

Association de lagunes naturelles et d'infiltration-percolation : résultats des pilotes et perspectives

Catherine Boutin ^a, Alain Liénard ^a, Nathalie Billote ^b et Jean-Pierre Naberac ^c

Cet article résulte d'une communication présentée en 2002 à Juan-les-Pin lors des « XIV^e Rencontres régionales de l'environnement ».

Si les filières d'épuration par lagunage présentent une relativement bonne qualité des rejets pour l'azote et le phosphore, elles sont toutefois moins efficaces pour le traitement de la matière organique. Dans cet article, les auteurs commentent les résultats d'essais pilotes associant lagunage et infiltration-percolation et leurs perspectives d'exploitation. Les premiers résultats confirment une amélioration de la qualité du rejet par rapport au lagunage naturel habituel.

Le lagunage naturel présente des caractéristiques de simplicité tant en construction qu'en exploitation, qui l'ont conduit à un fort développement dans les collectivités rurales françaises. La France compte 2 500 lagunages naturels constitués le plus souvent de trois bassins fonctionnant en série [1]. Pour des charges polluantes de plus de 120 kg de DBO₅.j⁻¹, la législation européenne autorise des rejets issus d'un lagunage naturel dont la concentration en MES n'excède pas 150 mg.l⁻¹.

Pourtant, et pour les collectivités de plus petite capacité, il offre un rejet d'une qualité [1] qui n'est pas toujours suffisante (tableau1), eu égard aux valeurs fixées par les seuils français (niveau D3 de la circulaire du 17 février 1997).

En cas de milieux récepteurs fragiles pour lesquels un niveau de qualité supérieure est désormais souhaité, on peut inciter l'introduction d'un complément de traitement par infiltration-percolation à la filière lagunage naturel. L'objectif, à terme, est de pouvoir proposer aux communes rurales disposant d'un réseau de collecte de type unitaire, une filière qui associerait les capacités hydrauliques de traitement du lagunage naturel et les performances intéressantes de l'infiltration-percolation vis-à-vis de l'élimination de la matière organique résiduelle et de la nitrification complémentaire.

Le principe de l'épuration par infiltration-percolation repose sur des mécanismes de traitement par des cultures fixées sur support fin

		DCO	DCO _f *	MES	N-NK	N-NH ₄ ⁺	TP
Tous réseaux	Moyenne	162	99	60	22	14	8,5
Réseaux séparatifs	Moyenne écart-type	198 109	123 6	69 5	25 17	17 15	10 8
Autres réseaux	Moyenne écart-type	141 69	85 37	54 41	19 11	12 9	7,5 6

* DCO_f = DCO filtrée.

▲ Tableau 1 – Qualité moyenne du rejet des lagunages naturels français en mg.l⁻¹.

Contact

a. Cemagref,
UR Qualité des eaux,
3 bis, quai Chauveau,
CP 220,
69336 Lyon Cedex 09
b. Syndicat des eaux
Barousse-Comminges-
Save, F 31806,
Saint-Gaudens
c. Bureau d'études
DUMONS,
77, allée de Brienne,
F 31000, Toulouse

associés à une alimentation alternée de plusieurs filtres étanches qui assure le maintien de conditions aérobies et une gestion optimisée du colmatage de surface [2]. Des essais sur colonne alimentée par une eau issue du deuxième bassin ont donc été conduits sur le site de Certines, dans le département de l'Ain. Le but de ces essais était de s'assurer qu'un sable, couramment utilisé en infiltration-percolation, pouvait permettre une rétention physique des MES après un lagunage naturel majoritairement constitué d'algues, pour atteindre le niveau requis. Ces essais sur pilote ont également permis de proposer les premières bases de dimensionnement d'une infiltration-percolation en complément d'un traitement par lagunage.

Par ailleurs, pour réaliser une alimentation par bâchées sans faire appel à de l'énergie électrique, il est utile de pouvoir utiliser un siphon auto-amorçant. Son installation, directement dans un deuxième bassin de lagunage conduit à prévoir des hauteurs de marnage très faibles (de l'ordre du centimètre). Dans ces conditions relativement draconiennes, il convient de confirmer le degré de fiabilité de fonctionnement d'un tel siphon en situation réelle. La station d'épuration de Joudes en Saône-et-Loire a fait l'objet d'un essai en ce sens.

Cet article présente donc les conclusions des essais de Certines et de Joudes, et il met en perspective le projet d'une station de démonstration à Aurignac. En effet, devant les résultats encourageants présentés par la suite et dans le but de valider en grandeur réelle les conclusions des essais pilotes, un projet de démonstration a été soumis au financement européen par l'intermédiaire du programme LIFE sur la commune d'Aurignac (Haute-Garonne) en 2001. Acceptée en été 2002, la construction débute à l'automne 2002 et permet de démarrer le suivi.

Procédure expérimentale et méthodes

Le pilote d'infiltration-percolation à Certines

Le pilote est constitué d'un cylindre en PVC de faible diamètre (50 cm). La hauteur utile de sable a été volontairement réduite au minimum (27 cm). Étant donné qu'un grand nombre de lagunages naturels ne dispose pas d'électricité, il convient de tester les conditions-limites de hauteur de matériau permettant encore une alimentation gravitaire de l'infiltration-percolation, tout en obtenant une

amélioration notable de la qualité du rejet. Les essais ayant été conduits en 1994, la qualité du sable ($d_{10} = 0,19$ mm, $d_{60} = 0,37$ mm, $CU = 2$) correspondait aux connaissances de l'époque [3]. On jugerait aujourd'hui [4] ce sable comme étant trop fin ($d_{10} < 0,25$ mm).

La couche drainante repose sur une plaque de PVC perforée, a une hauteur limitée à 7 cm et est composée d'une succession de couches de granulométrie décroissante de bas en haut afin de limiter la migration du sable.

Pendant 2,5 mois (été 1994), le pilote installé à l'aval du deuxième bassin de lagunage naturel de Certines, a été alimenté par 14 bâchées réparties sur 3,5 jours, puis mis au repos pendant le même temps.

Pendant la durée des essais, la charge hydraulique du filtre en service a volontairement été augmentée tous les mois d'une valeur de 20 cm.j^{-1} . Démarrant à 60 cm.j^{-1} , le filtre en service recevait pendant les phases d'alimentation du mois de septembre une hauteur d'eau de 120 cm.j^{-1} .

