

ECOTECHNIQUES D'ASSAINISSEMENT DES EAUX USEES DOMESTIQUES : EVOLUTION ET PERSPECTIVES

Brouillet J.L.^a, Picot B.^b, Sambuco J.P.^a, Gaillard L.^c, Soteras G.^a, Valarié I.^a

^a Conseil général de l'Hérault – Pôle Environnement Eau, Direction des Milieux Aquatiques – 1000 rue d'Alco, 34084 Montpellier cedex 4 (jlbrouillet@cg34.fr)

^b UMR 5569 Hydrosociétés – UMI, Faculté de Pharmacie, BP 14491, 34093 Montpellier cedex 5, France (Email : picot@univ-montp1.fr)

^c SupAgro – 2 place Pierre Viala, 34000 Montpellier (lucile.gaillard@wanadoo.fr)

INTRODUCTION

Il existe de nombreuses techniques d'assainissement des eaux usées domestiques. La plupart sont plus ou moins intensives, certaines par contre sont restées relativement rudimentaires et mettent en œuvre des phénomènes naturels utilisés par l'homme en filières d'épuration : ce sont les écotechniques.

En 1992, lors du sommet de la Terre de Rio, les écotechniques ont été définies dans l'Agenda 21 comme des « techniques écologiquement rationnelles : elles protègent l'environnement, sont moins polluantes, utilisent de façon plus durable toutes les ressources, autorisent le recyclage d'une proportion plus importante de leurs déchets et produits ». Ces écotechnologies permettent la mise en synergie de la protection de l'environnement et du développement économique et s'adressent à tous les secteurs d'activités.

Le 28 janvier 2004, l'Europe a adopté un plan d'action en faveur des écotechnologies (COM(2004)38). Cette volonté a été renforcée dans un rapport de la Commission européenne du 2 mai 2007 (COM(2007)162), qui préconise, entre autres mesures, de promouvoir les marchés publics écologiques dans tous les domaines et notamment dans le domaine de la gestion de l'eau.

Par ailleurs, le Grenelle de l'Environnement qui s'est tenu en France à l'automne 2007 a abouti à des propositions de mesures visant à inscrire le développement de la société française dans une perspective durable. Parmi les six groupes de travail constitués, le groupe en charge de la promotion des modes de développement écologiques recommande de favoriser la recherche et le développement des technologies favorables à l'environnement.

Le Département de l'Hérault s'est engagé dans une démarche de développement durable et a mis en œuvre un agenda 21 départemental depuis le 9 décembre 2003 et veille depuis à ce que les actions qu'il mène ou accompagne s'inscrivent dans cet esprit.

Depuis de nombreuses années le Département de l'Hérault a favorisé le développement et la mise en œuvre de ces écotechniques d'assainissement dans de nombreuses communes de son territoire.

Dès la première vague de créations de stations d'épuration, plusieurs lagunages ont été construits et une collaboration s'est instituée entre les maîtres d'ouvrage et la communauté scientifique pour mettre en œuvre des suivis des performances des installations et préconiser des modalités de conception et de construction.

En 1980, la création du site expérimental de Mèze a permis le développement des techniques lagunaires, donnant lieu à de très nombreux travaux scientifiques (thèses, publications scientifiques,...).

Parallèlement, des procédés mettant en œuvre des végétaux se sont développés, partant du concept de l'exportation directe de l'eau et des polluants par les plantes, ou du rôle de leurs racines qui aèrent les sols, supports de l'épuration.

L'objectif de cet article est de montrer, au travers de quelques exemples de réalisations locales, comment les écotechniques d'assainissement sont des outils de gestion durable de l'eau et contribuent à la préservation de l'environnement.

Situé dans le Sud-Est de la France, le Département de l'Hérault s'étend le long de la mer Méditerranée : il est composé d'une zone littorale très peuplée (70% de la population) où se concentrent les activités et d'un arrière-pays rural, à faible densité de population.

Le climat du département est méditerranéen avec des étés chauds et secs et des hivers relativement doux, surtout sur le littoral. La pluviométrie est fonction du relief et se caractérise par une très forte variation inter-saisonnière avec une sécheresse estivale et des épisodes pluvieux violents en automne et en hiver.

Le tourisme est fortement développé dans le département et la population passe de 1 million d'habitants en hiver à 1 600 000 habitants en période estivale. Par ailleurs, la douceur du climat attire une population sédentaire de plus en plus nombreuse, puisque depuis quelques années, on compte environ 15 000 habitants supplémentaires par an.

D'un point de vue économique, le territoire de l'Hérault se développe autour du tourisme, de la viticulture, du secteur tertiaire. Le littoral accueille le port de commerce de Sète et des petits ports liés aux activités de la mer et des étangs littoraux, comme la pêche, principalement côtière et lagunaire, la conchyliculture très développée dans l'étang de Thau, le tourisme et le thermalisme. Le tourisme s'est fortement développé et des stations balnéaires se sont créées ou développées : le Cap-d'Agde, La Grande-Motte, Mauguio-Carnon, Palavas-les-Flots, Valras-plage...

Dans ce contexte, la protection de l'eau et des milieux aquatiques est un enjeu majeur pour le département. Les techniques d'assainissement doivent pouvoir permettre d'atteindre des qualités d'eau différentes selon les milieux récepteurs et selon les nombreux usages que l'on en fait : consommation, irrigation, pêche et cultures marines, thermalisme, loisirs aquatiques...

Les eaux usées domestiques sont caractérisées par leur teneur élevée en matières organiques (MO) (Demande biologique en oxygène (DBO₅), Demande chimique en Oxygène (DCO) et matières en suspension (MES), leur concentration en azote et phosphore et par la présence de micro-organismes banaux et/ou pathogènes. Le rôle de l'assainissement est d'éliminer ces pollutions à des niveaux plus ou moins poussés, en fonction des exigences des milieux récepteurs de ces eaux traitées.

Les filières d'assainissement classiques utilisent généralement des procédés biologiques intensifs comme les boues activées et permettent l'abattement de la MO et des MES et sous certaines conditions des autres composés indésirables (azote, phosphore, germes). Ce sont les techniques les plus répandues.

En parallèle à ces filières standard, des écotechniques se sont développées et sont également capables de traiter la pollution azotée et phosphorée, et/ou bactériologique. Le principe des écotechniques est d'utiliser les capacités épuratrices d'un écosystème naturel pour traiter en partie les eaux usées.

Deux principales techniques ont été déployées et développées dans le département :

- les lagunages fondés sur l'activité algale qui assure la production d'oxygène nécessaire à la vie des organismes épurateurs.
- les techniques utilisant des végétaux supérieurs qui interviennent soit indirectement par leur système racinaire à l'entretien d'une vie microbienne dans des sols naturels ou reconstitués, soit directement par l'exportation d'eau ou d'éléments fertilisants prélevés dans les eaux usées.

Apparues plus récemment, ces éco-techniques sont des procédés extensifs et, contrairement aux filières classiques, elles consomment peu d'énergie.

Par des outils de gestion simples, l'exploitant de la station entretient un environnement favorable au développement d'un écosystème épuratoire. Le dimensionnement dépend du niveau de charge polluante acceptable par cet écosystème et du niveau de performance attendu sur la variable visée (DCO, DBO₅, Azote, Phosphore, pesticides,...). Les correspondances entre les différents écosystèmes et techniques épuratrices sont représentées sur la figure 1.

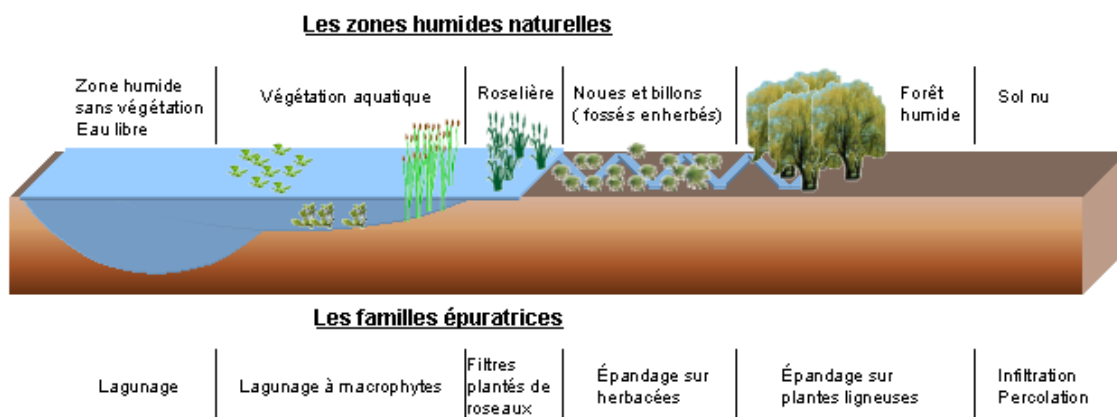


Figure 1 :
Correspondance écosystèmes / techniques épuratrices

Dans le contexte actuel de réchauffement climatique, ces écotecnologies sont un outil qui s'intègre à la démarche de développement durable. Ce sont des techniques dites douces, proches d'un fonctionnement naturel. Elles permettent de réaliser des économies sur deux postes critiques aujourd'hui, l'eau et l'énergie. La gestion des boues est simplifiée et plus durable. Elles sont des alternatives intéressantes pour les communes dont le milieu récepteur est particulièrement fragile. Enfin, certaines techniques, en plus de leurs performances épuratoires, permettent d'apporter à la station une plus-value paysagère et parfois économique.

Dans le département de l'Hérault, sur 329 stations d'épuration des eaux usées urbaines, 98 utilisent des écotecniques, soit 30% du nombre total de stations d'épuration (STEP) (tableau I, figure 2). Ce pourcentage est largement supérieur à la moyenne qui se situe à environ 19% pour le bassin hydrographique Rhône Méditerranée et Corse et également supérieur aux autres départements du Languedoc Roussillon.

