



ZONES HUMIDES & ASSAINISSEMENT



Introduction

Face à la pression anthropique* exercée par une croissance démographique et une politique d'aménagement forte dans le département de la Haute-Savoie, les zones humides naturelles se retrouvent sollicitées par certaines collectivités pour leur pouvoir épuratoire mais aussi pour le faible coût d'investissement et d'entretien de celui-ci. Ainsi, certaines de ces collectivités souhaiteraient rejeter leurs eaux usées domestiques, ou leurs eaux pluviales, dans les zones humides naturelles en espérant qu'elles y soient traitées, avant de rejoindre naturellement un cours d'eau.

Le présent document a pour objet de vous informer des atteintes irréversibles qu'une telle pratique pourrait avoir sur les zones humides naturelles si elle n'est pas encadrée et de vous présenter des solutions alternatives que sont les créations de zones de rejets végétalisées.

Le traitement des eaux industrielles ne sera pas abordé dans ce guide, la modélisation des filières de traitement de ces eaux est en cours de développement ou de validation et est spécifique aux types d'effluents industriels.



2015 – Marie Lamouille-Hébert et Léa Huchon
Pour la FRAPNA Haute-Savoie
84 route du Viéran – PAE de Pré-Mairy 74370 Pringy
Tél : 04. 50. 67. 37. 34

Sommaire

Introduction

Partie 1 : Généralités

Quelques chiffres	2
Quels types d'eaux sont traités par les collectivités ?	3

Partie 2 : Les zones humides : une capacité d'épuration naturelle à préserver

Un peu d'histoire : les zones humides en France	4
Une définition des zones humides.....	5
Les différentes zones humides que l'on peut trouver sur le territoire Rhône-Alpes	6
Les fonctions des zones humides : les services que nous en tirons	8

Partie 3 : Les zones humides naturelles

La découverte du pouvoir épuratoire des zones humides naturelles	10
Recherches scientifiques : quelles avancées sur le pouvoir épuratoire de ces zones naturelles ? ..	12
Le rôle des zones humides naturelles dans la rétention et l'élimination de certains éléments	13
L'azote.....	13
Le phosphore	15
Les micropolluants.....	17
Quels sont les effets de ces composés sur les zones humides ?	22

Partie 4 : Les zones de rejets végétalisées

Les zones de rejets végétalisées	24
---	----

Conclusion	27
-------------------------	----

Glossaire	28
------------------------	----

Bibliographie	30
----------------------------	----



Partie 1 : Généralités

Quelques chiffres

En région Rhône-Alpes :

La Haute-Savoie est le second département après le Rhône en termes de densité avec **159 habitants au km²** en 2006.

En 2006, la population Haut-Savoyarde est de **696 000 habitants**, elle a augmenté de **10% en 7 ans**. (Source : INSEE)

Dans le monde :

Plus de **1 000** zones humides, artificielles ou non, étaient gérées pour épurer les eaux en 1995. (Fustec et al., 2000)



Source : Cartograf

Que contiennent les eaux usées domestiques ?

La pollution journalière d'une personne consommant 150 à 200 litres d'eau représenterait :

- **90 grammes** de matières organiques ou minérales en suspension.
- **57 grammes** de matières oxydables (déterminent la demande biologique en oxygène : DBO*)
- **15 grammes** de matières azotées
- **2-3 grammes** de phosphore (source INRA Thonon 2014)
- **0,23 gramme** de résidus de métaux lourds (plomb, mercure...)
- **0,05 gramme** de composés (fluor, brome,...)
- **1 à 10 milliards** de germes (coliformes fécaux) par 100ml
(Source : cieau pour l'ensemble des chiffres affichés sauf pour le phosphore)



Source : flickr.com

Quels types d'eaux sont traités par les collectivités ?



Les eaux usées domestiques incluent deux types d'eaux usées :

Les eaux grises (ménagères) :

Elles sont issues de la cuisine, de la salle de bains et des machines à laver. Elles sont chargées en savons, détergents et graisses.

Les eaux noires (eaux-vannes) :

Ce sont les eaux provenant des toilettes. Elles contiennent les matières fécales et l'urine qui contiennent du phosphore, de l'azote, de l'ammoniac et peuvent être porteuses d'organismes pathogènes. (<http://assainissement.comprendrechoisir.com/>)

Ainsi les **eaux usées** domestiques ont pour caractéristiques : une forte teneur en matières organiques, en *DBO₅, en *DCO et en matières en suspension (MES), leur concentration en azote et en phosphore, et la présence de microorganismes pour certains pathogènes. (Brouillet et al., 2008)



Les eaux pluviales : sont appelées eaux pluviales, les eaux provenant des précipitations, de la fonte des neiges et de la grêle ayant touchées le sol, de toutes natures qu'il soit, et sur lequel elles vont ensuite ruisseler et se charger de toutes sortes de matières. (Source : dictionnaire environnement)

Eaux pluviales
Photo de Léa HUCHON

Partie 2 : Les zones humides : une capacité d'épuration naturelle à préserver

Un peu d'histoire : Les zones humides en France

De l'époque gallo-romaine au XVIII^{ème} siècle, certaines zones humides drainées servent pour le maraîchage mais aussi pour les cultures de lin, du chanvre, la production de foin de marais (blache), litière pour les animaux.. Les zones humides non drainées sont des lieux de chasse, de pêche, de cueillettes et de défense naturelle contre les assaillants.

