur les paramètres physico-chimiques mais le lagunage naturel a aussi pour particularité de permettre des abattements

de microorganismes pathogènes importants sans l'utilisation de réactifs ni de procédés physiques consommateurs d'énergie (UV, ...). L'efficacité de la désinfection en lagunage a été assez peu étudiée en France ces dernières années sauf sur quelques installations de la côte méditerranéenne dont la lagune de Mèze.

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

Concernant les aspects désinfection non étudiés par le Cemagref, ce document rappelle les bases de dimensionnement usuelles et quelques résultats obtenus sur le lagunage de Mèze sur le long terme.

MATERIEL ET METHODE

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, ; Torrens *et al.*, 2006) 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'Ile et Vilaine (Delouée, 2002).
- Les résultats d'étude de fonctionnement sur plusieurs cycles annuels et menées dans le but d'analyser les causes de dysfonctionnement du lagunage (Racault, 1993).
- Travaux de l'université de Montpellier II et de la faculté de pharmacie de Montpellier sur l'élimination des pathogènes en lagunage (Brissaud *et al.*, 2000 ; Brissaud *et al.*, 2005).

RESULTATS

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 P. *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. 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 désormais à équiper de stations d'épuration,
- une qualité requise pour les eaux traitées devenue plus élevée et incompatible avec le 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 : Ile 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 bilan disponibles sur ce type d'installation 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 DBO₅/(ha.j) 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'Ile 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 DBO₅/ha.j. 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).

Performances des installations existantes

A 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 type 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 la norme de rejet de la réglementation européenne (tableau 1) pouvait s'avérer difficile à respecter avec des réseaux très séparatifs.

Tableau 1 : Niveaux de rejet Européens et/ou français

charges > 120 kgDBO ₅ .j ⁻¹	Niveau de rejet Europe et France *	DCO _f **=120 mg.L ⁻¹	MES=150 mg.L ⁻¹
charges < 120 kgDBO ₅ .j ⁻¹	Niveaux français:	D3 *	Rendements : 60% pour DCO et N-NK
		D4	DBO ₅ =25 mg.L ⁻¹ DCO=125 mg.L ⁻¹

*valeurs pour lagunages

**DCO_f: DCO sur échantillon filtré

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 DBO₅/ha.j. Le tableau 2 montre une série de 317 de mesures, dont 30% réalisées en période estivale (juin à septembre). Les valeurs sont proches de celles obtenues sur 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.

Tableau 2 : Qualité moyenne des eaux épurées en sortie des lagunes d'Ile et Vilaine en mg.L⁻¹ (Delouée, 2002).

Période		DCO _f *	MES	N-NK	N-NH ₄ ⁺	PT
Juin-Septembre	Moyenne	95	74	16.3	9.6	6.6
	écart type	38	68	10.6	10	3.6
Octobre - Mai	moyenne	71	50	18.8	12.6	5.7
	écart type	29	45	11.2	10	2.9
Année globale	moyenne	78	57	18.0	11.6	6.0
	écart type	34	54	11.0	10.1	3.1

*DCO_f: DCO sur échantillon filtré

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 excessif, l'impact paraît difficilement mesurable sur les paramètres carbone et azote.

- **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 de la France les facteurs suivants:

- **La concentration des effluents** : l'alimentation avec des eaux usées concentrées (moyenne annuelle en DBO5 > 300 mg/L) 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 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 conduit à quelques évolutions sur la conception et les recommandations établies dans les années 80 (figure 1).

Pour assurer une bonne fiabilité de fonctionnement, 3 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. Le comportement de la première lagune facultative est en effet essentiel dans la fiabilité des performances 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 m²/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 à 58 à 67 kg DBO₅ / (ha.j) (tableau 3).

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

	Surface 1 ^{ère} lagune	Charge réelle		Charge organique 1 ^{ère} lagune	
		Théorique hab.	par habitant (hab)	nominale	Maximum réelle
		(g DBO ₅ .j ⁻¹)		(kg DBO ₅ .ha ⁻¹ .j ⁻¹)	
Avant 1997	5 m ² .(hab.) ⁻¹	50		100	
Après 1997	6 m ² .(hab.) ⁻¹	50		83	
	6 m ² .(hab.) ⁻¹ *		35 to 40		58 à 67

* hab: personne raccordée au réseau d'assainissement

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 m²/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.