Tableau I : Répartition des STEP par filière dans les départements du Languedoc Roussillon et dans le Bassin hydrographique Rhône Méditerranée et Corse (données sources : SATESE, Agence de l'Eau)

Département ou bassin hydrographique	Nombre total de STEP	lagunages	Filtres plantés	Ecotechnologies % total
Hérault	329	86	12	30
Aude	416	14	59	18
Gard	282	20	16	13
Lozère	251	50	6	22
Pyrénées Orientales	187	1	7	4
Bassin RM et C (données 2006)	6644	968	251	19

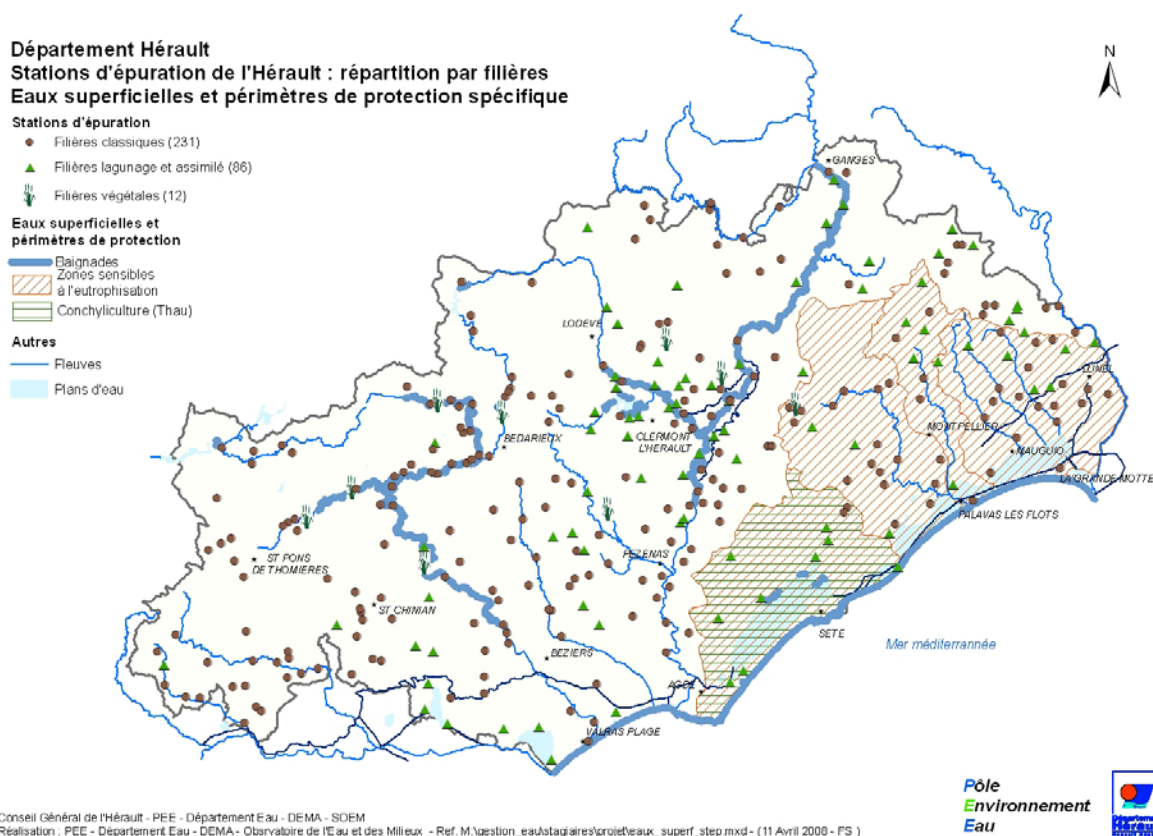


Figure 2 : Répartition des STEP par filière dans le département de l'Hérault

Les premiers lagunages ont été implantés dès les années 60 et depuis, leur nombre n'a cessé d'augmenter. Au cours de ces années, de nombreuses expérimentations ont été conduites sur ces installations et ont permis de les faire évoluer. Les résultats obtenus permettent aujourd'hui de proposer aux collectivités des systèmes d'épuration peu coûteux, performants et respectueux de l'environnement.

UTILISATION DES ECOTECHNIQUES DANS L'HERAULT : TYPES ET EVOLUTION

1 – Techniques lagunaires

Le lagunage est une technique extensive de traitement des eaux usées constituée de plusieurs bassins étanches en série où se développent bactéries, algues et zooplancton (figure 3). L'épuration de la matière organique repose sur l'activité de bactéries libres, essentiellement aérobies qui utilisent l'oxygène provenant de la photosynthèse algale, et sur de longs temps de séjour de l'eau dans les bassins. Le lagunage s'appuyant sur des processus naturels d'autoépuration très dépendants des conditions climatiques locales (ensoleillement, température) s'est développé de façon très diverses selon les pays. Si en France le lagunage est souvent considéré comme un procédé réservé aux communautés rurales il n'en est pas de même dans d'autres pays où il est utilisé pour des agglomérations supérieures à 100 000 habitants (Australie, Brésil, Chine, Nouvelle Zélande...).

Situation en France

En France la première station de lagunage a été construite en 1965 au Grau du Roi pour traiter les rejets d'une agglomération touristique du rivage méditerranéen. Cette technique a connu un développement rapide durant les années quatre vingt, le nombre des installations dépasse 3 000 et constitue 20 % du parc des stations d'épuration mais représente seulement 3% de la population (Racault et Boutin, 2005 ; Picot *et al.*, 2005a). Le lagunage est un procédé rustique d'épuration des eaux usées qui ne nécessite peu ou pas d'apport d'énergie et ne comporte peu ou pas d'équipement électromécanique. Ces caractéristiques, associées à des coûts de fonctionnement et de maintenance faibles, font du lagunage une technique souvent choisie pour équiper les collectivités en zone rurale; la taille moyenne des installations est de 600 Equivalent-Habitant (EH) (Racault et Boutin, 2005). Ses bonnes performances sanitaires en font une technique de choix en zone littorale; dans le département de la Manche, par exemple, il représente plus de la moitié du parc des stations d'épuration (Restoux et Frigout, 2006). On compte également des installations de capacité importante pour des communes littorales à forte fréquentation estivale.

Après 25 ans de retour d'expérience, Racault et Boutin (2005) recommandent une configuration de 3 bassins en série (figure 3) avec un dimensionnement de $6\text{m}^2/\text{EH}$ pour le premier bassin (au lieu de $5\text{m}^2/\text{EH}$ précédemment) avec une profondeur de 1-1,2m, et une superficie de $2,5\text{m}^2/\text{EH}$ pour le 2^{ème} et le 3^{ème} bassin, ce qui correspond à une charge organique nominale de $40\text{kg DBO}_5\text{ha}^{-1}\text{j}^{-1}$. Le premier bassin peut être considéré comme un lagunage facultatif avec présence d'une zone aérobie en surface et une zone anoxique à proximité des sédiments, les 2 autres bassins sont considérés comme des lagunes de maturation.

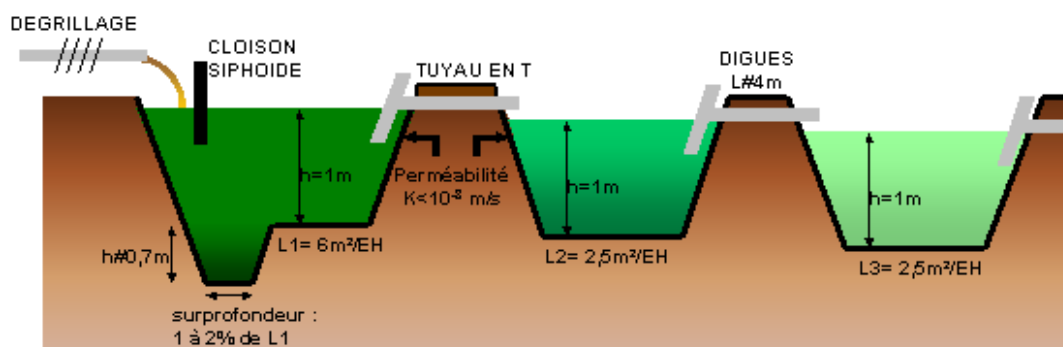


Figure 3 : Schéma de principe d'une station d'épuration par lagunage naturel constitué de trois bassins

Le suivi effectué en 1992 sur 178 lagunages par le Cemagref avec le concours des Satese (Service d'assistance Technique aux Exploitants des Stations d'Épuration) a montré que la moyenne des charges surfaciques pour l'ensemble des lagunes étaient de $25\text{Kg DBO}_5\text{ha}^{-1}\text{j}^{-1}$ c'est-à-dire que la plupart des lagunes étaient sous chargées par rapport à la charge nominale prévue (Cemagref *et al.*, 1997). Les performances de ces lagunages sont données dans le tableau II. Le fonctionnement est fonction des saisons, ce qui explique en partie les écarts - types importants observés. L'élimination des nutriments et les performances sanitaires sont plus élevées en été au contraire les rendements en DCO et en MES sont plus faibles (présence d'algues dans les effluents).

Tableau II : Performances des lagunages alimentés avec des eaux usées provenant de réseaux non séparatifs
Cemagref *et al.*, (1997), in Lienard *et al.* (2005)

	DCO		DCOf		MES		NK		PT	
	% R	Sortie mg.L ⁻¹	% R	Sortie mg.L ⁻¹	% R	Sortie mg.L ⁻¹	%	Sortie mg.L ⁻¹	%	Sortie mg.L ⁻¹
Moyenne	78	141	86	85	79	54	72	19	66	7.5
Ecart-type	16	69	9	37	20	41	23	11	24	6.0

R: Rendement en flux (charge entrante - charge sortante/charge entrante);

Situation dans le département de l'Hérault

Dans l'Hérault, le lagunage représente 26% de la totalité des stations d'épuration mais seulement 10% des EH traités. La plupart des lagunages sont des lagunages naturels composés de trois bassins en série dimensionnés sur la base de 10-12 m²/EH. Contrairement à ce que l'on peut observer pour des lagunages implantés en zone rurale continentale et en raison de la forte pression démographique observée dans les départements littoraux du sud de la France, les lagunages du département de l'Hérault, ont atteint très vite leur charge nominale et sont souvent surchargés. De ce fait on assiste depuis quelques années à des expériences novatrices lorsque des réhabilitations ou extensions de stations ont été rendues nécessaires par l'augmentation des populations desservies :

