

## Note

# Des macrophytes pour épurer les eaux ?

**Utiliser des macrophytes pour mieux satisfaire les besoins humains est une part importante des recherches qui les concernent. Pour l'épuration des eaux usées et les aménagements associés, qu'en est-il ?**

**L**es macrophytes extraient du milieu environnant (eau, sédiment) les nutriments nécessaires à l'édification de leur organisme. Les plus importants de ces nutriments sont l'azote et le phosphore. Cette extraction retire donc du milieu une part des nutriments disponibles et contribue à ce que l'on a depuis longtemps dénommé « autoépuration » des milieux aquatiques.

Avec le développement de la population humaine, les milieux aquatiques ont servi de plus en plus de récepteurs des effluents domestiques avec des conséquences sans cesse plus visibles. La protection croissante des cours d'eau a donc conduit depuis un peu plus d'un siècle à la création de systèmes d'épuration maintenant bien connus.

En parallèle, les capacités épuratoires « naturelles » de certains milieux aquatiques vis-à-vis de ces eaux usées chargées en matières organiques ont été mieux appréciées et, en particulier, les interfaces entre la terre et l'eau, ont bien été identifiées comme pouvant participer à l'épuration de nos effluents. L'amélioration des connaissances dans ce domaine a fortement participé à la conception de nouveaux systèmes de traitement des eaux s'inspirant des processus naturels, dénommés « marais artificiels » et les premiers bassins de lagunage ont été créés vers le début du vingtième siècle. Ils se sont très largement développés en Europe depuis un demi-siècle. Les algues planctoniques (lagunes à « microphytes ») constituent un compartiment essentiel : effectivement, par les mécanismes de la photosynthèse, les algues fournissent l'oxygène nécessaire à la respiration des bactéries responsables de la dégradation de la pollution.

Au début des années 1950, des travaux expérimentaux menés par K. Siedel à l'Institut Max Planck en Allemagne ont montré l'intérêt que pouvaient également présenter les macrophytes dans l'épuration des effluents domestiques. Ils ont permis la mise en fonctionnement au début des années 1980 de la première station d'épuration française utilisant des roseaux plantés dans des graviers et ne baignant pas en permanence dans une tranche d'eau. D'autres ont suivis et les développements ultérieurs ont permis la mise en place de plusieurs types

d'installations dont, depuis près de deux décennies, les filtres plantés de roseaux (ou FPR) largement distribués en France (Molle, 2004).

Plus récemment, des zones de rejet végétalisées ou ZRV (Boutin, Prost-Boucle, 2012) ont été installées à l'aval immédiat de stations d'épuration. Ces ZRV peuvent être de différents types, installées sur des sols en place avec ou sans surcreusement ou sur des matériaux rapportés mais la plupart, prairies, bassins, fossés et noues, abritent des macrophytes et certains les utilisent clairement comme éléments paysagers attractifs.

Brix (1993) a proposé une classification des divers « marais artificiels » selon les types de macrophytes utilisées, c'est-à-dire enracinées et émergentes, enracinées et immergées et flottantes librement à la surface des eaux.

Les macrophytes immergées ou hydrophytes sont celles qui sont les moins utilisées car leur efficacité est directement liée à une transparence des eaux suffisante pour assurer la photosynthèse. Ces espèces sont donc réservées à des effluents peu chargés en matières en suspension et en nutriments ou dans la partie qui fait suite aux stations d'épuration comme les ZRV. En revanche, les deux autres types de macrophytes sont beaucoup plus largement utilisés.

Le groupe de travail EPNAC (Évaluation des procédés nouveaux d'assainissement des petites et moyennes collectivités) réunit en France depuis 2008 différents acteurs publics de l'assainissement dont le ministère chargé de l'environnement, l'Office national de l'eau et des milieux aquatiques (Onema) et les agences de l'eau (<http://epnac.irstea.fr/>). Il a pour objectif de définir et de diffuser des règles de dimensionnement et de gestion pour améliorer la mise en place de différents procédés novateurs, dont certains reposent sur l'utilisation des macrophytes. Sur ce point, ce groupe a élaboré une fiche synthétique présentant de manière claire et très directe les rôles réels que peuvent jouer les macrophytes dans l'épuration des eaux usées domestiques, afin de ne pas laisser subsister de confusion entre les éventuels rôles épuratoires des plantes et leur intérêt dans l'esthétique globale des installations (Atelier ZRV du groupe de travail EPNAC, 2014).