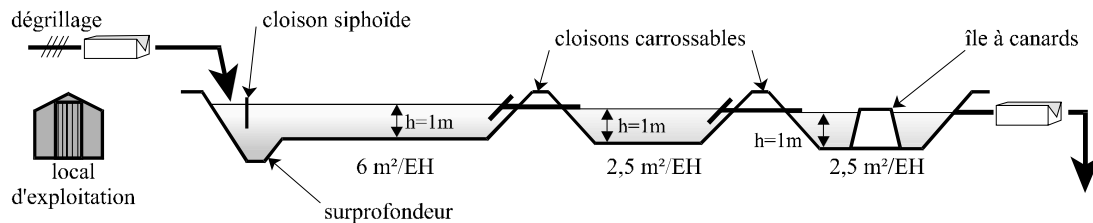


Figure 1: **Dimensionnement type de la filière lagunage naturel**

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 1m avec un maximum à 1,2m est recommandée.

Un surcreusement de 1m 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 m² 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 ramassée est donc recommandée avec ratio longueur/largeur ≤ 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). En tout état de cause elles doivent être adaptées au dispositif d'entrée des eaux et en nombre limité pour garantir une hydraulique optimisée du système (Shilton, 2006)

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 du 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 en raison de son caractère fastidieux, 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.

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 auprès de 5 départements français soit un échantillon totalisant environ 15 % de l'effectif national (tableau 4). Des expériences diversifiées en sont tirées. Le nombre de sites de curage est de 6 à 26 par département représentant 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 de l'habitant réel 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 mais sans que l'on sache depuis combien de temps cette charge était atteinte.

Table 4: Résumé des résultats des curages de boue.

Valeurs moyennes par département												
Département	Nombre lagunes par département	Nombre lagunes curées	Année de mise en service	taille	age	Charge orga. lors du curage	Quantité de boue dans la première lagune.			Coût de l'opération		
				hab.	années		%	cm	cm.a ⁻¹	L.(hab.) ⁻¹ .a ⁻¹	€ HT.m ⁻³	€ HT.(hab) ⁻¹ . a ⁻¹
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	3000	26	194	57	6.6	395	67	12	
Valeur Min			1977	120	5	17	3	0.4	21	9.23	0.21	
<i>Ecart type</i>			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

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. Cette mesure est réalisée sur la totalité des bassins à partir d'un bateau, le plus souvent guidé par un maillage en surface.

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 diffèrent principalement par le taux d'évacuation du surnageant (évacuation partielle et pompage d'un mélange eau+boues ou évacuation totale).

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 2cm 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 110L/(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.

Quelque soit l'unité utilisée pour exprimer l'accumulation de boue, l'écart type important observé montre la variabilité des valeurs.

L'analyse des boues est systématiquement réalisée pour s'assurer de leur conformité à la réglementation de l'épandage. Ces analyses devraient cependant être examinées avec précaution sachant que les échantillons peuvent être prélevés - 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 de 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 kgMS/(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/m³ (tableau 4). Le budget annuel à prévoir serait de 3,20 € HT/(hab.an). Les facteurs mentionnés auparavant expliquent les grandes différences observés (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.

Futurs développements : l'expérience d'Aurignac (31)

L'accroissement des exigences de qualité pour les milieux sensibles a conduit à la nécessité d'adapter le dimensionnement et de développer des traitements complémentaires au lagunage naturel. L'expérience du programme LIFE réalisé sur le site d'Aurignac avait pour objectifs :

- Mettre en place un dispositif de traitement permettant de respecter le niveau D4.
- Intégrer les eaux pluviales drainées par un réseau unitaire.
- Permettre un traitement et une gestion facilitée des boues.

La station (300 EH, figure 2), suivie pendant 3 ans (2002-2005), est composée d'un décanteur en tête de station avec extraction quotidienne des boues vers des lits de séchage plantés de roseaux, d'une lagune facultative et d'un étage complémentaire de traitement par infiltration percolation. La lagune facultative, dont la hauteur d'eau varie entre 0,8 et 1,3 m suivant la charge hydraulique entrante, assure la première étape de traitement biologique. La dernière étape du traitement s'effectue par infiltration percolation sur filtres à sable plantés ou non.