- *Addition d'une lagune facultative primaire* en amont et réutilisation des 3 bassins existants en traitement secondaire et tertiaire ; exemple à Poussan où la capacité du lagunage a été portée de 4 000 à 6 700 EH avec une amélioration de 2U log de l'abattement des germes témoin de contamination fécale.
- *Addition de une ou deux lagunes profondes aérées*. Exemple à Gigan où ont été ajoutées 2 lagunes profondes aérées en série en tête de station avec une consommation de 0,5 -1 kWhr/kg de DBO₅ éliminée. La capacité de traitement a été doublée (3 000 à 6 000 EH) pour une augmentation de 1/3 de la superficie; le lagunage existant sert de finition et contribue à une meilleure décontamination bactérienne.
- *Création d'étage aéré sur des lagunes à forte charge estivale*. Exemple à Marseillan où le lagunage prévu à l'origine pour 18 000 EH a été porté à 44 000 EH en pointe estivale par ajout, en amont des 3 bassins de lagunage naturel préexistants, de 2 lagunes aérées en série d'un volume total de 8 800 m³ munies de 20 aérateurs de 11kW. Cette station située sur le bassin versant de l'étang de Thau devait répondre aux impératifs de développement durable. L'objectif a été de réaliser une installation qui ne présente pas de rejet direct dans les milieux aquatiques sensibles pour protéger la conchyliculture et la baignade, mais qui permet une réutilisation de l'eau pour une gestion environnementale : maintien des zones humides littorale et réinjection d'eau traitée dans la nappe souterraine du lido pour limiter les remontées d'eau salée.
- *Création d'un lagunage facultatif à forte charge*. C'est le cas du second étage de la station de lagunage de Mèze composé de 4 lagunes facultatives à alimentation étagée en série avec recirculation et possible aération. La charge traitée est de 150 à 200 kg DBO₅.ha⁻¹.j⁻¹ (Sambuco *et al.*, 2002).. Ce système offre une alternative au lagunage naturel classique ou aéré. La surface nécessaire est de 2,5 m²/EH et la consommation énergétique est de l'ordre de 0,5 kWhr/kg DBO₅ éliminée (Copin *et al.*, 2004). Cet étage de traitement élimine 50% des MES et DCO, 66% de la DBO et 1,3 U log *E.coli* (Picot *et al.*, 2005a).
- *Intégration d'une station conventionnelle* (décanteur-digesteur, décanteur-digesteur + lit bactérien, ou boue activée) en amont d'un lagunage existant comme à Villeveyrac
- *Compartmentation des bassins*. Cela peut se faire en partageant le ou les bassins de maturation existant en y incluant transversalement un filtre à gravier. Cela permet d'éviter les courts-circuits existant dans les grandes lagunes qui réduisent les performances et d'autre part ces filtres à gravier retiennent les matières en suspension.
- *Recirculation d'effluents riches en algues* en tête du bassin primaire pour limiter les odeurs. Des nuisances olfactives peuvent apparaître sur les lagunes primaires notamment au printemps avec la remontée des températures favorisant la digestion anaérobie des boues accumulées l'hiver. Elles surviennent également en cas de surcharge organique ou quand il y a accumulation de boues en tête du premier bassin. Ces mauvaises odeurs sont dues à la réduction des sulfates en sulfures par les bactéries sulfato-réductrices en zone anoxique. Pour limiter ou supprimer ces nuisances olfactives il faut maintenir une couche aérobie en surface des lagunes. Ainsi, la recirculation des effluents traités provenant des bassins de maturation riches en phytoplancton vers le début du bassin primaire, outre la dilution de l'eau brute, apporte une eau riche en oxygène et en microalgues et conduit à une réduction des sulfures (Paing, 2001). Pour être efficace cette recirculation doit atteindre au moins une fois le débit d'entrée (Copin *et al.*,

2004). Le brassage laminaire des eaux en utilisant de l'énergie photovoltaïque a été également utilisé avec succès sur les lagunages surchargés de Creissan et Cazilhac (Sambuco, 2008).

Les avantages du procédé qui sont à l'origine du choix des collectivités du département sont toujours reconnus :

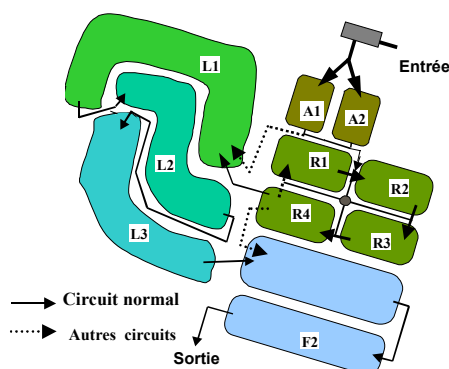
- le lagunage, à cause de l'importance du volume de ses bassins, est capable d'accepter les augmentations de charge hydraulique, résultant par exemple d'événements pluvieux, soit les pointes de charge organique pendant la saison touristique estivale;
- le lagunage présente une grande efficacité de décontamination microbienne, nécessaire lorsque le milieu récepteur concerne des eaux de baignade, des zones de culture ou de ramassage de coquillages;
- le lagunage nécessite peu d'équipement mécanique et ne demande que peu ou pas d'énergie
- la maintenance est nécessaire mais facile à réaliser avec des coûts relativement faibles
- la production de boues est faible ; le taux d'accumulation est de l'ordre de 2 cm/an dans la première lagune (Picot *et al.*, 2005b), ce qui nécessite un curage du bassin primaire après 10 ans de fonctionnement pour les lagunages surchargés ou 15 ans pour les autres.
- les lagunages présentent une bonne intégration paysagère.

Cependant plusieurs contraintes et limites freinent le développement de cette technique:

- besoin de surface importante dans un contexte de concurrence foncière de plus en plus forte dans le département
- risque de nuisances olfactives en cas de surcharge organique, en présence d'eaux usées fortement chargées ou lorsqu'il y a trop de boues accumulées
- les concentrations en matières en suspension (algues) et en composés azotés et phosphorés dans les effluents en sortie de lagunage ne satisfont pas aux conditions requises pour les rejets en zone sensible à l'eutrophisation

Le développement du lagunage dans le département de l'Hérault a bénéficié également de la collaboration efficace entre la communauté scientifique, le département de l'Hérault et les collectivités locales. Ainsi, dès sa mise en fonctionnement en 1980, le système de lagunage de Mèze-Loupian a fait l'objet de suivis réguliers de l'évolution de la qualité de l'eau au fil des bassins successifs, avec une attention particulière portée au devenir des bactéries témoins de contamination fécale (Baleux et Trousselier, 1983 ; Legendre *et al.*, 1984 ; Trousselier *et al.*, 1986 ; Mezrioui, 1987) et des parasites tel *Giardia sp.* (Wiandt *et al.*, 1995). L'installation d'une unité pilote de lagunage haut rendement a donné lieu à une série de travaux consacrés aux performances de cette technique alors nouvelle en Europe (Bontoux et Picot, 1994) et, en même temps, a permis d'effectuer des comparaisons avec le lagunage traditionnel (Picot *et al.*, 1992 ; Gómez *et al.*, 1995 et 2000).

Lors de la réhabilitation de la station de Mèze la construction d'un premier étage de traitement constitué de deux bassins anaérobies en parallèle (A₁ et A₂ ; figure 4) a permis d'y étudier l'accumulation des boues, l'activité méthanogène et la production de H₂S et de tester des aménagements pour réduire les nuisances olfactives (Paing, 2001 ; Paing *et al.*, 2003 ; Picot *et al.*, 2001 et 2003) ; ces lagunages ont été transformés depuis 2001 en lagunages profonds aérés. De même, lors de la mise en route du deuxième étage de traitement que l'on peut qualifier de lagunage facultatif à forte charge (FFC), constitué de l'ensemble des 4 bassins R₁ à R₄ alimentés de façon étagée et avec une recirculation partielle de l'eau du bassin R₄ vers le bassin R₁ (figure 4), on a recherché comment en optimiser le fonctionnement, notamment quels étaient la répartition optimale des débits d'alimentation et le taux de recirculation (Sambuco *et al.*, 2002). Après extension et réhabilitation de la station, les anciens bassins ont été convertis en lagunage tertiaire (lagunages de maturation pour L₁ à L₃ et de finition pour F₁ et F₂ ; figure 4) pour compléter la décontamination bactérienne ; ils constituent en outre un volume tampon qui permet d'absorber les fortes charges hydrauliques en temps de pluie.



Etages de traitement	Type	surface (ha)	profondeur (m)	Date construction
A ₁ , A ₂	Lagunes anaérobies, puis lagunages profonds aérés	2 x 0.23	3.1	1998 2001
R ₁ , R ₂ , R ₃ , R ₄	Lagunage facultatif à forte charge (alimentation étagée et recirculation) FFC	4 x 0.67	1.8	1999
L ₁ , L ₂ , L ₃	Lagunes facultatives	4 + 2 + 2	1.4 - 1.7	1980 1999
F ₁ , F ₂	Lagunes de finition	1.9 + 1.2	0.8 - 1.3	1996

Figure 4 : Configuration de la station de lagunage de Mèze après son extension et réhabilitation

La station dans sa configuration actuelle de 14,4 ha (figure 4) traite 19 000EH (soit 7,6 m²/EH) avec des performances accrues par rapport à la configuration initiale à 3 bassins en série : 4,6 unités logarithmique d'abattement des *E.coli* en moyenne annuelle en 2003-2004 comparé à 2,3 U log en 1988-1990 avant sa réhabilitation (Picot *et al.*, 2005a ; Brissaud *et al.*, 2005). Globalement, la station élimine plus de 90% de la DBO, plus de 75% de la DCO et des MES, 65% des composés azotés et près de 40% du phosphore. La contribution de chaque étage de traitement est donnée dans la figure 5a pour les paramètres physico-chimiques ; on peut y voir que les 2 premiers étages de traitement (lagunes profondes aérées et lagunes facultatives à fortes charges) sont très efficaces pour réduire MES, DCO et DBO ; les étages de maturation et de finition assurent la majorité de l'élimination des composés azotés et phosphorés. La figure 5b représente la contribution des 2 premiers étages de traitement et de chaque lagunes de maturation et de finition pour l'abattement concernant *E. Coli* ; chaque bassin prend part à cette réduction, ce qui montre l'intérêt d'accroître le nombre de bassin quand on recherche des performances sanitaires.