Après un bilan des connaissances sur les utilisations de ces trois types de macrophytes pour épurer les effluents, nous développerons un argumentaire permettant de mieux clarifier le rôle des végétaux dans l'épuration ainsi que les contraintes induites par leur présence volontaire ou non.

### Les plantes émergées

Également dénommées « hélrophytes », ces plantes sont les espèces les plus communément employées au sein des filières d'épuration dans lesquelles les écoulements hydrauliques diffèrent : plantes installées en eau libre (ou « lagunes à macrophytes ») ou sur des supports variés (gravier, sable) dans des systèmes à écoulements soit verticaux, soit horizontaux (filtres plantés de roseaux à écoulement vertical : FPRv, ou horizontal : FPRh).

Les rôles que peuvent jouer les macrophytes dans ces divers types d'installations sont très divers (tableau 1). En matière d'apports d'oxygène dans le système ou d'extraction de nutriments, ils peuvent être considérés comme négligeables. En revanche, leurs rôles physiques comme maintien des écoulements dans les dépôts de surface est indéniable en FPRv (si le système est alimenté en eaux usées brutes, les roseaux font partie intégrante de la filière technique); le rôle de supports de périphyton de leurs tiges ou de communautés bactériennes de leurs racines ou rhizomes est effectif et contribue à créer une mosaïque bactérienne diversifiée dont le bénéfice n'est pas quantifié précisément par les analyses chimiques caractéristiques de la qualité d'une eau usée traitée.

L'oxygène transporté dans la plante vers les racines est émis en faibles quantités, créant une couche de contact

micro-oxydée à la surface des racines. Cet apport d'oxygène est plus ou moins important selon la nature, l'architecture et le linéaire des racines, rhizomes traçants plus ou moins ramifiés, chevelus très denses de radicelles, etc. Ces systèmes racinaires peuvent s'enfoncer dans les sédiments de quelques centimètres à plus d'un mètre. Le fonctionnement bactérien aérobie localisé créé par ces flux d'oxygène facilite la nutrition de la plante, mais il reste insignifiant vis-à-vis des besoins d'oxygène des communautés bactériennes à l'échelle de l'installation de traitement des eaux usées.

L'assimilation de nutriments par les macrophytes et leur stockage dans la biomasse sont variables selon les espèces et dépassent rarement 1 % des matières sèches pour le phosphore, et 3 à 5 % pour l'azote. C'est pourquoi dans les années 1980, se sont développées des « lagunes à macrophytes » dans l'espoir de parfaire le traitement des eaux. Le bilan réalisé quinze ans plus tard (Racault, 1997) a permis de statuer sur le bien-fondé de telles plantations à partir de situations en fonctionnement réel. Comme seule la biomasse émergée des hélrophytes est récupérable par faucardage, il n'a pas été possible de quantifier vraiment le rôle des macrophytes dans la consommation des nutriments par les installations. En revanche, pour éviter un enrichissement préjudiciable au bon fonctionnement des ouvrages, il était indispensable d'exporter régulièrement la partie émergée des végétaux, augmentant de ce fait les nécessités d'entretien. C'est pourquoi, depuis la fin des années 1990, le développement de lagunes à macrophytes n'est plus conseillé et la plantation volontaire de plantes enracinées reste réduite aux zones d'accès faciles pour l'entretien.

1 Rôles majeurs des macrophytes dans les marais artificiels (traduit et adapté de Vymazal, 2013).

Partie des plantes	Rôle	LAG	FPRv	FPRh
Partie aérienne	Atténuation de la lumière, réduction de la photosynthèse dans les eaux	x		
	Influence du microclimat, isolation (hiver ou été)	x	x	x
	Réduction de la vitesse du vent et du risque de remise en suspension des sédiments	x		
	Évapotranspiration estivale	x	x	x
	Aspect esthétique positif du système	En été		
	Stockage d'éléments nutritifs	En cycle végétatif		
Partie immergée	Réduction de la vitesse du courant et augmentation du taux de sédimentation, réduction du risque de remise en suspension	x		x
	Production d'oxygène photosynthétique	x		x
	Absorption des éléments nutritifs	x		x
	Augmentation de surface de fixation du périphyton	x		x
Racines et rhizomes dans les sédiments ou les dépôts de surface	Stabilisation de la surface des sédiments, réduction de l'érosion	x		
	Prévention du colmatage dans les systèmes à écoulements verticaux, effet de filtre des gros déchets		x	
	Augmentation de surface de contact pour les développements bactériens		x	x
	Libération d'oxygène augmentant la nitrification et la dégradation bactérienne	x	x	x
	Absorption des éléments nutritifs	x	x	x
Production d'antibiotiques, de phytometallophores* et de phytochélatines*	x	x	x	

LAG : lagune à macrophytes ; FPRv : filtre planté de roseaux à écoulement vertical ; FPRh : filtre planté de roseaux à écoulement horizontal.  
\*exsudats racinaires assurant la tolérance des plantes aux ions métalliques.