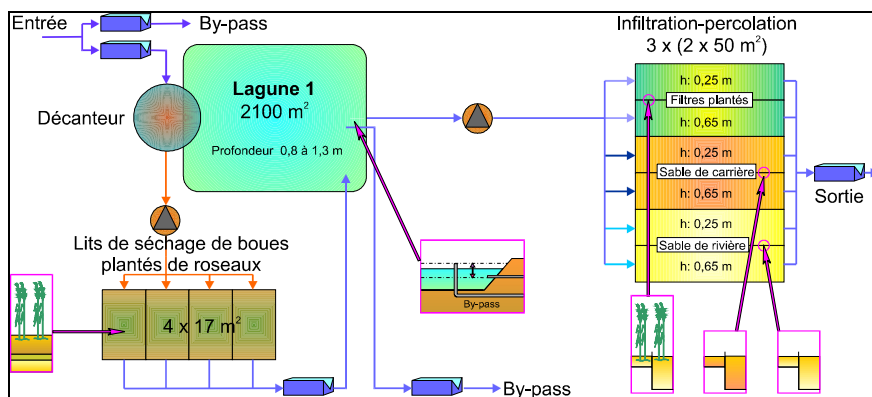


Figure 2 : Schéma de principe de la station d'Aurignac

Pour des charges moyennes, de l'ordre de 40 % en organique et 66 % en hydraulique (représentatif du parc français) l'étude a permis de faire ressortir les points suivants (Torrens *et al.*, 2006) :

- Le décanteur permet des abattements supérieurs à 50 % sur les MES, de l'ordre de 35 % sur la DCO et seulement de 10 % sur les composés dissous, abaissant d'autant la charge de la lagune.
- Pour une alimentation nominale des filtres, un marnage de 40 cm sur la lagune permet de traiter 98,6% des eaux reçues sur la station (temps sec + temps de pluie) sans affecter la qualité du traitement (les eaux pluviales représentent 50 % des eaux d'entrée sur la station d'Aurignac). Un by-pass calé à 10 fois le débit de temps sec est cependant nécessaire en entrée station pour éviter des à-coups hydrauliques trop importants pour la stabilité de la biomasse algale.
- L'association de filtres à l'aval d'une lagune permet de respecter le niveau D4 et d'assurer une nitrification quasi complète. Sur ce point, les expérimentations d'Aurignac ont permis de valider cette juxtaposition de filière tout en précisant les règles de dimensionnement des filtres (hauteur de matériaux suivant le type de support, charges hydraulique et organique, dispositif d'alimentation ...). Le respect des périodes d'alimentation et de repos (3,5/7 jours) est une nécessité pour garantir la pérennité du système vis à vis du fort pouvoir colmatant des algues.
- Les lits de séchage plantés alimentés à une charge maximale de 35 kg MS/m²/an révèlent une croissance faible de la hauteur de dépôt. Il semble que le dimensionnement puisse être réalisé sur la même base que celle des lits de séchage plantés recevant des boues secondaires soit 50 kg MS/m²/an (Liénard *et al.*, 2006).

En terme de dimensionnement de nouvelles stations en réseau unitaire, deux configurations peuvent être proposées permettant de réduire l'emprise au sol (Figure 3). Dans le cas où il n'est pas choisi de travailler avec un décanteur primaire en tête de station, avec extraction quotidienne des boues, l'introduction d'une lagune de maturation en aval de la lagune facultative paraît nécessaire pour assurer une charge organique acceptable sur l'étage de filtration.

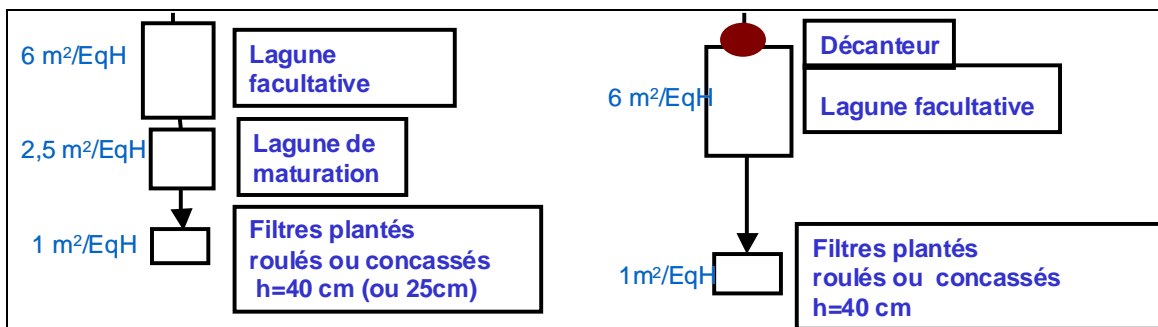


Figure 3 : Pistes pour des dimensionnements futurs pour la filière lagune + filtres plantés

L'ajout d'un filtre planté de roseaux en tête d'un lagunage existant est une autre option. Elle devrait être envisagée en extension d'installation 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 5m²/hab en lagunage et précédées d'un filtre planté dimensionné à 1m²/hab, la qualité des effluents traités permet de maintenir un niveau D4.