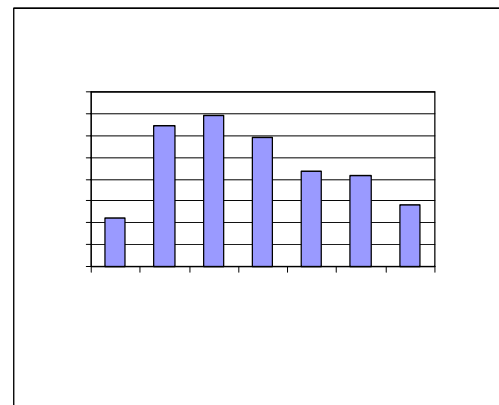
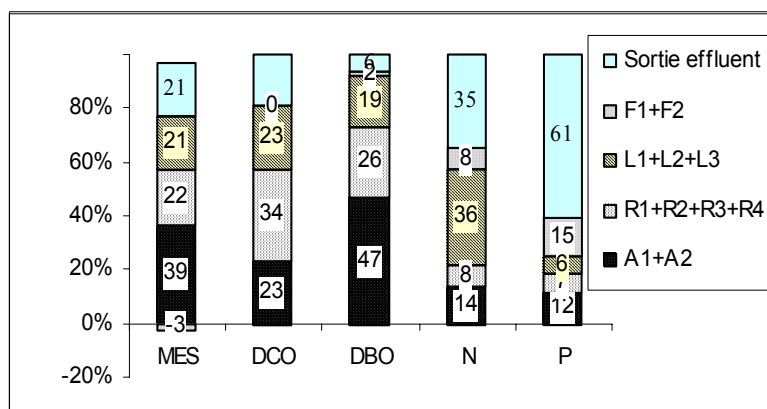


Figure 5a : Contribution de chaque étage de traitement pour l'élimination des paramètres physico-chimiques

Figure 5b : Contribution de chaque bassin ou étages de traitement à l'abattement global de *E. Coli* (calculée à partir des flux).

Une modélisation de la décontamination microbienne a été proposée qui pourrait servir d'outil d'aide à la conception et à la gestion des lagunages (Andrianarison, 2006). De même, des modélisations hydrodynamiques et leurs vérifications par traçage sur de grandes lagunes ont montré que l'effet du vent diminuait les temps de séjour moyens en créant des courts circuits et entraînait une diminution des performances (Brissaud *et al.*, 2000 et 2003 ; Badrot-Nico, 2007).

Gomez *et al.* (2007) et Dagnino *et al.* (2007) ont récemment montré que le traitement par lagunage éliminerait mieux les polluants organiques perturbateurs endocriniens que les procédés conventionnels.

Si le lagunage reste la technique de choix lorsqu'on veut protéger la qualité sanitaire des milieux récepteurs ou lorsque une réutilisation de l'eau est envisagée, l'élimination des nutriments n'est que partielle; autour de 60 à 70 % pour l'azote et de 40 à 50% pour le phosphore. Les concentrations en nutriments en sortie de lagunage sont nettement inférieures en été par rapport à l'hiver en particulier pour l'azote en raison de la dénitrification qui intervient dans les lagunes de maturation ; cependant elles restent le plus souvent supérieures à 15mg/l en N en hiver et 2mg/l en P durant toute l'année (Picot *et al.*, 2005a ; Andrianarison (2006). Archer *et al.* (2003 et 2005) en Nouvelle Zélande ont montré que la mise en place de filtres à graviers (rock filters) entre 2 lagunes, en favorisant le développement de la biomasse fixée sur ce support, pouvait favoriser la nitrification/dénitrification. En pilote, Johnson et Mara, (2005) ont montré le rôle bénéfique de l'aération dans les filtres à graviers pour favoriser la nitrification. Nous verrons en troisième partie l'intérêt que peut présenter l'association de ces 2 écotechnologies. En ce qui concerne le phosphore, l'élimination se fait par sédimentation de formes particulières adsorbées ou précipitées (Moutin *et al.*, 1992 ; Gómez *et al.*, 2000). Shilton *et al.* (2006) ont montré l'intérêt du calcaire et des scories de fer utilisables sous forme de filtres « actifs » en sortie de lagunage pour améliorer l'élimination du phosphore. C'est une voie de recherche qui a besoin d'être poursuivie.

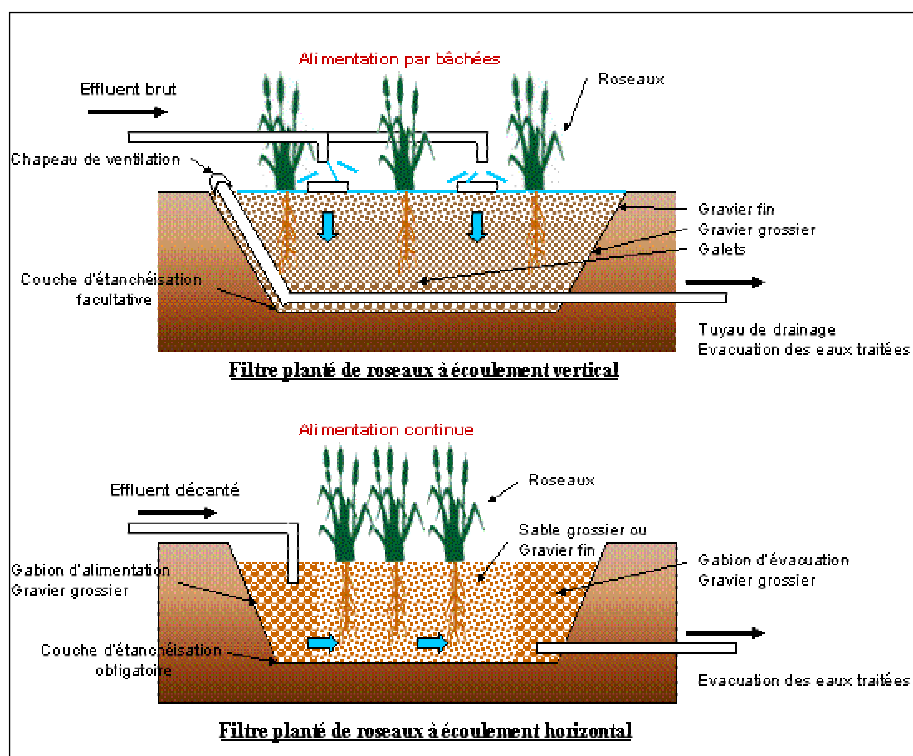
2 – Techniques utilisant les végétaux

Depuis quelques années, des techniques utilisant les végétaux supérieurs se développent. Les travaux sont très récents et il est rare d'avoir des retours d'expérience de plus de 15 ans. Pourtant depuis les années 80 des congrès internationaux sont organisés par l'IWA (International Water Association) sur les écotechniques utilisant des végétaux. En 2004, le congrès d'Avignon a regroupé ce thème avec celui du lagunage, les organisateurs étant conscients du lien étroit qu'il existe entre ces filières. Les résultats de recherches présentés et les premiers retours d'expériences sont encourageants.

Différents procédés sont développés, mais ils s'appuient tous sur un principe commun : l'association entre les végétaux et un support, le tout reconstituant un écosystème qui permet l'épuration de l'eau. Les végétaux utilisés sont des arbres, des macrophytes, des haies, des herbes ou bien des associations d'espèces. Le support peut être constitué d'un filtre à sable et galets de granulométrie variable (support minéral), d'un sol naturel ou d'une masse d'eau (étanchéisée ou non). La fonction première des végétaux est de favoriser l'oxygénation du milieu, afin d'optimiser le développement bactérien qui joue un rôle majeur dans l'abattement des polluants. Chaque technique a des caractéristiques et des performances d'épuration qui lui sont propres. La gamme s'étend de technologies adaptées à des charges organiques importantes, vers des technologies surtout envisageables en traitement tertiaire.

Les filtres plantés de roseaux

La filière la plus étudiée et la plus répandue est celle des filtres plantés de roseaux (ou lits plantés, FPR). C'est une méthode d'épuration par culture fixée sur support fin. L'eau usée est amenée sur le filtre et traitée par la flore bactérienne du milieu granulaire, dont le développement pérenne est favorisé par la présence de roseaux. Les roseaux jouent dans ce cas un rôle principal de remaniement physique du support. Il existe deux types de filtres (figure 6) :



- à écoulement vertical : le fonctionnement est aérobie et l'infiltration rapide. L'oxygénation est favorisée par la présence des roseaux et l'alimentation est réalisée par bâchées (apports ponctuels homogènes sur la surface du filtre). On utilise en général deux étages en série, chacun composé de plusieurs bassins alimentés en parallèle. Le premier étage est alimenté 3,5 jours et laissé au repos 7 jours, le second est alimenté 3.5 jours et laissé au repos 3 jours (Molle, 2003).

- à écoulement horizontal : le filtre est anoxique ou anaérobie. Il est saturé par un apport permanent d'effluent ayant obligatoirement subi un traitement primaire. Dans ce cas, on ne construit généralement qu'un filtre.

Figure 6: Fonctionnement des filtres plantés

La présence de roseaux conditionne le pouvoir épurateur du filtre mais ceux-ci n'agissent pas directement sur la pollution. Leur contribution globale n'est que de quelques pourcents (Iwema *et al.*, 2005). Ils permettent de limiter le colmatage et d'aérer le filtre en le rendant hétérogène. L'environnement créé est ainsi favorable au développement de la flore microbienne responsable de la grande majorité des performances épuratoires. L'activité enzymatique est très certainement stimulée par la présence des roseaux, ce qui expliquerait le taux de minéralisation important.

La première installation en France fût réalisée en 1987 à Gensac la Pallue. Il existe dans l'Hérault douze stations à filtres plantés de roseaux, tous de type vertical. Les performances de deux d'entre elles sont données dans le tableau III. Les données ont été mesurées par le SATESE du Conseil Général de l'Hérault (SATESE 34).

Tableau III : Performances épuratoires (en % d'élimination) de stations de filtres plantés de roseaux dans le département de l'Hérault mesurées à la sortie du second étage

Station	Age	MES	DCO	DBO ₅	NK	N-NH4	P	Bactéριο
Neffiès	15 jours	65	65	77	25	27	-30	Pas de données
La Tour sur Orb (sec)	13 mois	97	98	97.5	71	74	48	11
La Tour sur Orb (pluie)	13 mois	96	94	98	68	68	73	20

Les filtres ont un très bon rendement épuratoire concernant la charge carbonée. Le traitement de l'azote reste partiel. Il est souvent mesuré des concentrations en nitrate conséquentes à la sortie du second étage (36.4mg/l dans la cas de La Tour sur Orb par temps sec). En ce qui concerne le phosphore, les installations sont trop récentes pour pouvoir conclure sur leur efficacité. Le point faible de ces filtres est la bactériologie, les abattements ne sont pas suffisants pour une désinfection. L'utilisation de ce procédé seul n'est pas suffisant dans les zones sensibles aux germes pathogènes.