Deux fois par semaine, au début et à la fin de la phase d'alimentation, ont été confectionnés des échantillons sur lesquels les paramètres DCO, DCO filtrée et MES ont été systématiquement mesurés. Des mesures complémentaires définissant les formes de l'azote ont été effectuées de manière épisodique. De plus, l'installation de sondes de niveau à la surface du filtre a permis le suivi en continu des vitesses d'infiltration.

Les analyses physico-chimiques ont été réalisées selon les normes NF T 90.101, NF T 90.105 et NF T 90.110 pour, respectivement les paramètres DCO, MES et azote Kjeldahl. La forme filtrée de la DCO a été obtenue après filtration à l'aide d'une membrane en fibres de verre de porosité non définie.

La station d'épuration de Joudes

Le lagunage naturel de Joudes, dimensionnée pour une population de l'ordre de 220 EH, était constituée de deux bassins, le dernier étant planté de macrophytes. Suite aux difficultés d'entretien liées au faucardage de la végétation de ce deuxième bassin, le site a été réhabilité en 1998. Le deuxième bassin a été curé et transformé en lagune à microphytes et deux filtres ont été construits à l'aval. Ils sont alimentés à l'aide d'un siphon auto-amorçant plongeant dans un bassin de stockage intermédiaire d'une surface de 185 m^2 .

La station d'épuration ne recevait qu'une charge organique très faible par rapport à ses capacités, le suivi de son fonctionnement épuratoire ne présentait donc pas d'intérêt ; seul le suivi du fonctionnement du siphon a été réalisé.

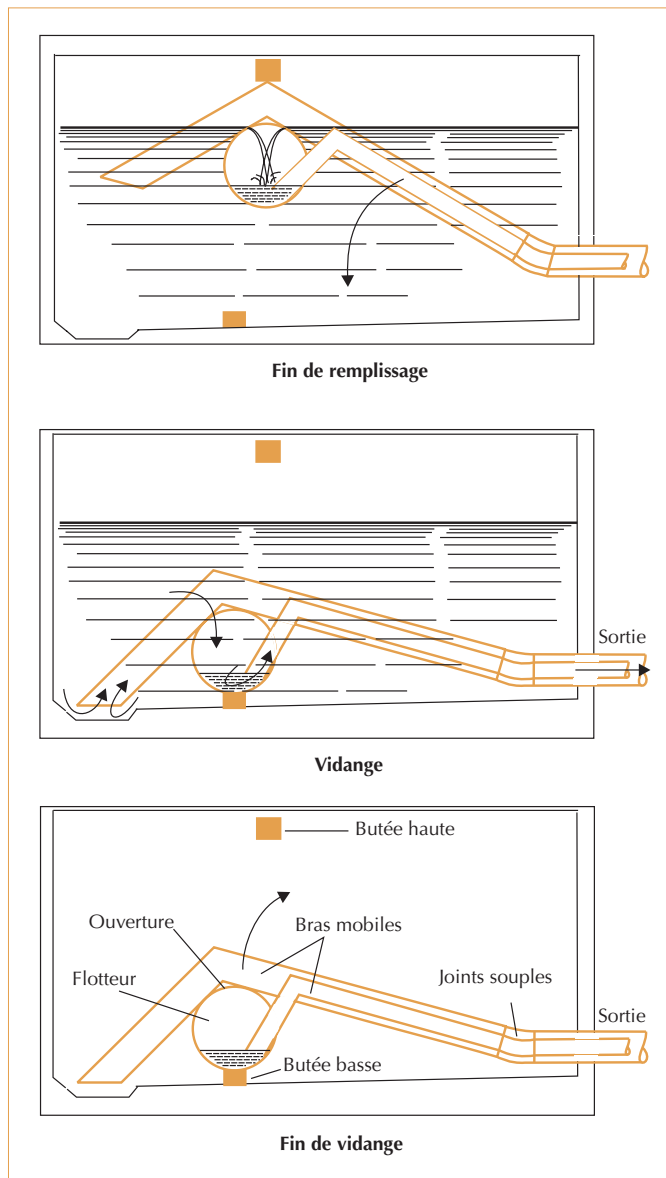
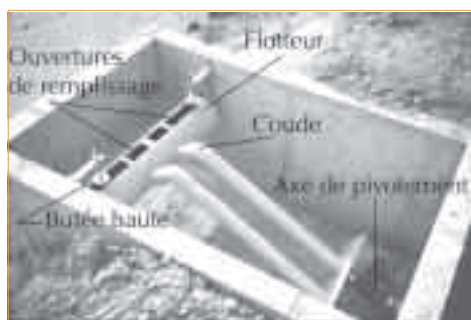
La connaissance du volume exact d'une bâchée a été obtenue à l'aide d'un débitmètre bulle à bulle installé dans le canal de mesures aval. Parallèlement, le temps de fonctionnement du siphon a été mesuré à l'aide d'un chronomètre. Les deux valeurs associées ont permis de connaître le débit d'évacuation des eaux.

L'enregistrement en continu de la hauteur d'eau au sein du bassin de stockage s'est déroulé à l'automne 1998, grâce à un débitmètre bulle à bulle de type ISCO 3230, alimenté par batteries ayant 6 jours d'autonomie. L'extraction bihebdomadaire des données enregistrées au pas de temps d'une minute a été réalisée à l'aide d'un micro-ordinateur portable.

Le siphon a été réglé pour fonctionner selon trois hauteurs de marnage : 1,4 cm, 2,6 cm et 0,6 cm qui correspondent aux phases dénommées 1, 2 et 3 ci-après.

Historiquement, le principe de ce siphon a été décrit par le professeur Celestre en 1963 [5] pour l'irrigation, puis adapté au contexte de l'épuration. Ce siphon modifié et amélioré pour un usage en eaux usées brutes par la SINT (Société d'ingénierie nature et technique) est breveté depuis 1991.

Le siphon de Joudes décrit par la figure 1 et la photo 1 est composé d'un flotteur comportant deux ouïes d'entrée d'eau (d'une surface de 200 cm² chacune), de deux compartiments de lestage, ainsi que deux tubes plongeurs coudés constituant les véritables siphons qui se terminent par des tubes d'évacuation (diamètre 110 mm).