Desinfection

Lorsque le lagunage a des objectifs de désinfection, la présence de lagunes complémentaires de maturation (bassins peu profonds à faible charge organique appliquée) est nécessaire pour aboutir à une élimination poussée des germes pathogènes. La méthode de Marais (1974) est généralement utilisée pour dimensionner les lagunes en série : le modèle proposé fait l'hypothèse que l'abattement des coliformes fécaux (CF) peut être représenté par une cinétique du premier ordre dans un réacteur supposé parfaitement mélangé .

Pour un bassin de lagunage seul on peut ainsi écrire :

$$N_e = N_a / (1 + k_T \theta)$$

avec N_e = nombre de CF par 100 ml d'effluent traité
 N_a = nombre de CF par 100 ml d'affluent (eaux usées entrée)
 k_T = constante de premier ordre de l'élimination des CF en j^{-1}
 θ = temps de séjour en jour

pour une série de n bassins de lagunage de maturation avec des temps de séjour moyen de : θ_{m1} , θ_{m2} , ..., θ_{mn} , l'équation devient :

$$N_e = N_a / [(1 + k_T \theta_{m1}) (1 + k_T \theta_{m2}) \dots (1 + k_T \theta_{mn})]$$

La multiplication du nombre de bassin est donc un facteur déterminant de l'abattement.

La valeur de k_T est très dépendante de la température et Marais (1974) trouva $k_T = 2,6 (1.19)^{T-20}$
Ainsi un changement de 1°C en température induit un changement de 19% du coefficient k_T .

La formule de Marais donne globalement des résultats satisfaisants mais il faut garder à l'esprit que des facteurs autres que la température interviennent, rendant les prédictions délicates. La désinfection en lagunage dépend de l'hydrodynamique qui détermine le temps de séjour et du processus de mortalité des microorganismes. Ces deux phénomènes dépendent de facteurs météorologiques, principalement la température, les radiations solaires et le vent.

La variation naturelle de ces facteurs contribue, en désinfection, à la difficulté des investigations et des prédictions de résultats (Brissaud et al., 2003, Brissaud et al., 2005).

Peu de travaux ont été publiés en France sur ce sujet dans les dernières années. Parmi les lagunages français ayant fait l'objet d'un suivi bactériologique sur une longue période, c'est probablement l'installation de Mèze sur laquelle on trouve le plus de données. Depuis l'extension de cette installation avec ajout en tête de bassins anaérobies et de lagunes facultatives (fin des années 90), il existe 3 bassins de maturation en série suivis 2 bassins de finition. Les abattements moyens sur l'ensemble de l'installation sur E. Coli et les streptocoques sont respectivement de 4,1 et 3,4 unité log.

Même si le cas du lagunage de Mèze est un peu particulier, les résultats obtenus confirment que c'est l'augmentation du nombre de bassin et non l'augmentation de la surface qui est la plus déterminante dans l'amélioration des performances. Cependant l'interprétation des résultats en relation avec les facteurs environnementaux demeure difficile et rend la prédiction des performances encore largement imprécise.

La mise en place de systèmes tels que celui d'Aurignac (lagunage facultatif + filtres plantés) ne permet pas d'abattements suffisants des germes pathogènes (en moyenne pour les E. Coli 2,8 U log sur la lagune et 1,5 U log sur les filtres avec 65 cm de hauteur de matériau) pour une réutilisation. Des hauteurs de matériaux supérieures au mètre seraient nécessaires pour atteindre ces objectifs.

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 terme 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 6m²/hab et qui ne devrait pas recevoir des charges organiques supérieures à 70 kg DBO₅/(ha.j). Il apparaît aussi que les lagunages naturels fonctionnent de manière plus fiable avec des effluents dilués ce qui fait ne pas préconiser son usage 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 110L/(hab.an) et une quantité moyenne de matières sèches de 12 kgSS/(hab.an). Il semble que le deuxième curage pourrait avoir lieu dans un délai de 10 ans.