On observe une amélioration du rendement épuratoire avec le vieillissement de la station ainsi qu'une bonne adaptabilité aux variations brutales de débit (cas de forte pluie). Les lits de différents types peuvent être combinés ou bénéficier de certains aménagements hydrauliques, comme la recirculation, pour augmenter leur efficacité et atteindre des objectifs de nitrification et dénitrification.

Les contraintes d'entretien sont limitées : surveillance des mauvaises herbes, faucardage annuel, curage tous les dix ans. Les quantités d'énergie à mettre en œuvre sont minimales comparées à une filière intensive.

Les zones humides

Les zones humides sont généralement utilisées comme traitement tertiaire. Au cours de leur séjour dans ces milieux, les effluents traités subissent un abattement des MES et un complément de traitement des composants polluants. Les zones humides sont définies par la loi sur l'eau du 3 janvier 1992 comme « les terrains, exploités ou non, habituellement inondés ou gorgés d'eau douce, salée ou saumâtre de façon permanente ou temporaire ; la végétation, quand elle existe y est dominée par des plantes hygrophiles pendant au moins une partie de l'année ». Il existe plusieurs types de zones humides, représentées sur la figure 1.

En matière d'assainissement, elles agissent comme un filtre physique en aidant à la décantation des matières en suspension. Elles sont également un filtre biologique car il s'y déroule de nombreuses réactions biochimiques : action bactérienne, destruction des pathogènes par les UV et par concurrence biologique, adsorption et stockage de nutriments et substances polluantes par les végétaux (Skinner et Zalewski, 1995 ; Fustec et Frochot, 1996). Elles abattent de quelques unités log la quantité de germes et peuvent aussi avoir une influence sur les teneurs en azote et phosphore. Leurs performances permettent seulement une finition plus ou moins importante suivant leur dimensionnement. Ainsi, selon les contextes, la décision d'installer une zone humide est motivée soit par la volonté de restaurer un milieu de zone humide naturelle très fragilisé, soit par la volonté d'intégrer la station au paysage. Elles sont généralement installées en traitement complémentaire.

Sur la commune de Mauguio, un projet est en cours d'élaboration : l'objectif est d'associer une filière classique de traitement par boues activées qui abat la matière organique, les matières en suspension et les nutriments avec une zone humide utilisée comme traitement de finition.

Actuellement, les rejets de la station en place sont déversés dans un ruisseau proche, le Salaison. Ce ruisseau se jette dans l'étang de l'Or, classé sensible à l'eutrophisation. Actuellement, cet étang est considéré comme très eutrophisé, avec un développement abondant de phytoplancton et une diminution de la biodiversité.

A l'occasion de la construction de la nouvelle station, la commune va organiser le rejet dans une zone humide adjacente. Dans cette zone humide, une régression de la roselière a été constatée ces dernières années et la nouvelle gestion de l'eau épurée devrait répondre à plusieurs objectifs :

- permettre la reconstitution de la zone humide qui avait été altérée par l'augmentation de la salinité ;
- Créer une zone tampon entre la station et l'étang qui permet une finition du traitement des MES, de l'azote et du phosphore. Cette contribution à la prévention de l'eutrophisation, même si elle est relativement modeste permettra à partir de ce site pilote d'évaluer les performances du dispositif et de le faire évoluer.

Cet exemple montre une évolution dans la gestion des eaux domestiques. On assiste à une prise de conscience environnementale des collectivités. Préserver la qualité du milieu est devenu un objectif reconnu.

L'assainissement n'est plus seulement la réponse à des normes imposées : il devient un outil intégré de la gestion du patrimoine naturel. Les écotéchniques apportent un gain paysager et écologique en permettant la création ou la restauration de zones favorables à la conservation de la biodiversité.

Les lagunages à macrophytes

Les lagunages à macrophytes sont des installations mettant en œuvre des bassins dans lesquelles des macrophytes (végétaux ou algues) sont utilisés (en flottaison, immergés ou semi-immérgés) pour assurer des fonctions complémentaires de dépollution (figure 7).

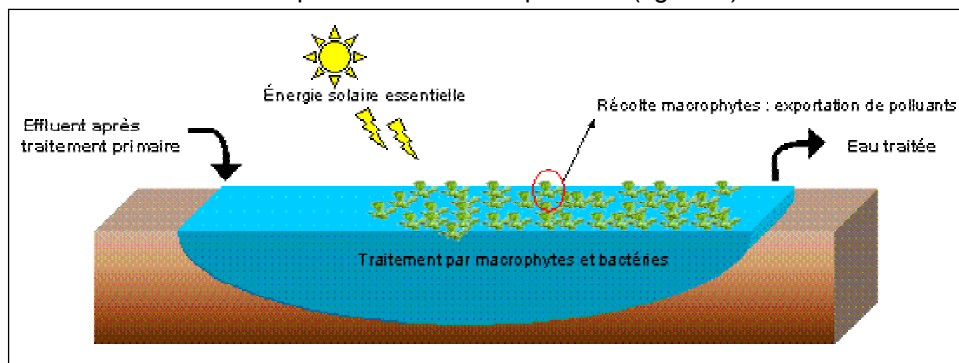


Figure 7 : Principe de fonctionnement du lagunage à macrophytes

Les macrophytes ont deux fonctions : favoriser le développement bactérien en oxygénant le milieu (Morel et Kane, 2002) et extraire les minéraux en produisant de la biomasse. Les rendements épuratoires dépendent des espèces ou mélanges d'espèces choisis – le plus souvent lentilles d'eau – *Lemna minor* (très performantes pour l'absorption de l'azote), jacinthes d'eau – *Eichhornia crassipes* – ou laitues d'eau – *Pistia stratiotes*. Ils sont équivalents à ceux des lagunages naturels notamment pour l'abattement de la charge organique et la désinfection (Kengne Noumsi *et al.*, 2004). Souvent l'abattement de l'azote est meilleur grâce à l'extraction par les végétaux.

Les plantes en surface permettent une bonne intégration paysagère. Elles contribuent à la réduction des nuisances olfactives (Morel et Kane, 2002). En effet, elles constituent une barrière physique à l'échappement des gaz odorants et un milieu de développement favorable aux bactéries oxydantes qui détruisent ces molécules, notamment H₂S (Morel et Kane, 2002). Des études récentes ont montré qu'elles interviennent de la même façon dans la limitation des émissions de gaz à effet de serre (Van der Steen *et al.*, 2002).

Des essais avaient été menés sur le lagunage de Villeveyrac dans les années 80 sur les jacinthes d'eau. Ils concluaient sur une bonne efficacité épuratoire mais une contrainte forte par rapport à leur gestion : il faut les extraire avant que la baisse de température ne les fasse mourir. De plus il n'est pas aisé de trouver une filière rentable de valorisation de la biomasse. La principale inquiétude reste le caractère invasif de ces plantes aquatiques (Muller, 2002). Un transfert vers le milieu récepteur est possible, ce qui pourrait y entraîner de graves conséquences pour la biodiversité. Les communes s'orientent en général vers d'autres solutions extensives.

L'épandage sur cultures de plantes ligneuses (« filtres verts »)

L'épandage sur cultures de plantes ligneuses consiste à irriguer des arbres ou des végétaux ligneux (comme le bambou) avec de l'eau usée. L'épandage peut être réalisé de différentes façons (par aspersion, goutte à goutte ou billons), en surface ou en sous-sol grâce à des tranchées de répartition (figure 8).

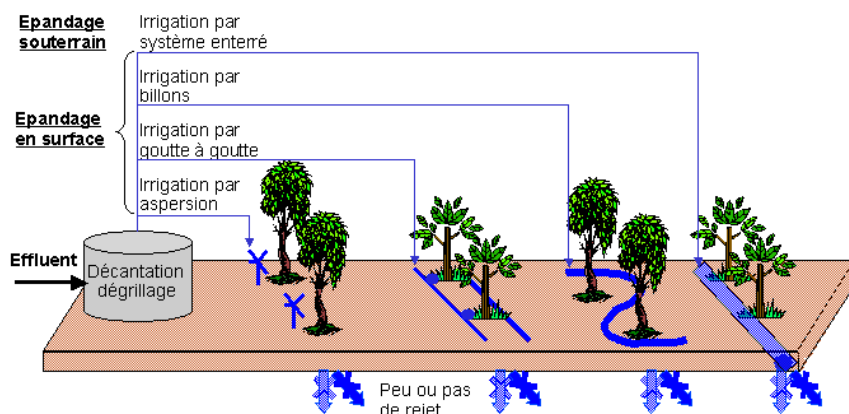


Figure 8 : Principe de l'épandage en plantes ligneuses – les filières possibles

Ce procédé est actuellement le plus poussé en matière de valorisation de l'eau et de la biomasse produite. L'épuration est assurée par les végétaux qui exportent l'eau et une partie des éléments nutritifs ainsi que par le sol grâce à son pouvoir auto-épurateur. Une phase préliminaire minimale de dégrillage/décantation primaire est nécessaire avant répartition de l'eau sur les sols (sols cultivés ou espaces naturels).

Le dimensionnement de ces systèmes doit prendre en compte le potentiel d'évapotranspiration de la plantation végétale, la perméabilité du sol et la pluviométrie locale. Le critère principal de dimensionnement est l'évapotranspiration. L'intensité de l'évapotranspiration dépend des conditions climatiques, de l'humidité, du type de végétal utilisé (à croissance plus ou moins rapide), de la phase de croissance des végétaux et de la saison. Les capacités d'extraction varient en fonction des végétaux : par exemple, un peuplier hybride de forêt occidentale subissant une récolte complète, exporte 200 litres d'eau par jour et 300 à 400 kg d'azote par an et par hectare (Dickmann *et al.*, 2002). Les saulaies fonctionnant comme des taillis à très courtes rotations, peuvent exporter 60% de l'azote apporté chaque année.

Le deuxième critère de dimensionnement est la perméabilité du sol et doit répondre à différentes contraintes : elle doit être suffisante pour faciliter le transfert de l'eau vers les racines (transfert latéral) tout en permettant à l'eau non utilisée par les végétaux de percoler à une vitesse favorisant son auto-épuration avant infiltration dans les couches profondes (transfert vertical).

Sur ce principe, une filière d'épuration par épandage sur culture de bambous a été développée par la société Phytorem.