▲ Figure 1 – Schéma de principe du siphon SINT de Joudes (brevet SINT).

◀ Photo 1 – Vue du siphon SINT de Joudes (brevet SINT).

L'ensemble du flotteur pivote sur un axe mécanique horizontal fixé au radier de l'ouvrage et connecté aux sorties par des manchons souples. Sa course est limitée par deux butées haute et basse. La conception générale du dispositif non standardisée et adaptée aux caractéristiques propres des sites garantit des amorçages et désamorçages francs.

Dans le cas présent, ce siphon a été conçu pour marrer sur de très faibles hauteurs tout en débitant $90 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, afin de permettre une répartition correcte des eaux à la surface des filtres de 90 m^2 chacun [6].

Ce suivi a été marqué par des événements pluvieux d'intensité très variable et par un période de gel intense avec formation de glace à la surface du bassin de stockage et au droit du siphon. Le suivi s'est terminé après la période de dégel. Lors de l'étude, nous avons été surpris par les phénomènes climatiques relativement rares dans cette région et n'avons malheureusement pas enregistré les températures extérieures (ce qui aurait permis des comparaisons ultérieures plus parlantes). Le tableau 2 relate les périodes de suivi ainsi que les événements climatiques majeurs.

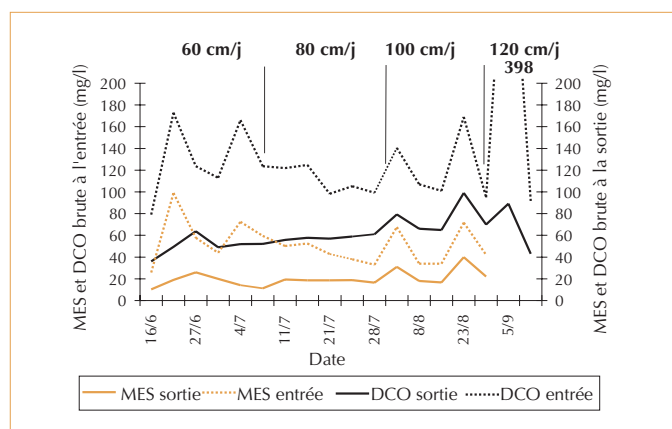
► Tableau 2 – Conditions de fonctionnement du siphon pendant son suivi en 1998.

	Hauteur de marnage	Période de suivi	Événements climatiques	
Phase 1	1,4 cm	du 25 octobre au 3 novembre	pluie importante	les 28 et 29 octobre les 1 ^{er} et 2 novembre
Phase 2	2,6 cm	les 4 et 5 novembre		
Phase 3	0,6 cm	du 4 au 18 décembre	gel dégel pluie	7 au 9 décembre après le 10 décembre le 11 décembre

Résultats

Le pilote d'infiltration-percolation de Certines

▼ Figure 2 – Variations de concentrations en MES et DCO brute en entrée et sortie du pilote.



hydrauliques appliquées, et le tableau 3 illustre l'influence positive de l'infiltration à travers 27 cm de sable sur la qualité du rejet pour l'ensemble des phases.

On pouvait s'attendre à des concentrations d'entrée supérieures (paramètres DCO et MES), mais ces valeurs modestes s'expliquent par le fonctionnement en sous-charge organique de la station d'épuration. Les valeurs moyennes n'atteignent que $135 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ et $50 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ respectivement pour la DCO et pour les MES ; le coefficient de variation de la DCO est important (52 %) et souligne la forte variabilité de qualité de l'effluent issu du 2^e bassin de lagunage.

En sortie de pilote, la concentration moyenne du rejet est largement en deçà de $90 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ en DCO et $30 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ en MES.

De plus, le calcul de l'écart-type atteste d'une certaine stabilité de cette qualité. La présence de nitrates en concentrations très variables au cours du cycle d'alimentation (1 à $18 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1} \text{ N-NO}_3$) est caractéristique d'un milieu bien oxygéné. Pendant le suivi de ce pilote, les quelques mesures effectuées dans le rejet montrent que la teneur en azote

Paramètres	Nombre de valeurs		Entrée (mg.l ⁻¹)		Sortie (mg.l ⁻¹)	
MES	17	Moyenne min-Max écart-type	50 26-99	19	20 10-40	7
DCO	18	Moyenne min-Max écart-type	135 79-398	71	61 36-99	16
DCO _f	17	Moyenne min-Max écart-type	57 39-95	15	41 27-63	11
N-NH ₄ ⁺	7	Moyenne min-Max écart-type	15,25 13,5-18,25	2,2	3,55 0,1-6,7	2,6
N-NO ₃ ⁻	7	Moyenne min-Max écart-type	0,15 0,05-0,6	0,2	9,8 0,55-18,1	7

◀ Tableau 3 – Variations des concentrations en entrée et sortie du pilote infiltration-percolation.

Kjeldahl n'a jamais dépassé 10 mg.l⁻¹. La nette décroissance mesurée sur l'azote ammoniacal conforte l'hypothèse de la mise en place rapide de la nitrification.

L'activité biologique de ce massif est également mise en évidence par une légère réduction du paramètre DCO filtrée dont le rendement moyen avoisine 25 % (tableau 4).

En terme de rendement, les résultats du tableau 4 confirment qu'une hauteur de sable de 27 cm permet de retenir en moyenne un peu moins de 60 % des MES et 50 % de la DCO. La stabilité du rendement est confirmée par l'évaluation des écarts-types.

Le suivi des concentrations en sortie n'a pas permis de mettre en évidence l'influence de la charge

hydraulique appliquée sur les niveaux de qualité obtenue.

Quelques prélèvements, effectués à l'aval du 3^e bassin de lagunage, permettent de confirmer l'intérêt de l'infiltration-percolation par rapport à ce 3^e bassin pour l'élimination de la matière organique. Les teneurs en azote global des rejets sont équivalentes ; les filtres présentent le gros intérêt d'assurer une meilleure nitrification alors que la lagune rejette les éléments azotés sous formes organique et ammoniacale.

INFLUENCE DES CHARGES HYDRAULIQUES ET ORGANIQUES SUR LE COLMATAGE DES FILTRES

Le suivi des vitesses d'infiltration fut riche de renseignements. Il a mis en évidence la décroissance en dents de scie des vitesses d'infiltration au cours d'une période d'alimentation.