► Les rôles physiques des hélophytes peuvent être plus significatifs. En particulier, les rhizomes facilitent les écoulements dans les dépôts de sorte à permettre une accumulation de ces derniers sur une hauteur de 15 à 20 cm sans extraction. Dans des installations où seules les berges sont colonisées, la densité des tiges d'hélophytes peut réduire notablement les impacts des vents et des vagues, réduisant de même les remises en suspension des sédiments et l'érosion des berges.

De telles installations se sont multipliées dans la plupart des régions du monde. Dans un bilan récent sur les systèmes utilisant des plantes émergées, Vymazal listait près de 150 espèces dans 643 sites répartis sur 43 pays.

Par ordre décroissant, les plantes les plus utilisées appartiennent aux genres *Typha* (massettes), *Scirpus* (scirpes), *Phragmites* (roseaux), *Juncus* (joncs) et *Eleocharis* (éléocharis). Mais de fortes disparités existent entre les continents : par exemple, les massettes et les scirpes sont très largement dominants en Amérique du Nord alors que les roseaux sont majoritairement employés en Europe. Les roseaux utilisés en FPRv présentent le grand intérêt de supporter des phases de saturation et de non saturation tout en développant des systèmes racinaires très ramifiés qui contribuent à assurer les continuités hydrauliques entre dépôt et gravier. En FPRh, la lame d'eau est constante, et éventuellement variable selon l'évapotranspiration. De nombreux sites abritent des mélanges variés d'espèces. Les effluents que doivent traiter ces marais artificiels sont très divers : eaux usées domestiques ou industrielles, rejets agricoles diffus, rejets miniers, etc. Enfin, Vymazal indique qu'à part les massettes, prédominantes dans les traitements des eaux de drainage des industries minières, aucune plante ne semble spécifiquement réservée à un usage particulier.

### Les plantes flottantes

Certaines espèces flottantes des zones tempérées comme certaines lentilles d'eau (*Lemna* spp) ou tropicales telles que la laitue d'eau (*Pistia stratiotes*) ou la jacinthe d'eau (*Eichhornia crassipes*) présentent des productivités élevées. Les lentilles d'eau, indigènes ou exotiques, des zones tempérées produisent des biomasses assez importantes et se développent très facilement à la surface des eaux où la petite taille de leurs frondes facilement entraînables par les vents les empêche toutefois de couvrir intégralement des plans d'eau de grandes superficies. De plus grande taille, les deux espèces tropicales sont capables de produire d'importantes quantités de biomasse et, en colonisant de très nombreux milieux stagnants quelquefois très vastes, sont considérées comme des espèces invasives dans la plupart des pays où elles sont installées.

Dans des conditions optimales, c'est-à-dire dans des milieux sans facteur limitant (lumière, nutriments) et avec des récoltes permanentes, la jacinthe d'eau peut ainsi produire plus de 150 tonnes de matières sèches par hectare et par an, ce qui en fait une des plantes les plus productives au monde.

Dans le courant des années 1970, cette capacité de production a amené la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) à mettre en place un vaste programme de recherche sur les capacités de cette espèce à extraire les polluants des eaux et sur les possibilités de

transformer la plante produite en source de nourriture. L'objectif de ces recherches était d'évaluer les potentialités d'utilisation de cette espèce dans des systèmes clos tels que les stations spatiales permanentes envisagées à l'époque (Wolverton, 1978).

Les résultats publiés de ces travaux, montrant par exemple des rendements épuratoires en zone tropicale de plus de 70% pour l'azote et de près de 60% pour le phosphore, ont déclenché des programmes de recherche dans d'autres pays, dont la France. Au début des années 1980, des laboratoires de l'INRA ont alors développé des recherches destinées à évaluer les potentialités de production de biomasse et d'extraction de nutriments de eaux de cette espèce en climat tempéré, en conditions naturelles et, en coopération avec EDF, dans des bassins recevant les eaux chaudes de centrales électronucléaires. Des évaluations des réponses de la plante à des élévations de teneur en CO<sub>2</sub> atmosphérique en conditions contrôlées et de ses potentialités d'utilisation en nourriture animale sont venues compléter ces recherches.