Cette technique est adaptée au traitement des effluents domestiques des collectivités ainsi que des effluents industriels. Les bambous sont des espèces non gélives et très rustiques qui évapotranspirent toute l'année. Cette filière s'adapte particulièrement aux rejets permanents. Les bambous ont une capacité d'extraction de l'azote de 550 à 600 kg/ha/an et du phosphore de 200 à 250 kg/ha/an (Phytorem, 2006). On associe en général trois à quatre variétés, avec une densité moyenne de 1500 pieds/ha.

La surface nécessaire est évaluée à approximativement 10m²/EH pour atteindre le niveau de rejet autorisé par la loi française, et 30m²/EH pour un traitement complet des eaux usées (comprenant l'azote et le phosphore). Les plantes se développent grâce à des rhizomes, ce qui leur confère un caractère invasif. Il convient de les contrôler à l'aide d'une barrière à rhizomes qui limite leur zone d'extension.

Un entretien régulier des systèmes de dégrillage et d'alimentation (par aspersion ou goutte à goutte) est nécessaire. La gestion de la bamboueraie est simple : elle ne nécessite qu'une coupe annuelle et le renouvellement des bambous est naturel. Les chaumes coupés sont valorisables dans la filière bois pour l'énergie ou l'artisanat.

L'épuration par les bambous peut être utilisée dans des zones au milieu récepteur sensible puisque qu'il est possible de dimensionner pour qu'il y ait peu ou pas de rejet. La plus-value paysagère n'est pas négligeable.

Il existe un autre procédé qui a été développé dans l'Hérault, en particulier par des établissements à fréquentation estivale (campings). Cette technique a été caractérisée dans le cadre d'un programme européen LIFE sous le nom de GEOASSEV (Géo assainissement par évapotranspiration) par l'association REEVANVER.

Elle consiste en une première étape classique de liquéfaction en fosse septique, suivie d'un épandage souterrain en tranchées de répartition, tracées parallèlement à des alignements d'arbres ou d'arbustes (figure 9).

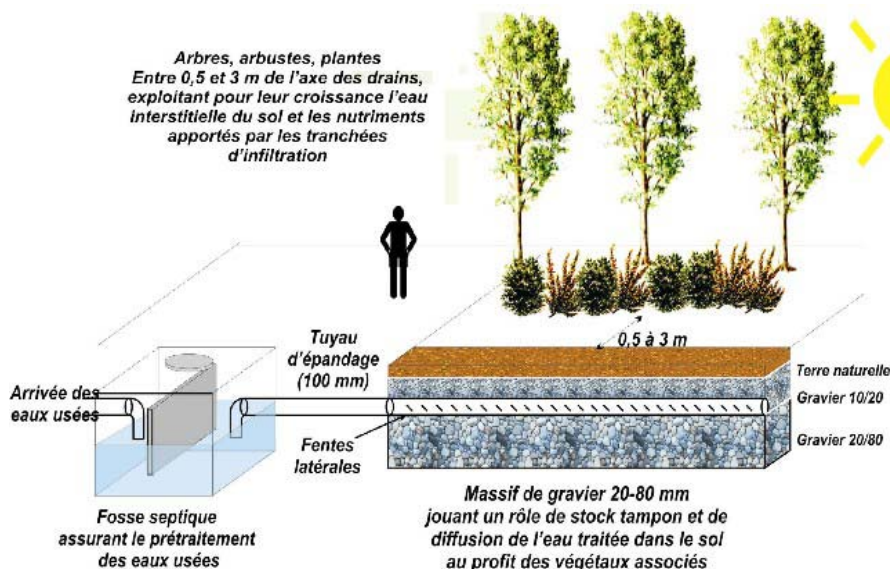
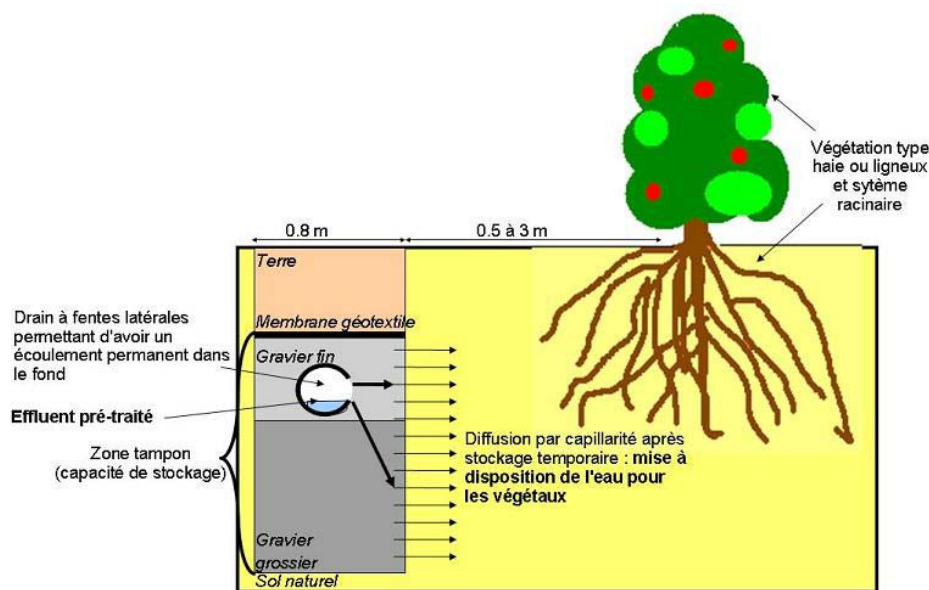


Figure 9 : Principe du
procédé Geoassev

Dans l'Hérault, ce système a été développé dans différents campings ou établissements de loisirs . En particulier, le camping Le Sérignan plage, situé en zone littorale fragile, a utilisé ce procédé dès la mise en place du camping, dans les années 1960. En 2000-2001, ce site a servi de support à la campagne de caractérisation plus approfondie du procédé. Cas particulier de ce camping : les végétaux choisis sont des peupliers, des saules, des tamaris et des haies diverses. En pleine saison le site est fréquenté en moyenne par 5000 personnes par jour. Le système d'épuration est composé de (figure 10) :

- Fosses septiques toutes eaux individuelles ou collectives : le camping disposant de bungalows et d'espaces sanitaires collectifs, il a été décidé que les fosses seraient individuelles pour les premiers (jusqu'à 5 EH) et collectives pour les seconds. Il s'y opère un fractionnement des matières en suspension rendant l'effluent plus liquide. On prévient ainsi le colmatage des drains en aval. Sur ce site, les fosses ont été légèrement surdimensionnées pour permettre une minéralisation des boues pendant la basse saison.



- Tranchées d' « infiltration évaporation » : Des drains forment un réseau souterrain à proximité duquel sont plantés les végétaux. L'effluent est libéré dans une tranchée remplie de matériau grossier lui conférant une capacité de stockage. Les drains sont positionnés de façon à ce que les fentes se trouvent sur le côté : il existe toujours un débit dans le réseau et l'eau à hauteur des fentes diffuse dans la tranchée puis dans le sol.

Figure 10 : Profil du système d'épandage et circulation de l'effluent

Le fonctionnement du système est optimal en été. Le climat entraîne une forte demande en eau des végétaux causant un abaissement de la nappe superficielle. Une plus large tranche de sol non saturé à bonne infiltrabilité est ainsi libérée pour épurer les eaux prétraitées.

L'exploitant du camping réalise une économie d'énergie grâce au fonctionnement gravitaire, mais aussi une économie d'eau de presque 1000m³ par jour. Il n'a été constaté aucune nuisance olfactive. Le procédé n'entraîne aucun rejet dans le milieu superficiel ainsi qu'aucune production de boues dans le cas de dispositifs saisonniers. L'eau usée a permis de produire de l'ombrage et donc, de l'agrément et du confort pour les utilisateurs du camping.

Il existe aujourd'hui un site expérimental sur le centre de loisirs de la commune de Vendres (Hérault). Cette structure a pour particularité d'être un établissement collectif à fréquentation permanente. Elle est située en zone littorale urbanisée avec une nature de sol proche de celle du camping de Sérignan plage. Le suivi de cette installation permettra à terme d'optimiser les critères de dimensionnement, mais aussi de tester la viabilité du système dans d'autres contextes afin d'en apprécier les utilisations et développements possibles.

L'épandage est intéressant en terme d'économie d'eau. Donner à l'eau prélevée une « seconde vie » avant de la rendre au milieu naturel permet d'éviter les gaspillages. L'épuration n'est plus seulement un procédé pour assainir l'eau, elle est aussi un moyen de produire, dans notre cas de l'énergie et des matières premières

3 – Combinaison des différentes techniques : systèmes intégrés

Les associations sont choisies pour la complémentarité des procédés dans le but d'optimiser les performances épuratoires. Dans le département de l'Hérault, différents systèmes utilisent des combinaisons d'écotechniques : trois exemples sont présentés dans les paragraphes suivants.

Combinaison 1 : lagune + FPR

Une des combinaisons les plus utilisées est celle des lagunes et des filtres plantés de roseaux. Cette combinaison de deux techniques adaptées aux petites collectivités permet de profiter des bonnes capacités de désinfection et de traitement du carbone, de l'azote et du phosphore par le lagunage ; et des performances du filtre dans l'abattement des MES et de la charge carbonée. Cette combinaison permet un traitement poussé des composants polluants.

Dans le cadre du programme LIFE **Lilipub** (Lagunage, Infiltration et Lits de séchage plantés pour le traitement des eaux Pluviales, Usées et des Boues), le CEMAGREF a réalisé en 2002-2005 une étude sur la commune d'Aurignac en Haute Garonne. Le réseau est unitaire et la STEP de la commune est dimensionnée pour traiter 300 EH. L'objectif de la filière est triple : respecter le niveau de rejet, faciliter la gestion des boues et traiter les eaux pluviales. La filière créée est présentée sur la figure 11.