Au XVIII^{ème} siècle, l'homme assoie sa volonté de dominer la nature et entreprend de nombreux travaux hydrauliques pour maîtriser les eaux. De même, c'est à cette époque que les zones humides sont jugées comme des milieux malsains (dû à la présence des moustiques) et sources de toutes sortes de maladies.

Depuis, l'homme exerce une forte pression sur les zones humides avec : l'intensification des pratiques agricoles, l'expansion d'aménagements hydrauliques inadaptés, les opérations d'assèchement et de drainage, l'urbanisation et les infrastructures de transport.
(<http://wikhydro.developpement-durable.gouv.fr/>)

Dans les années 1990, un constat alarmant est dressé : « Près de 67 % des zones humides métropolitaines ont disparu depuis le début du XX^{ème} siècle dont la moitié entre 1960 et 1990. »
Face à ce constat, le législateur déclare en 1992 la préservation des zones humides d'intérêt général (Loi n° 92-3 du 3 janvier 1992 sur l'eau).
En 1995, un premier plan d'actions en faveur des zones humides est mené.
(http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/DGALN_bilan_ZH95_2008.pdf)

Une définition des zones humides :



Les zones humides sont des espaces de transition entre terre et eau. Le code de l'environnement les définit 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 ». Le terme « zones humides » inclut de nombreux types de paysages : les tourbières, les marais, marais salés, les prairies humides, les lacs, les lagons... La loi sur le développement des territoires ruraux de 2005 prévoit que les différents critères constitutifs de cette définition soient précisés par décret. Les décrets du 24 juin 2008 et du 1^{er} octobre 2009 ont établi et modifié respectivement les critères de définition des plantes hygrophiles et des terrains gorgés d'eau.

(http://www.zoneshumides.eaufrance.fr/sites/default/files/fiche_01_0.pdf)

Étangs des Alaines.

Source : Syndicat mixte du marais de Saône (25)

Les différentes zones humides que l'on peut trouver en Rhône-Alpes :

Les zones humides de plaines alluviales

Sous ce nom, sont regroupées les ripisylves* et les plaines alluviales. Ces zones sont situées en fond de vallée des fleuves et des rivières.

Plaine alluviale de la Moselle

Photo de Guillaume LAHACHE



Les marais et tourbières de plaines et plateaux

« Milieux humides déconnectés des cours d'eau et plans d'eau, pouvant être temporairement exondés plus ou moins connectés à la nappe ».

Dans le bassin Rhône-Méditerranée, on peut trouver des tourbières hautes, des bas marais alcalins, (cf inventaire du CEN Rhône-Alpes)...

Tourbière protégée (La Bresse).

Photo de Christian AMET.



Milieux amphibiens.

Source : Syndicat mixte du marais de Saône (25)

Les régions d'étangs

Les étangs peuvent communiquer entre eux permettant ainsi les échanges aussi bien hydriques, de minéraux et de matières organiques.

Étangs d'Outines et d'Arrigny.
Photo de JP. Formet



Les bordures de plans d'eau

Les plans d'eau comme les lacs par exemple, permettent la formation de zones humides le long de leurs berges.

Source de la Buège
Photo de Guillaume LAHACHE

Les zones humides artificielles

Il s'agit de milieux humides d'eau douce créés artificiellement. Ces zones humides n'ont pas été créées volontairement comme dans le cas des étangs ; il s'agit de milieux apparus dans le cadre de travaux ayant d'autres motivations (production d'électricité, de granulats, transferts d'eau pour l'agriculture,...). Cette définition réunit des sous-types très différenciés : bordures de retenues, zones humides issues d'extraction, zones humides de sols compacts, canaux de drainage, canaux d'irrigation, ...

Extrait du guide technique SDAGE n°5 :
<http://sierm.eaurmc.fr/sdage/documents/guide-technique-sdage-5.pdf>

Les fonctions des zones humides : les services rendus



Lors des crues du fleuve Rhône, cette zone permet à l'eau de se répandre rapidement et d'éviter ainsi les inondations à l'aval.

Grand parc de Miribel-Jonage

Photo de SEGAPAL/ F. GUY

Les zones humides remplissent une autre fonction : la **fonction biodiversité**. Elles permettent le développement d'une vie végétale et animale diversifiée et originale.

Il faut savoir que « 30% des espèces végétales protégées ou en danger sur le territoire métropolitain se développent dans les zones humides qui occupent environ 3% du territoire » ce qui montre leur importance en terme de biodiversité. La végétation des milieux humides permet de stabiliser et de protéger les sols contre l'érosion, maintenant ainsi les berges des cours d'eau, les rives des lacs...