Paramètres	Nombre de valeurs	Rendement (%)	
MES	17	Moyenne min-Max écart-type	59 44-81 12
DCO	18	Moyenne min-Max écart-type	50 26-78 13
DCO filtrée	17	Moyenne min-Max écart-type	26 5-42 12

◀ Tableau 4 – Rendements du pilote infiltration-percolation.

Après une période de repos, les vitesses retrouvent une valeur bien supérieure à celles de la fin du cycle précédent. Il est donc nécessaire de maintenir l'alimentation alternée, même pour des effluents préalablement traités par lagunage.

Pendant tout le mois d'août, les vitesses d'infiltration décroissent progressivement de 1 250 mm.h⁻¹ à 995 mm.h⁻¹ en 5 semaines. Il est intéressant de constater que cette baisse des vitesses d'infiltration s'est produite pour une même charge hydraulique appliquée (1 m.j⁻¹) et une charge organique assez stable (en moyenne 30,6 g DCO.m⁻² par bâchées ; cette valeur a été calculée à partir de 15 données. À ce niveau de charge appliquée, l'évolution des vitesses d'infiltration révèle un vieillissement progressif du filtre, lié à une accumulation de matières organiques malgré les demi-semaines de repos qui semblent être trop courtes.

En pleine période estivale, les temps de repos des pilotes d'infiltration-percolation de Certines n'étaient donc pas d'une durée suffisante pour maintenir les vitesses d'infiltration à un niveau stable. Il est donc préconisé de rallonger les temps de repos et de disposer de 3 unités fonctionnant en alternance.

Des essais similaires, relatés aux États-Unis [7] proposent des lames d'eau limitées à 0,37 à 0,56 m³.m⁻².h⁻¹ pour un seul ouvrage en fonctionnement. Un ouvrage complémentaire peut être installé pour fonctionner pendant environ 7 jours consécutifs lors des phases d'entretien et de curage de l'ouvrage principal. L'auteur suggère d'utiliser en permanence 3 filtres en alimentation alternée sans pour autant fournir le dimensionnement correspondant. Dans le cas d'un traitement complémentaire réalisé par filtres plantés de roseaux à flux horizontal, le flux admissible est naturellement beaucoup faible : 0.2 m³.m⁻².h⁻¹ [8].

Au mois de septembre, lors de l'apport d'une charge hydraulique supérieure (1,2 m.j⁻¹), le filtre se colmate. Ce colmatage n'est pas à relier uniquement à cette charge hydraulique plus élevée. Les conditions climatiques n'étaient plus aussi propices à un assèchement superficiel ; mais surtout, l'apport d'une charge organique très importante (119 g DCO.m⁻² ont été mesurés sur une des bâchées le 5 septembre) semble avoir joué un rôle majeur dans le développement du colmatage. Bien que les pilotes ne permettent pas d'estimer précisément combien la charge hydraulique influence la qualité du rejet, la valeur de 0,80 m³.m⁻².h⁻¹ sur l'un des filtres en fonctionnement est proposée.

Au mois d'août, la charge moyenne appliquée par bâchée de 30 g DCO.m⁻² a fourni une qualité de rejet conforme aux objectifs attendus. En apportant 4 bâchées par jour, la charge appliquée journalière monte à 120 g DCO.m⁻², valeur qui peut paraître importante comparée à celle utilisée (25 g DBO₅.m⁻²) dans le cas d'une infiltration-percolation avec un objectif de traitement secondaire [9]. La matière organique, déjà traitée par deux bassins de lagunage n'a pas la même composition que celle issue d'un simple décanteur ; la fraction dissoute, de moindre importance, générera à l'intérieur du filtre un développement bactérien moindre, dont le contrôle par les rythmes d'alimentation (3 ou 4 jours) et de repos (7 jours) semble possible. Les deux valeurs de charges hydraulique et organique correspondent à un effluent à traiter d'une concentration moyenne de 150 mg DCO.L⁻¹.

Le siphon de Joudes

DÉBIT D'ÉVACUATION

La mesure de débit du siphon a été réalisée 4 fois, alors que sa course était réglée sur une hauteur de 1,58 cm. Le volume moyen évacué de 2,93 m³ en un temps moyen de 142 s correspond à un débit moyen de 73,4 m³.h⁻¹. Cette valeur est effectivement inférieure de près de 20 % à la valeur nominale de 90 m³.h⁻¹. Visuellement, la répartition des eaux à la surface des filtres reste correcte et ne semble pas en être sensiblement affectée.

SUIVI DE LA HAUTEUR DE MARNAGE

Le tableau 5 illustre les hauteurs de marnage pendant les trois réglages.

Pendant la phase 1, la hauteur de marnage moyenne mesurée est très proche de celle attendue (1,368 cm contre 1,4 cm). Le siphon bascule à une hauteur stable (écart-type de 0,1 %) ; la position du flotteur au moment du basculement est régulière. La hauteur de désamorçage est légèrement plus variable (écart-type de 0,3 %) mais peut globalement être considérée comme stable.

Malgré tout, quelques épisodes anormaux viennent induire des variations significatives des hauteurs de marnage. Il s'agit en fait de bâchées à remontées tardives du siphon (figure 3) qui sont apparues selon une fréquence de 5,8 % (9 bâchées sur 156 au total). Ce phénomène pourrait être expliqué par des amorçages imparfaits qui ne permettent pas une complète évacuation de l'air dans la partie haute du coude des tubes d'évacuation, et donc

Hauteur théorique de marnage		Hauteur de basculement (en m)	Hauteur de désamorçage (en m)	Hauteur de marnage (en cm)	Volume évacué (en m ³)
Phase 1 : 1,4 cm 156 valeurs	moyenne min-Max écart-type	0,963 0,960-0,968 0,001	0,950 0,938-0,954 0,003	1,368 0,800-2,700 0,295	2,53 1,48-5,00 0,55
Phase 2 : 2,6 cm 28 valeurs	moyenne min-Max écart-type	0,974 0,970-0,977 0,002	0,948 0,939-0,954 0,004	2,593 1,800-3,600 0,502	4,80 3,33-6,66 0,93
Phase 3 : 0,6 cm 163 valeurs	moyenne min-Max écart-type			0,75 0,6-1,4 0,209	1,347 1,079-2,282 0,30

◀ Tableau 5 – Hauteurs de marnage mesurées, hors événements climatiques.

d'atteindre le débit maximum. Le désamorçage, qui se produit lorsque le débit d'introduction dans les ouïes du flotteur devient inférieur au débit d'évacuation, se produit alors à un débit plus faible qu'à la normale ce qui correspond à une cote d'eau plus basse.