Un niveau de traitement D4 est atteignable en utilisant une filière couplant lagunage (1 ou 2 bassins) et infiltration-percolation sur filtres à sable plantés ou non, dimensionnés à 1 m²/hab. Cette solution permet une nitrification partielle ou totale et pourrait aller jusqu'à la désinfection avec des filtres d'une hauteur de matériau supérieure au mètre.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les Satese des départements 01, 22, 38, 57, 82 ayant rassemblés les données concernant le curage des boues de lagunage.

BIBLIOGRAPHIE

- Brissaud F., Tournoud M.G., Drakides C. and Lasarova V.(2003) Mixing and its impact on faecal coliform removal in stabilisation pond, *Wat. Sci. and Tech.*, **48**(2), 75-80
- Brissaud F., Andrianarison T., Brouillet J.L. and Picot B.(2005). Twenty years' monitoring of Mèze stabilisation ponds : part II – removal of faecal indicators, *Wat. Sci. and Tech.*, **51**(12), 33-41.
- Boutin C. and Liénard A. (2004). Waste stabilisation ponds and intermittent sand filters in series: a predicted evolution in France, *Water 21*, (June 2004), 56-58.
- Boutin C., Liénard A., Billotte N. and Naberac J.P. (2003). Association de lagunes naturelles et d'infiltration-percolation : résultats des pilotes et perspectives, *Ingénieries*, 34 (Juin 2003), 35-46.
- Boutin P. and Racault Y. (1986). Le lagunage naturel, situation actuelle d'une technique d'épuration en France. *Techniques Sciences Méthodes*, 81 (6), 273-284.
- CEMAGREF, SATESE, Ecole Nationale de la Santé Publique and Agences de l'Eau. (1997). Le lagunage naturel : Les leçons tirées de 15 ans de pratique en France, Ed. Co-Éditions Cemagref Editions, Agence de l'Eau Loire-Bretagne, Antony France 60p.
- Delouée D. (2002). Le lagunage naturel : Etude 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., 44p + annexes.
- Liénard A., Boutin C. and Bois R. (1993) Coupling of reed bed filters and ponds: an example in France. *Wat. Sci. and Tech.*, **28**(10), 159-167
- Liénard A., Troesch S., Molle P. (2006). Traitement et valorisation des boues par lits plantés de roseaux : bilans des réalisations françaises et danoises et perspectives d'avenir. Colloque national ADEME – CNISF : Quel devenir pour les boues de stations d'épuration urbaines ? procédés et filières de gestion. 10 & 11 Mai 2006, Paris. Pp 137-145.
- Mara D. and Pearson H. (1998). *Design manual for WASTE STABILIZATION PONDS in Mediterranean Countries*. European Investment Bank (ed.), Lagoon technology international, Leeds, UK.
- 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 120kg DBO₅/jour. Parue au B.O. du 10 Mai 1997.
- Pujol R. and Liénard A. (1990) Qualitative and quantitative characterization of waste water for small communities. *Wat. Sci. and Tech.*, **22**(3/4), 253-260
- Racault Y. (1993). Ponds malfunction : case study of three plants in the south west of France. *Water. Science and Technology*, **28** (10), 183-192
- Racault Y., Boutin C. and Seguin A. (1995). Waste stabilization ponds in France : a report on fifteen years experience, *Wat. Sci. and Tech.*, **31**(12), 91-102.

- Racault Y. and Boutin P. (1984). Etude par traçage du comportement hydraulique d'une lagune d'épuration; influence de la géométrie du bassin. *Rev. Fr. Sci. Eau*, 3(2), 197-218.
- Racault Y. and Boutin C. (2005). Waste stabilization ponds in France. State of the art and recent trends. *Water Science & Technology*, 51(12), 1-9
- Shilton A. (2006). Pond treatment technology. Integrated Environmental Technology series. IWA publishing. 496 p
- Torrens A., Molle P., Boutin C. and Salgot M. (2006). Association of Stabilization Ponds and Intermittent Sand Filters: an appropriate wastewater treatment system for small communities. In 7th Specialised Conference on Small Water and Wastewater Systems 7-10 Mars 2006, Mexico.