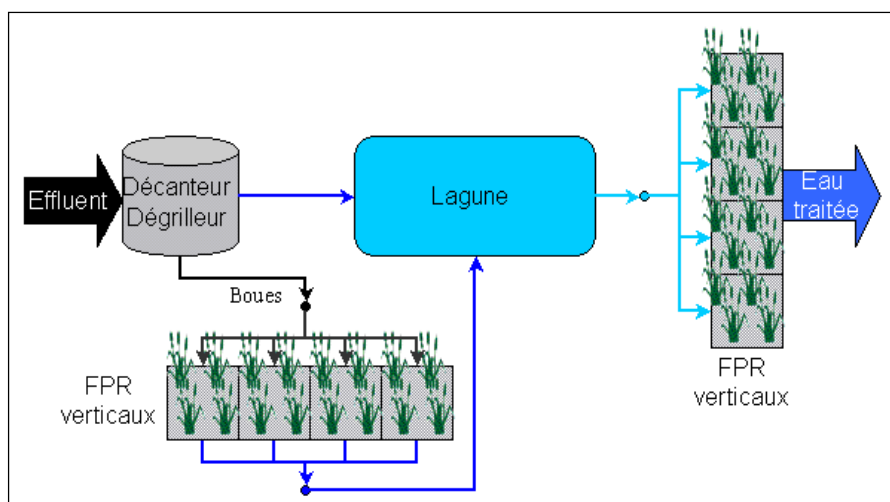


Figure 11 : Filière partielle de la station d'Aurignac selon le protocole expérimental du CEMAGREF. Les filières de traitement secondaires testées sans roseaux ne sont pas représentées.

Le suivi de la station a permis de vérifier les hypothèses. Les filtres plantés à écoulement vertical placés en amont du lagunage permettent une gestion simple des boues, en aval du lagunage ils traitent les MES algales. La station rejette une eau de qualité : la nitrification est quasiment totale, mais l'utilisation de filtres horizontaux permettrait un traitement plus poussé du nitrate (Molle, 2003).

Cette filière est bien adaptée aux petites communes qui ont des objectifs de rejet exigeants. Dans l'Hérault, la commune de Creissan projette de se doter d'une filière comparable. Elle est équipée d'une station de lagunage classique à trois bassins qui traite actuellement 1000EH. La commune doit augmenter les capacités de traitement jusqu'à 2000EH, aussi il a été décidé de :

- Remplacer la lagune primaire par un premier étage de filtres plantés de roseaux à écoulement vertical : abattement de la DCO, de la DBO et des MES
- Conserver les lagunes secondaire et tertiaire pour l'abattement de la bactériologie et d'une partie de l'azote et du phosphore.
- Ajouter un deuxième étage de FPR à écoulement vertical pour éviter un départ de MES algale dans le rejet et compléter l'abattement de la charge carbonée.

A eux seuls, les deux étages de filtres seuls permettraient d'atteindre un rejet de qualité ; les lagunes apportent des performances supplémentaires, notamment pour le traitement de la pollution bactériologique. Cette réalisation permettra d'augmenter de façon significative les performances de la station en ne mobilisant qu'une surface limitée tout en profitant d'anciens aménagements performants. Cet exemple montre que la transformation d'une lagune en FPR permet d'optimiser le fonctionnement de la station en limitant l'investissement et en conservant une gestion simple des équipements.

Combinaison 2 : lagunage aéré et rock filter

D'autres systèmes d'infiltration - percolation peuvent être associés à un lagunage pour améliorer entre autre l'abattement des MES.

Une installation avec rock filter vient d'être construite à Lespignan. Le rock filter est un massif filtrant en partie enterré, en partie hors sol. Il est constitué de gros matériaux support de type ballast concassé, galets roulés calcaires ou basaltiques. Une membrane géotextile et un réseau de drains permettent la récupération du percolat épuré. On estime qu'un rock filter peut abattre 75% de MES et permet d'obtenir des concentrations de sortie en DCO et MES inférieures à 30 mg/l (US EPA, 2002). Celles-ci sont bloquées dans les interstices libres du matériau. Elles sont alors métabolisées par le biofilm bactérien qui s'est développé à la surface des galets. Il permet de réduire de 50% le phosphore (Pratt *et al.*, 2004). En revanche, les performances en matière de réduction de l'azote sont négligeables, à moins d'aérer le filtre (Mara et Johnson, 2006). Le dimensionnement du massif répond à des règles spécifiques.

La station de Lespignan de 2500 EH initialement constituée d'une série de trois bassins de lagunage, devait être agrandie à 4 500 EH. Afin de limiter les emprises et les travaux, il a été décidé de rehausser les berges des lagunes pour en faire des lagunes aérées et d'installer un rock filter en sortie (figure 12). Les rejets sont de niveau exigeant sur les MES, le carbone, l'azote, le phosphore et la qualité sanitaire.

Il est prévu que l'eau en sortie de station soit utilisée temporairement pour alimenter en eau douce la roselière naturelle proche à fort intérêt écologique et qui abrite plusieurs espèces à protéger.

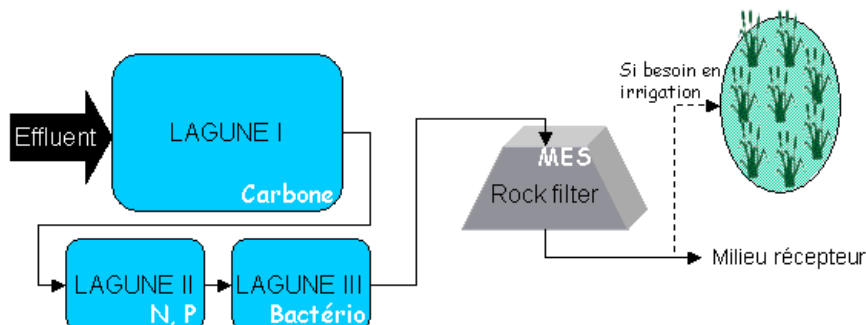


Figure 12 : Filière de Lespignan – fonction de chaque unité et devenir de l'eau traitée

Combinaison 3 : Lits plantés de roseaux et Geoassev

L'intérêt dans ce cas est de combiner deux écotechniques complémentaires : la première (FPR) permet un abattement des MES, opération qui facilite l'épandage ultérieur de l'eau (GEOASSEV).

Le site pilote du Hameau du Pin (commune de Vieussan) permettra de tester cette nouvelle association d'écotechniques. Le projet de la station prévoit un traitement en deux étapes. D'abord un étage de filtres plantés de roseaux à écoulement vertical qui permettra de traiter les MES et une grande partie de la charge carbonée. Ensuite, le traitement secondaire sera assuré par l'épandage souterrain dans la parcelle plantée d'arbres et d'arbustes divers. La station est dimensionnée pour 140EH.

Ce projet auquel participe le département de l'Hérault a pour objectif de protéger un petit cours d'eau sensible, affluent de l'Orb.

Ces exemples montrent la possibilité d'associer différentes écotechniques pour optimiser une filière d'épuration. La complémentarité offre donc des opportunités qu'il s'agira de gérer avec rigueur pour mettre en œuvre les procédés adaptés aux situations rencontrées.

La réussite de la démarche passe par une bonne prise en compte des aptitudes et des limites de chaque procédé (écotechnique ne signifie pas absence de conception et de gestion) pour proposer à chaque cas la combinaison optimale.

CONCLUSIONS / PERSPECTIVES

La réponse au besoin d'assainissement engendré par l'activité humaine a conduit, au siècle dernier, au développement des techniques d'assainissement.

Dans un passé très récent elles se sont sophistiquées et diversifiées. Les méthodes qui mettent en œuvre les processus naturels ont pris une place conséquente grâce aux divers procédés décrits dans l'exposé.

La récente prise de conscience des enjeux de conservation de la planète a repositionné les écotechniques d'assainissement. Adaptées aux contextes et aux ressources locales, elles deviennent des alternatives compétitives car durables : elles permettent de limiter de la consommation d'énergie, de conserver et produire des ressources.

L'assainissement doit désormais aller au delà du simple processus de réduction de la pollution. Il doit aussi devenir un moyen d'action pour rétablir des équilibres fragilisés. Dans ce but les écotechniques utilisant les végétaux (algues, végétaux supérieurs) offrent trois possibilités :

- la production d'oxygène due à l'activité chlorophyllienne des algues ou végétaux qui se développent à partir de la source carbonée et nutritive que constituent les eaux usées ;

- la possibilité d'obtenir une eau traitée d'une qualité telle qu'elle permette sa réutilisation (possibilité offerte également par des procédés industrialisés) ;
- la valorisation directe des eaux usées en biomasse produite, au niveau énergétique ou en tant que matière première, voir même une étape de production alimentaire en prenant les précautions sanitaires adéquates.

Aujourd'hui nous devons donc :

- capitaliser l'expérience assez ancienne sur les techniques de lagunage et les faire évoluer en les adaptant aux besoins actuels et à venir.
- Développer les techniques utilisant les végétaux supérieurs pour exploiter leurs potentialités pour l'épuration et parfois la production.

Les écotechniques nous incitent à repositionner l'assainissement des eaux usées non plus seulement comme une compensation de l'activité humaine mais aussi comme une étape dans une chaîne élargie de production d'énergie, de biomasse et d'eau.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANDRIANARISON T. (2006). Traitement d'effluents urbains dans un système de 11 lagunes. Décontamination microbienne et élimination de l'azote. Thèse. Doct., Montpellier 2. 202 p.

ARCHER H.E., DONALDSON S.A. (2003) Waste stabilisation ponds upgrading at Blenheim and Seddon, New Zealand – case studies. *Wat. Sci. Tech.*, **48**(2), 17-23

ARCHER, H.E. AND O'BRIEN, B.M. (2005). Improving nitrogen reduction in waste stabilisation ponds. *Wat. Sci. Tech.*, **51**(12), 133-138.

BADROT-NICO F. (2007). Modélisation couplée tridimensionnelle des bassins de lagunage. Méthode numérique, calage et validation. Application à l'étude des performances et des processus de stratification et de mélange. Thèse. Doct., Montpellier 2

BALEUX B., TROUSSELIER M. (1983). Evolution des bactéries témoins de contamination fécale et de *pseudomonas aeruginosa* et *aeromonas hydrophila* dans un ouvrage d'épuration des eaux usées par lagunage (Mèze). *Tech. Sci. Mun.* **7**, 361-370.

BONTOUX J., PICOT B. (1994). Possibilités et limites des bassins lagunaires dans l'épuration des eaux. *Water Pollution Research Journal of Canada.* **29**, 4, 545-556.

BRISSAUD F., ANDRIANARISON T., BROUILLET J.L., PICOT B. (2005). Twenty years monitoring of Mèze stabilisation ponds II Removal of faecal indicators. *Wat. Sci. Tech.*, **51**(12), 33-41.