Ces erreurs sur les hauteurs d'amorçage et de désamorçage induisent pourtant des variations non négligeables sur la quantité d'eau évacuée à chaque bâchée. Pendant cette phase d'étude la variation, évaluée à partir du coefficient de variation, s'établit à plus de 20 %.

Une amélioration de la position du coude permettra d'éviter les mécanismes de remontée tardive et d'améliorer la stabilité du fonctionnement du siphon.

Le passage en phase 2, avec une hauteur de marnage de 2,6 cm n'a pas été volontaire. En fait, après 10 jours de fonctionnement, le niveau de basculement passe de 0,963 m à 0,974 m, alors que la cote de désamorçage reste similaire. On suppose qu'au préalable, les contraintes mécaniques sur l'axe de rotation étaient telles qu'elles empêchaient une course maximale du flotteur. Après un certain temps, les frottements sur cet axe ont diminué et le flotteur peut effectivement remonter jusqu'à la butée haute. En phase 2, les commentaires sont comparables à ceux de la phase 1. Notons également que les phénomènes de remontée tardive du siphon, à une fréquence similaire ont lieu sur une course plus longue et génèrent des variations de volume évacué de 30 %.

Le passage en phase 3 a été conduit de façon volontaire et une période de l'ordre d'un mois s'est

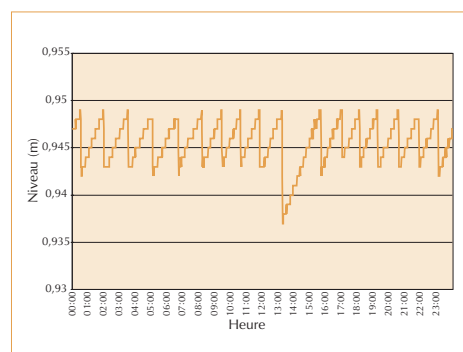
déroulée entre le réglage et les premières mesures afin d'éviter les ennuis mécaniques évoqués ci-dessus. Sur cette faible hauteur de marnage, le siphon fonctionne très correctement. Les phénomènes de remontées tardives, toujours présents à une fréquence de moins de 10 % induisent une variation relative de la quantité d'eau évacuée de 20 %.

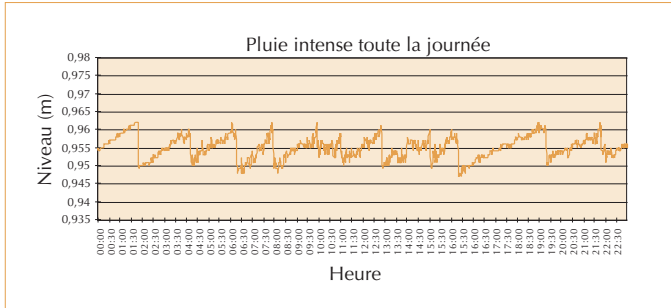
INFLUENCE DES INTEMPÉRIES (PLUIE, GEL ET DÉGEL)

Du fait de la faible hauteur de marnage, les précipitations ou les morceaux de glace peuvent influencer les mécanismes d'amorçage ou de désamorçage du siphon. Son suivi, à cette époque de l'année a permis de fournir des éléments de réponse.

C'est en phase 1 que la pluie a été la plus intense. Les figures 4 et 5 mettent en évidence la sensibilité

▼ Figure 3 – Fonctionnement du siphon (marnage de 0,6 cm) et phénomène de remontée tardive.

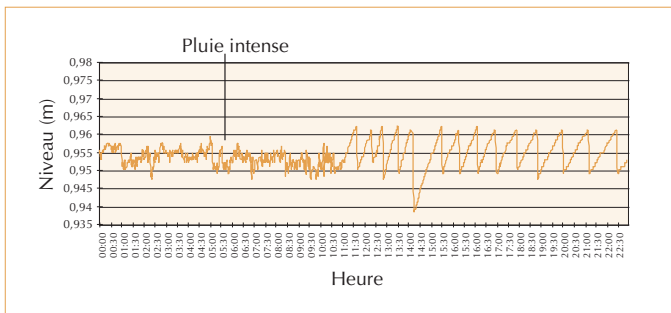




▲ Figure 4 – Sensibilité du siphon en période de pluie intense.

apparente de l'appareil de mesures bulle à bulle, liée à l'impact des gouttes de pluie sur le plan d'eau. L'identification de la hauteur de marnage de chaque bûchée est moins précise. Le siphon s'enclenche à partir d'un niveau plus bas qu'en périodes calmes. La surface de l'eau étant agitée à cause des intempéries, le flotteur peut être alimenté par des à-coups qui le remplissent hâtivement et entraînent son basculement à partir d'un niveau moindre. Par contre, le niveau de désamorçage n'est pas modifié.

Aucune accumulation d'eau dans le bassin de stockage amont n'est perceptible et le siphon remplit sa fonction avec des bûchées moins volumineuses d'une fréquence plus rapprochée.



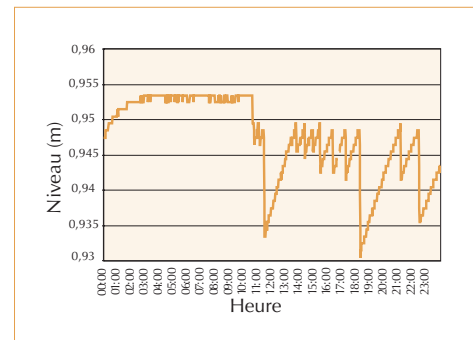
▲ Figure 5 – Sensibilité du siphon en période de pluie diluvienne suivie d'une accalmie (journée du 29 octobre).