Cette source potentielle de nourriture animale est d'ailleurs une des raisons qui avaient fait se mettre en place, à peu près à la même époque, des recherches sur les lentilles d'eau (*Lemna* spp). Le nom anglais de ces plantes (« duckweed », herbe à canards) y est peut-être pour quelque chose... Parmi les autres raisons de l'intérêt qui leur a été porté figuraient leur caractère indigène (pourquoi aller nécessairement chercher des plantes exotiques?), leur productivité annuelle non négligeable, pouvant atteindre 10 tonnes de matières sèches par hectare en climat tempéré et des teneurs en protéines pouvant atteindre 40% des matières sèches. Une autre raison était leur présence inattendue sur certaines des lagunes à microphytes qui commençaient à être installées pour épurer les eaux usées domestiques de petites collectivités. Dans ces lagunes, leurs développements étaient, et sont toujours, analysés comme des nuisances car leur couverture totale des bassins de lagunage empêche toute photosynthèse phytoplanctonique et donc limite fortement le rendement épuratoire des installations par absence de développement bactérien aérobie (acteur majeur de la dégradation des matières organiques). Pour atteindre l'efficacité recherchée, leur extraction régulière des sites est nécessaire.

Des recherches ayant des objectifs similaires à celles sur la jacinthe d'eau ont donc été développées, principalement en Europe. Dès le début des années 1980, des études ont été notamment réalisées par le Cemagref (désormais Irstea) pour évaluer les capacités d'absorption de ces espèces, montrant des rendements épuratoires dépassant 30% pour l'azote et 40% pour le phosphore. Ces travaux ont également permis de mesurer les différences de production pouvant exister entre différentes espèces, avec par exemple une productivité de la lentille bossue (*Lemna gibba*) presque deux fois supérieures à la petite lentille (*Lemna minor*). Une synthèse bibliographique avait d'ailleurs été diffusée à l'époque pour faire un point complet sur la biologie, l'écologie des lentilles d'eau et leur « utilisation en phyto-épuration et valorisation » (Hubac *et al.*, 1984).

Une des facilités d'utilisation des plantes flottantes dans les installations destinées à épurer des effluents est le fait qu'il leur suffit de bassins en eaux, même peu profonds,

pour se développer. À notre connaissance, la jacinthe d'eau a seulement été utilisée dans quelques sites industriels en métropole pour épurer des eaux résiduaires provenant par exemple de papeteries. En revanche, il est nécessaire de les récolter régulièrement, dès que leur couverture des eaux est totale, afin d'optimiser leurs rendements épuratoires et cette extraction indispensable est une contrainte de gestion très importante.

Divers essais de techniques de récupération systématique des lentilles d'eau dans les lagunes d'épuration en métropole ont été réalisés, tels que pompage, barrages flottants, etc., mais ont été pour la plupart considérés comme particulièrement complexes, en particulier à cause du comportement des frondes des lentilles d'eau, se collant les unes aux autres, empêchant par exemple leur pompage, et difficiles ensuite à extraire du site. L'extrême rapidité de leur développement qui nécessiterait des récoltes très fréquentes pouvant être bimensuelles en été génère donc des taches d'entretien jugées très lourdes par nombre de collectivités. À l'heure actuelle, les lentilles d'eau sont toujours considérées comme des nuisances dans les lagunages naturels et les bassins à microphytes.

### En guise de conclusion

L'évolution sur quelques décennies des procédés extensifs d'épuration des eaux usées a donc comporté une phase de nature expérimentale où les recherches ont principalement porté sur les capacités épuratoires de diverses espèces de macrophytes, indigènes ou exotiques. La phase de développement technique qui a suivi a fini par sélectionner espèces et procédés en optimisant gains potentiels et besoins d'entretien régulier des installations. C'est ce qui a conduit en métropole au seul développement important d'installations utilisant des espèces enracinées émergées. Même si ces macrophytes ne jouent de rôles réels qu'en tant que supports de périphyton et d'autres communautés vivantes, dont les invertébrés, et de régulateurs de dynamique des eaux, la biomasse qu'ils produisent doit être régulièrement exportée pour permettre un fonctionnement durable des installations. Négligée dans un premier temps lors du développement des lagunes à macrophytes, cette nécessité est clairement intégrée dans les projets de développement actuels des ZRV.