BRISSAUD F., LAZAROVA V., JOSEPH C., LEVINE B. TOURNOUD M.G., (2000). Hydrodynamic behaviour and faecal coliform removal in a maturation pond. *Wat. Sci. Tech.* **42**(10-11), 119-126.

BRISSAUD F., TOURNOUD M.G., DRAKIDES C., LAZAROVA V., (2003). Mixing and its impact on faecal coliform removal in a stabilisation pond. *Wat. Sci. Tech.* **48**(2), 75-80.

CEMAGREF, SATESE, Ecole Nationale de la Santé Publique et Agences de l'Eau. (1997). Le lagunage naturel : Les leçons tirées de 15 ans de pratique en France, Ed. Co-Editions Cemagref Editions, Agence de l'Eau Loire-Bretagne, Antony France 60p

COM(2004)38 – Communication de la Commission au Conseil et au Parlement européen, du 28 janvier 2004, intitulée « Promouvoir les technologies au service du développement durable : plan d'action de l'Union européenne en faveur des écotechnologies ». Journal officiel C98 du 23 avril 2004.

COM (2007)162 – Communication de la Commission, du 2 mai 2007 : Rapport concernant le plan d'action en faveur des écotechnologies (2005-2006). Journal officiel C181 du 03 août 2007.

COPIN Y., BROUILLET, J.L., RIVIERE, Y., BRISSAUD, F. (2004). Waste stabilisation ponds in the wastewater management strategy of a French department. 6th IWA Int. Conf. on Waste Stabilisation Pond., 28 Sept. – 1st Oct., Avignon, France

- DAGNINO S., PICOT B., ESCANDE A., BALAGUER P., FENET H. (2007). Occurrence and removal of endocrine disrupters in small communities wastewater treatment plants. SmallWat07 Wastewater Treatment in Small Communities, 11-15 Novembre, Seville, Espagne
- DICKMANN D.I., ISEBRANDS J.G., ECKENWALDER J.E et RICHARDSON J. (2002). Poplar culture in North America. NRC research Press, 397pp.
- FUSTEC E., FROCHOT B. (1996). Les fonctions et valeurs des zones humides. Laboratoire de géologie appliquée Paris VI, laboratoire d'écologie de Dijon, Agence de l'Eau Seine Normandie, Dunod, 448 pp.
- GOMEZ E., CASELLAS C., PICOT B., BONTOUX J. (1995). Ammonia elimination processes in stabilisation and high rate algal pond systems. *Wat. Sci. Tech.*, **31**(12), 303-312.
- GOMEZ E., PAING J. CASELLAS C. PICOT B., (2000). Characterization of phosphorus in sediments from waste stabilization ponds. *Wat. Sci. Tech*, **42**(10-11), 257-264,
- GOMEZ E., WANG X., DAGNINO S., LECLERCQ M., ESCANDE A., CASELLAS C., PICOT B., FENET H. (2007). Fate of endocrine disrupters in waste stabilization pond systems. *Wat. Sci. Tech.* **55**(11), 157-163.
- IWEMA A., RABY D., LESAVRE J., BOUTIN C., DODANE P.H., LIENARD A., MOLLE P., BEXK C., SADOWSKI G.A., MERLIN G., DAP S., OHRESSER C., POULET J.B., REEB G., WERKMANN M., ESSER D. (2005). Epuration des eaux usées domestiques par filtres plantés de macrophytes – recommandations techniques pour la conception et la réalisation, version n°1. 45 pp, <http://www.lyon.cemagref.fr/qe/epuration/documents/Guide-Macrophytes.pdf>
- JOHNSON M. et MARA D.D. (2005) Aerated rock filters for enhanced nitrogen and faecal coliform removal from facultative waste stabilization. *Wat. Sci. Tech.* **51**(12), 99-102
- KENGNE NOUMSI I.M., BRISSAUD F., AKOA A., ATANGANA ETEME R., NYA J., NDIKEFOR A. ET FONKOU T. (2004). Microphyte and macrophyte-based lagooning in tropical regions, Waste Stabilisation Ponds, 6th International Conference on Waste Stabilisation Ponds Avignon. pp395-403
- LEGENDRE P., BALEUX B., TROUSSELIER M., 1984. Dynamics of pollution –indicator and heterotrophic bacteria in sewage treatment lagoon. *Appl. Environ. Microbiol.* **48**, 586-593
- LIENARD, A., BOUTIN C., MOLLE, P., DODANE, P.H., RACAULT, Y., BRISSAUD F. PICOT, B. (2005). Filtres plantés de roseaux à flux vertical et lagunage naturel en traitement d'eaux usées domestiques en France : comparaison des performances et des contraintes d'exploitation en termes de pérennité et fiabilité. Ingénieries eau-agriculture-territoire, spécial Assainissement, marais artificiels et lagunage : retour d'expérience en Europe, 87-97
- MARA D.D and JOHNSON M.L. (2006). Aerated Rock filters for enhanced ammonia and fecal coliform removal from facultative pond effluents. *Journal of environmental engineering.* **132**(4) pp 574-577
- MEZRIOUI N.E. (1987). Etude expérimentale des effets du pH, du rayonnement et de la température sur la disparition des bactéries d'intérêt sanitaire et évaluation de la résistance aux antibiotiques d'*E. coli* lors de l'épuration des eaux usées. Thèse Doct., Montpellier 2. 171p.
- MOLLE P. (2003). Filtres plantés de roseaux : limites hydrauliques et rétention du phosphore, thèse de doctorat. Université Montpellier II. 280 pp.
- MOREL M.A., KANE M. (2002). Lagunage à macrophytes : une technique permettant l'épuration, le recyclage des eaux valorisées et la valorisation de la biomasse, h2o.net : http://www.h2o.net/magazine/dossiers/infrastructures/urbain/assainissement/lagunage_dakar/francais/cerer_0.htm
- MOUTIN T., GAL J.Y., EL HALOUANI H., PICOT B., BONTOUX J. (1992). Decrease of phosphate concentration in a high rate pond by precipitation of calcium phosphate: theoretical and experimental results. *Wat. Res.*, **26**(11), 1445–1450.
- MULLER S.(2002). Plantes invasives en France, Museum d'Histoire Naturelle, 168 pp.

- PAING J. (2001). Bilan du carbone et du soufre dans le lagunage anaérobie. Contrôle de l'émission d'H₂S pour la réduction des nuisances olfactives. Thèse Doct., Université Montpellier I
- PAING J., PICOT B., SAMBUCCO J.P. (2003). Emission of H₂S and mass balance of sulfur in anaerobic ponds. *Wat. Sci. Tech.*, **48**(2), 227-234
- PHYTOREM (2006), Le bambou assainissement® un dispositif d'affinage pour l'assainissement collectif, www.phytorem.com/Doc/assainissement_collectif.pdf
- PICOT B., BAHLAOUI A., MOERSIDIK S. BALEUX B., BONTOUX J. (1992). Comparison of the purifying efficiency of high rate algal pond with stabilisation pond. *Wat. Sci. Tech.*, **25**(12), 197-206.
- PICOT B., PAING J., TOFOLETTI L., SAMBUCCO J.P., COSTA R.H.R., 2001. Odour control of anaerobic lagoon with a biological cover: Floating peat with plants. *Wat. Sci. Tech.*, **44**, 9, 309-316.
- PICOT B., PAING J., SAMBUCCO J.P., COSTA R.H.R., RAMBAUD A. (2003). Biogas production, sludge accumulation and mass balance of carbon in anaerobic ponds. *Wat. Sci. Tech.*, **48**(2), 243-250
- PICOT, B., ANDRIANARISON, T., GOSSELIN, J.P., BRISSAUD, F. (2005a). Twenty years monitoring of Méze stabilisation ponds. I – Removal of organic matter and nutrients. *Wat. Sci. Tech.*, **51**(12), 23-31
- PICOT B., SAMBUCCO J.P., BROUILLET J.L., RIVIERE Y. (2005b). Waste stabilisation ponds: sludge accumulation technical and financial study on desludging and sludge disposal, case studies in France. *Wat. Sci. Tech.*, **51**(12), 227-234.
- PRATT S., REI MILLER D., BANKER S. et SHILTON A. (2004). Protecting our waterways – research of novel methods for removal of nutrients from wastewaters. <http://www.massey.ac.nz/~wlxu/ITEseminar/talk2004-03attach.pdf>
- RACAULT Y., BOUTIN C. (2005). Waste stabilisation ponds in France: state of the art and recent trends. *Wat. Sci. Tech.*, **51**(12), 1-9
- RESTOUX M., FRIGOUT T. (2006). L'expérience du lagunage dans le département de la Manche. Congrès ASTEE Deauville
- SAMBUCCO J.P., COSTA R.H.R., PAING J., PICOT B. (2002). Influence of load distribution and recycle rate in step-fed facultative ponds. *Wat. Sci. Tech.*, **45**(1), 33-39.
- SAMBUCCO J.P. (2008) Essai d'amélioration de la station d'épuration par lagunage naturel de Creissan par brassage lent. Rapport SATESE Conseil Général 34
- SHILTON, A., ELMETRI, I., DRIZO, A., PRATT, S., HAVERKAMP, R. and BILBY, S. (2006). Phosphorus removal by an 'active' slag filter – a decade of full scale experience. *Water Research*, **40**(1), 113-118.
- SKINNER J., ZALEWSKI S., (1995). Fonctions et valeurs des zones humides méditerranéennes. *MedWet Tour du Valat*, 78 pp.
- TROUSSELIER, M., LEGENDRE, P., BALEUX, B. (1986). Modeling of the evolution of bacterial densities in an eutrophic ecosystem (sewage lagoon). *Microb. Ecol.*, **12**, 355-379.
- US EPA. (2002). Wastewater technology fact sheet – Rock media polishing filter for lagoons, Office of Water, EPA 832-F-02-023, US EPA Washington
- VAN DER STEEN NP., NAKIBONEKA P., MANGALIKA L., FERRER A.V.M. AND GIJZEN H.J. (2002). Effect of the duckweed cover on greenhouse gas emissions and odour release from waste stabilisation ponds, Conference Paper Volume 1, 5th international IWA specialist group conference on WasteStabilisation Ponds, Auckland. pp257-266
- WIANDT S., BALEUX B., CASELLAS C., BONTOUX J. (1995). Occurrence of *Giardia SP.* Cysts during a wastewater treatment by a stabilization pond in the south of France. *Wat. Sci. Tech.*, **31** (12), 257-265