La formation de glace autour du siphon empêche, comme le montre la figure 6, son fonctionnement normal ; en période nocturne, il se produit une accumulation d'eau dans le bassin amont. En journée, le flotteur se libère de la glace, il bascule à nouveau en entraînant des glaçons. De ce fait, son rythme et son amplitude ne redeviennent réguliers qu'au moment du dégel (figure 7). On notera que le nombre de bûchées est alors extrêmement important (51) pour un nombre d'irrégularités réduit (5 bûchées).

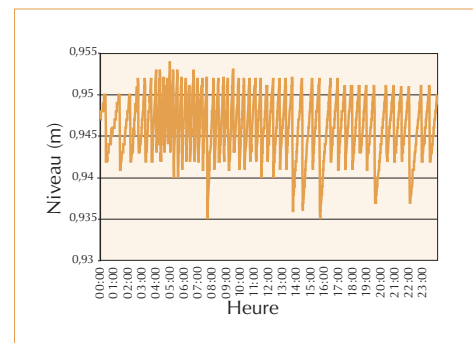
À partir de ces résultats, il est possible d'affirmer que l'installation d'une infiltration-percolation à l'aval d'une lagune est possible, même si le site n'est pas raccordé à un réseau électrique. Effectivement, le siphon testé peut fonctionner sur des hauteurs de marnage réduites, de l'ordre du cm, tout en évacuant les eaux à des débits non négligeables, mesurés dans le cas présent à $73,4 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Cette facilité limite les coûts d'investissement puisque le siphon pourra être installé directement dans la deuxième lagune, et qu'il n'est pas nécessaire d'installer le siphon dans un ouvrage spécifique.

Des pilotes d'essais à une station de démonstration

Depuis le milieu des années 1995, le Cemagref cherche un site permettant de valider, en grandeur réelle, les bases de dimensionnement préconisées



▲ Figure 6 – Fonctionnement du siphon en période de gel (journée du 8 décembre).



▲ Figure 7 – Fonctionnement du siphon pendant la période de dégel (journée du 11 décembre).

à partir des essais pilotes de Certines. Une enquête nationale conduite en 1988 avait permis de compter près de 80 installations existantes. Pour de multiples raisons d'ordre techniques (infiltration-percolation non étanchés, fonctionnement des installations en sous-charge hydraulique et/ou organique, conception inadaptée pour un suivi...), aucune n'a pu faire l'objet d'un suivi.

En 2001, le syndicat du Barousse-Comminges-Save, l'Agence de l'eau Adour-Garonne, le conseil général de Haute-Garonne et le Cemagref se sont associés pour déposer un projet de démonstration, dénommé LILIPUB (Lagunage, Infiltration-percolation, Lits de séchages de boues plantés de roseaux pour le traitement des eaux Pluviales, des eaux Usées et des Boues) auprès des financements européens LIFE afin d'aboutir enfin à une validation des conclusions des essais pilotes.

La commune d'Aurignac, dans le département de la Haute-Garonne ne dispose pas d'installations de traitement des eaux usées. Compte tenu de la présence importante de rochers dans des rues étroites, la transformation du réseau unitaire existant en réseau séparatif génère des coûts tels, que cette solution n'a pu être retenue. La station future (encadré 1) doit donc être capable d'accepter des variations de charges hydrauliques importantes. Par ailleurs, l'objectif assigné au rejet de la station d'épuration, du fait de la qualité du milieu récepteur nécessite un traitement poussé qu'un lagunage n'offre pas. Les autorités locales ont alors proposé de retenir une filière mixte : lagunage naturel + infiltration-percolation

Le projet porte sur une population de 300 EH, une extension à terme à 1 200 EH est prévue. La taille du projet est volontairement réduite; elle correspond en réalité à la population très facilement raccordable, dans une échéance rapide, compatible avec les objectifs du projet.

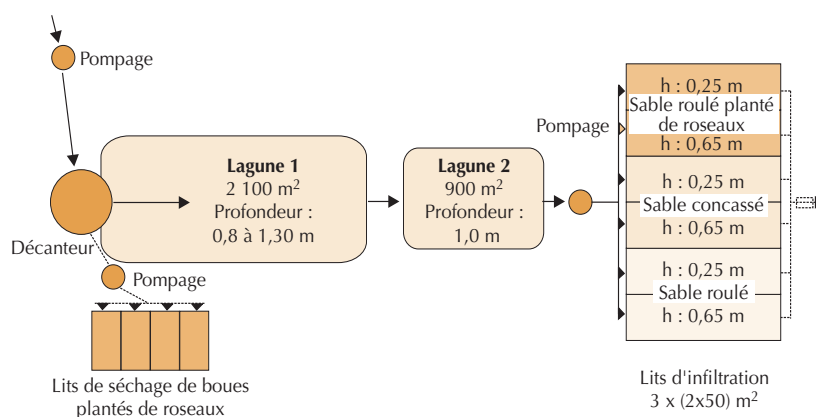
Encadré 1

Le dispositif expérimental et le dimensionnement de la station d'Aurignac

Cette station est composée de 2 lagunes en série et de 6 filtres (figure 8). La charge polluante émise par 300 EH correspond à $45 \text{ m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$ et $15 \text{ kg DBO}_5 \cdot \text{j}^{-1}$.

La première lagune est d'une surface légèrement supérieure à la pratique française ($6 \text{ m}^2 \text{ EH}^{-1}$), mais dispose d'une revanche supplémentaire de 50 cm. Ainsi, il est possible de traiter le 1^{er} flux d'eaux pluviales (1050 m^3). L'ancien réseau de collecte de type unitaire est maintenu et le nouveau tronçon sera séparatif. Les hauteurs d'eau dans cette lagune sont fixées à 0,80 m et 1,30 m.

La seconde lagune est également d'un dimensionnement standard ($2,5 \text{ m}^2 \text{ EH}^{-1}$). Les deux lagunes réunies formeront plus tard le 2^e bassin de la lagune naturelle prévue pour 1200 EH. C'est la raison pour laquelle elles sont de taille légèrement supérieure et répondraient à un dimensionnement pour 350 EH.



▲ Figure 8 – Station de démonstration d'Aurignac.