Le choix des espèces a aussi notablement évolué, ne recourant qu'à des espèces indigènes de manière à exclure tout risque d'invasion biologique : les premières recherches en métropole sur la jacinthe d'eau n'avaient pas du tout pris en compte ce risque, allant même jusqu'à tenter d'identifier des clones pouvant se développer dans des conditions de lumière moins favorables que les zones tropicales.

Enfin, dans l'argumentaire développé sur les intérêts des ZRV figure en très bonne place l'aspect esthétique des installations qui est amélioré par la présence des macrophytes (photo 1). En complément de leur rôle dans l'augmentation de la biodiversité locale (floristique et faunistique), ils deviennent éléments de paysage, rendant moins perceptible la nature même des stations d'épuration (ou usine d'épuration, pour certains) au profit d'une intégration apparemment naturelle permettant même le



1 Zone de rejet végétalisée aménagée en aval d'une station d'épuration, sur la commune de Marguerittes dans l'Hérault.

© C. Boutin (Iristea)

développement d'externalités positives telles que usages récréatifs ou pédagogiques qui sont déjà développés dans certaines installations. C'est dans ce contexte que l'Onema a engagé un programme de recherche sur la période 2013-2018 dans le but de préciser les capacités épuratoires réelles des ZRV en lien avec des critères de dimensionnement et les contraintes d'exploitation. ■

### Les auteurs

#### Catherine BOUTIN

Iristea – UR MALY – Milieux aquatiques, écologie et pollutions  
5 rue de la Doua – CS70077 – F-69626 Villeurbanne – France

✉ [catherine.boutin@irstea.fr](mailto:catherine.boutin@irstea.fr)

#### Alain DUTARTRE

21 avenue du Médoc – F-33114 Le Barp – France

✉ [adutartre.consultant@free.fr](mailto:adutartre.consultant@free.fr)

### EN SAVOIR PLUS...

- **Atelier ZRV du groupe de travail EPNAC**, 2014, Lumière sur le véritable rôle des végétaux dans le traitement des eaux usées, 4 p, <http://epnac.irstea.fr/wp-content/uploads/2012/08/Role-des-vegetaux-dans-le-traitement-des-eaux-usees1.pdf>
- **BOUTIN, C., PROST-BOUCLE, S.**, 2012, Les zones de rejets végétalisées, *Sciences, Eaux & Territoires*, n°9, p. 36-43, [en ligne], disponible sur : <http://www.set-revue.fr/les-zones-de-rejet-vegetalisees> (consulté le 18/11/2014).
- **BRIX, H.**, 1993, Wastewater treatment in constructed wetlands: systems design, removal processes, and treatment performance, *in: Constructed wetlands for water quality improvement*, Ed. GÉRALD, A., MOSHIRI, Ph D., p. 9-22.
- **HUBAC, J.-M., BEUFFE, H., BLAKE, G., CORRADI, M., DUTARTRE, A., VAUCOULOUX, M., VUILLOT, M.**, 1984, Les lentilles d'eau ou lemnaées. Utilisation en phyto-épuration et valorisation, Groupe européen Macrophytes-Microphytes, Association française pour l'étude des eaux, 115 p.
- **MOLLE, P., LIÉNARD, A., BOUTIN, C., MERLIN, G., IWEMA, A.**, 2004, Traitement des eaux usées domestiques par marais artificiels : état de l'art et performances des filtres plantés de roseaux en France, *Ingénieries-EAT*, numéro spécial 2004, p. 23-32.
- **RACAULT, Y., BOIS, J.-S., CARRE, J., DUCHÈNE, P., LEBAUDY, B., LESAVRE, J., LICKEL, P., RATEAU, M., VACHON, A.**, 1997, *Le lagunage naturel : les leçons tirées de 15 ans de pratique en France*, Cemagref Éditions, Antony, 60 p.
- **VYMAZAL, J.**, 2013, Plants in constructed, restored and created wetlands, *Ecological Engineering*, n° 61, p. 501-504.
- **WOLVERTON, B.C., MCDONALD, R.C.**, 1978, The water Hyacinth: from prolific pest to potential provider, *Ambio*, vol. 8, n° 1, p. 2-9.