Encadré 1 (suite)

À l'aval de ces deux lagunes fonctionnant en série, il est prévu de comparer trois types de garnissage des filtres à flux verticaux : sable roulé, sable concassé et sable roulé planté de roseaux. Ces filtres feront bien sûr l'objet de comparaison : le filtre garni de sable roulé aura un rôle de témoin. À court terme, l'extraction de sables de rivière ne sera plus tolérée ; il sera remplacé par du sable concassé dont la forme très anguleuse peut induire des modifications sur le plan hydraulique par les enchevêtrements plus marqués des grains entre eux que dans un sable roulé. Un troisième type de filtres sera planté de roseaux. Le rôle de maintien de la perméabilité du support par des roseaux est désormais largement connu [10]. Il est possible que cette végétation ait une influence positive sur la dégradation de la couche colmatante constituée d'algues en décomposition. Les comparaisons porteront sur le suivi hydraulique, sur les températures au sein des massifs ainsi que les consignes d'exploitation.

Chaque garnissage sera testé sur 2 hauteurs : 0,25 m correspond à la couche la plus faible qui présenterait pourtant un intérêt dans l'amélioration de la qualité ; 0,65 m est une hauteur habituelle préconisée en infiltration-percolation à l'aval d'un traitement primaire.

Comme en infiltration-percolation utilisée en traitement secondaire, les filtres seront tous alimentés alternativement et par bâchées à l'aide d'une pompe pour des facilités expérimentales. Sur la totalité des six filtres, deux d'entre eux seront alimentés pendant 3 ou 4 jours puis mis au repos pendant une semaine.

À l'amont de la lagune de tête, est installé un ouvrage de décantation d'un volume utile de l'ordre de 1,5 m³ permettant de retenir les boues primaires facilement décantables. Les boues, extraites deux fois par jour afin de réduire au maximum leur dégradation sous forme anaérobie, seront dirigées vers 4 lits de séchage de boues plantés de roseaux. C'est la première fois qu'une telle technique sera appliquée à des boues primaires et fera l'objet d'un suivi. Comme dans le cas des boues biologiques, les filtres sont alimentés à tour de rôle et un seul filtre est alimenté pendant une semaine entière.

Les bases de dimensionnement des lits de séchage de boues plantés de roseaux sont inspirées de celles préconisées dans le cas du traitement des boues biologiques extraites directement du bassin d'aération [11]. Afin de tenir compte de la qualité des boues à traiter (primaires au lieu de biologiques), de sa dégradation aérobie au sein même des massifs, les doses appliquées en boues biologiques de 50 kg MS m⁻² an⁻¹ ont été réduites de 20 % et la valeur de 40 kg MS m⁻² an⁻¹ est proposée. Leur suivi permettra de confirmer ces bases de dimensionnement. Il est prévu également de comparer les contraintes d'exploitation d'un lagunage simple dont il faut curer les boues liquides tous les 6 à 10 ans et d'un lagunage dont une partie des boues est traitée par ces lits. Ce comparatif ne pourra être réalisé que bien après la fin officielle du projet européen.

Le coût complet d'investissement, comprenant en plus de la construction au sens strict, l'acquisition du terrain, la maîtrise d'œuvre, les études préalables et le génie civil nécessaire à l'installation du matériel de mesures s'élève à 700 000 € [12]. De nombreux regards des canaux débitométriques et des canalisations de *by-pass* nécessaires à un site de démonstration génèrent des coûts supplémentaires non négligeables. De plus, une partie du site a été préparée pour la station future d'une capacité de 1 200 EH.

Le coût total des suivis par le syndicat du Barousse-Comminges-Save et le Cemagref a été estimé à 230 000 € [12]. Ce coût intègre une partie de l'acquisition du matériel spécifique. Pendant l'année 2003, fonctionneront la lagune de tête et les 6 filtres. La deuxième lagune sera mise en service seulement pendant l'été 2004. La comparaison des deux années de suivi sera déterminante pour définir si la filière la plus complète est effectivement plus adaptée que l'autre à un objectif de qualité portant sur l'azote global.

Conclusion

Le but de ces projets pilote puis de démonstration est de proposer aux petites collectivités du monde rural, déjà équipées de réseaux dont certains tronçons sont unitaires, une filière mixte dont l'exploitation simple pourrait toujours être conduite par du personnel communal motivé, mais n'ayant pas de formation spécialisée dans le domaine du traitement des eaux usées. Le niveau de qualité atteint serait le niveau D4. Cette performance améliorée ne peut cependant être acquise qu'en respectant scrupuleusement l'alimentation alternée des filtres qui impose donc 2 passages par semaine alors qu'un 3^e bassin de lagunage n'imposerait pas une telle assiduité.

Ces résultats relativement encourageants obtenus sur Certines, permettent de jeter les premières bases de dimensionnement d'un ouvrage d'infiltration-percolation de faible hauteur (de l'ordre de 30 cm) alimenté par des eaux issues d'un premier ou deuxième bassin de lagunage. Dans le cadre d'un projet futur, pour un fonctionnement fiable, il semble judicieux de respecter une charge organique surfacique moyenne de 30 g DCO.m² par bûchée. Pour limiter au maximum les risques de colmatage, la charge organique surfacique extrême pour une bûchée serait de 90 g DCO.m².

Plus globalement, dans l'objectif de retenir des algues de taille relativement faible mais pouvant entraîner un colmatage de surface, issues d'un premier ou deuxième bassin de lagunage et de compléter la nitrification du rejet, l'ensemble des paramètres (charges hydrauliques et organiques, rythme d'alimentation), conduisent à préconiser une transposition sécuritaire et un dimensionnement encore important des filtres à 1 m².EH⁻¹, scindés en trois massifs de taille identique. Cette configuration permet de traiter un volume journalier moyen de 250 l. EH⁻¹ (dont 100 l d'eaux pluviales) à une concentration de 150 mg.l⁻¹ en DCO issue des lagunages amont.

Les filtres installés à l'aval d'un deuxième bassin lagunage pourront être alimentés à fort débit par des techniques non consommatrices d'électricité, souhait exprimé fréquemment par les maîtres d'ouvrage afin de réduire au maximum les coûts d'exploitation. Le suivi du fonctionnement d'un siphon développé par la société SINT a montré des capacités à marrer sur des hauteurs de l'ordre du centimètre tout en débitant à plus de 70 m³.h⁻¹. Afin de fiabiliser le fonctionnement de ce matériel dont la course est parfois trop longue du fait d'une remontée tardive du flotteur, la position du coude dans le tuyau d'évacuation devra être modifiée. Il est, après cette adaptation, tout à fait réaliste de proposer l'installation d'un siphon, directement à l'intérieur d'un bassin de lagunage de 2,5 m².EH⁻¹, simplement protégé par un ouvrage siphonide, de le régler pour une hauteur de marnage de 1,5 cm en vue d'apporter une lame d'eau sur le filtre en service de 12 à 14 cm.

Il convient malgré tout de rester très prudent et ne pas généraliser trop vite un dimensionnement acquis à partir d'une étude pilote conduite pendant 3 mois en période estivale. L'objectif de la construction de la station d'Aurignac est de pouvoir effectivement valider ce dimensionnement.

À échéance de trois ans, on espère pouvoir définir :

- i) les caractéristiques techniques de nouvelles filières basées sur l'association du lagunage et des filtres (un ou deux bassins, matériaux) en fonction de la qualité de l'effluent (dégradation de la matière organique et degré de nitrification) fixée par le milieu récepteur,
- ii) les limites hydrauliques de telles installations,
- iii) les dimensionnement des lits de séchage de boues adaptés aux boues primaires,
- iiii) les coûts d'exploitation des ces nouvelles filières et plus particulièrement celui du traitement des boues. □

Résumé

De nombreux lagunages existent sur le territoire français, la qualité du rejet est relativement bonne pour les paramètres azote et phosphore mais ce système de traitement est connu pour avoir une efficacité moindre concernant l'efficacité de la matière organique. Des essais pilote d'infiltration-percolation, d'une hauteur de sable volontairement réduite à 25 cm, montrent qu'il est possible de diminuer de 50 % la concentration en matières en suspension et d'obtenir une nitrification complémentaire. De plus, le suivi du fonctionnement d'un siphon auto-amorçant a permis de montrer sa capacité à marner sur une hauteur proche du centimètre, tout en débitant à plus de 70 m³.h⁻¹. Le maître d'ouvrage de la commune d'Aurignac a accepté de construire une station de démonstration constituée d'un lagunage naturel suivi d'infiltration-percolation dans le but de traiter une partie des effluents de la commune (300 EH). Les boues primaires qui s'accumulent à l'intérieur de la lagune de tête seront traitées chaque jour sur 4 lits de séchage de boues plantés de roseaux. En novembre 2001, il a soumis ce projet au programme européen LIFE qui a donné un avis favorable en juillet 2002 et le début de la construction de la station date de l'automne 2002. Cet article présente les résultats des essais pilotes et du fonctionnement du siphon. Il explique le passage des essais pilote à la construction de la station en décrivant en détail et en fournissant le programme de suivi.

Abstract

Many small French communities have been equipped with Waste Stabilisation Ponds. Their effluent quality is relatively good for N and P but is known to be poor regarding organic matter. Pilot trials show that it is possible to decrease 50 % of the outlet SS and to obtain an additional nitrification thanks to one additional filtration on a 25 cm sand height. The follow-up of a self-priming siphon shows its capacity to function with only 1 cm height of tidal range. The owner of Aurignac accepted to built a demonstration WSP plant, followed by Intermittent Sand Filters. The primary sludge which accumulates at the inlet of the 1st pond will be spread each day on four Sludge Dewatering Reed Bed Filters. He submitted in November 2001 this project (capacity of 300 PE) to the EEC in the LIFE-environment program. This paper gives the results of pilot trials and of the siphon functioning. It explains the demonstration plant design basis and explains our objectives.

Bibliographie

- [1] Groupe de travail Satese-Cemagref, ENSP et Agences de l'eau, 1997, *Le lagunage naturel. Les leçons tirées de 15 ans de pratique en France*, coordination Y. RACAULT, co-édition Cemagref-Éditions, Agence de l'eau Loire-Bretagne, Antony, France.
- [2] CRITES, R., TCHOBANOGLIOUS G., 1998, *Small and decentralized wastewater management systems*, McGraw-Hill series in Water Resources and Environmental Engineering, USA.
- [3] GUILLOTEAU, J.-A., LIÉNARD, A., VACHON, A., LESAVRE J., 1993, Wastewater treatment by infiltration basins. Case study: Saint Symphorien de Lay, France, *Wat. Sci. Tech.*, vol.27 (9), pp. 97-104.
- [4] LIÉNARD, A., GUELLAF, H., BOUTIN, C., 2001, Choice of the sand for secondary wastewater sand filters, *Wat. Sci. Tech.*, vol. 44 (2-3), pp. 189-196.
- [5] CTGREF, 1978, L'irrigation par gorgées, *Informations techniques*, 31 (4).
- [6] Agences de l'eau, 1993, *Épuration des eaux usées urbaines par infiltration percolation : état de l'art et études de cas*, Étude inter-agences n°9, France.
- [7] MIDDLEBROOKS, E.-J., 1995, Upgrading pond effluents: an overview, *Wat. Sci. Tech.*, vol.31 (12), pp. 353-368.
- [8] GSCHLOSSL, T., LEDERLE, C., SCHLEYPEN, P., MELZER, A., 1996, Small wetland systems for posttreatment and effluent polishing in lagoons, 5th international Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, Vienna, Austria, September 15th-19th 1996, pp. VI 1-8.
- [9] BOUTIN, C., LIÉNARD, A., LESAVRE, J., 2000, Wastewater treatment plants for small communities: five attached-growth cultures on fine media, 1st world water congress IWA, Paris, France, Ref L 179.
- [10] BOUTIN, C., LIÉNARD, A., ESSER, D., 1997, Development of a new generation of reed-beds filters in France: first results, *Wat. Sci. Tech.*, vol.35 (5), pp. 315-322.
- [11] LIÉNARD, A., DUCHÈNE, PH., GORINI, D., 1995, A study of activated sludge dewatering in experimental reed- planted or unplanted sludge drying beds, *Wat. Sci. Tech.*, vol. 32 (3), pp. 251-261.
- [12] Syndicat des eaux du Barousse-Comminges-Save, Cemagref, Agence de l'eau Adour-Garonne et conseil général de Haute-Garonne, 2002, *Dossier LIFE Environnement LILIPUB*, Saint Gaudens, France.