Les zones humides servent également d'habitat, de lieux de reproduction, de repos et de garde-manger aux animaux. Elles sont ainsi essentielles aux oiseaux migrateurs comme escales de repos et de prise de nourriture durant leur périple. La diversité des espèces rencontrées en zone humide est garante du maintien de ses différentes fonctionnalités.

(http://www.forum-zones-humides.org/iso_album/bernard-clement-fonctions-zones-humides.pdf)

Certaines zones humides comme celles riveraines de cours d'eau ou les plaines alluviales sont reconnues pour leurs **fonctions hydrologiques**, car elles jouent un rôle régulateur du débit de l'eau à l'échelle du bassin par exemple.

En effet, les zones humides alluviales peuvent servir aussi bien de zones d'expansion de crues que de soutien d'étiage* ou au rechargement en eau douce des nappes souterraines.

(<http://sierm.eaurmc.fr/sdage/documents/guide-technique-sdage-5.pdf>)

Sur la haute vallée de l'Aude, une corrélation a été faite entre pourcentage de zones humides et débit en sortie de bassin : les volumes d'eau transitant et restitués progressivement au bassin versant sont évalués entre 22 et 34 millions de mètres cubes chaque année. (<http://www.smamar.fr/les-sage/la-carte-des-sage-du-bassin-versant/sage-de-la-haute-vallee-de-laude/>)

Drosera rotundifolia

Photo de Jack O'Neill



Grenouille verte.

Photo de Guillaume LAHACHE



La troisième fonction majeure est **physique et biogéochimique** : les zones humides sont considérées comme des « filtres naturels » (à l'image des reins dans le corps humain) des bassins versants. Elles favorisent les dépôts de sédiments et emmagasinent des matières minérales et organiques, en transformant certaines par dégradations biochimiques et peuvent ensuite les restituer sous une autre forme à l'environnement.

(<http://sierm.eaurmc.fr/sdage/documents/guide-technique-sdage-5.pdf>)

Petit rappel : Disposition 6B-04 du SDAGE en cours et à venir pour préserver les zones humides en les prenant en compte dans les projets

Conformément au code de l'environnement, au code de l'urbanisme et à la politique du bassin en faveur des zones humides, les services de l'Etat s'assurent que les enjeux de préservation des zones humides sont pris en compte lors de l'élaboration des projets soumis à autorisation ou à déclaration au titre des articles L. 214-1 à L. 214-6 du code de l'environnement. Ils vérifient notamment que les documents d'incidence prévus au 4° de l'article R. 214-6 ou R. 214-32 du même code pour ces projets qualifient les zones humides par leurs fonctions.

Après étude des impacts environnementaux et application du **principe éviter, réduire, compenser**, lorsque la réalisation d'un projet conduit à la disparition d'une surface de zones humides ou à l'altération de leurs fonctions, les mesures compensatoires prévoient la remise en état de zones humides existantes ou la création de nouvelles zones humides d'une surface à hauteur de 200 % de la surface perdue selon des règles définies dans ce même document.

Il est indispensable de préserver les zones humides existantes actuellement et de tout mettre en œuvre pour limiter les dégradations fonctionnelles de ces milieux fragiles. Effectivement, le rôle auto-épuratoire des zones humides est limité et sert principalement au maintien de son propre équilibre qui bénéficie au bon état des ressources en eau des bassins versants.

En premier lieu, cette fonction épuratoire a été étudiée pour caractériser les capacités de rétention et/ou d'élimination des zones humides naturelles vis-à-vis de l'azote, du phosphore et de certains micropolluants. Mais ce rôle épuratoire s'étant avéré limité dans le temps (saturation) et spécifique à la zone humide étudiée, des recherches ont été menées pour développer des zones de rejet végétalisées (ZRV) destinées à la dépollution des eaux usées domestiques (en traitement tertiaire) et pluviales.



Partie 3 : Les zones humides naturelles

La découverte du pouvoir épuratoire des zones humides naturelles

L'utilisation des plantes pour leur pouvoir épuratoire dans la dépollution de l'eau est connue depuis l'Antiquité. En effet, les Grecs et les Romains puis les Chinois ont traité la pollution des eaux avec des plantes de type macrophytes (plantes aquatiques). Cependant, les études scientifiques à ce sujet ont commencé tardivement, les premières recherches ont eu lieu à partir de 1950 en Allemagne. Les études ont montré que ce ne sont pas que les plantes qui ont un pouvoir dépolluant mais aussi les bactéries situées autour de leurs rhizomes (tiges souterraines horizontales).

En France, l'IRSTEA et des entreprises comme Epur Nature ont développé depuis les années 1990 des systèmes de traitement des eaux par les plantes. (Source : Bonnarme, V. et Illovic, S., 2012).

Cette technique de dépollution des eaux par les plantes et leurs interactions avec le sol et les microorganismes est appelée la **phytoépuration**.

Encart 2

L'exemple de Calcutta

La ville utilise des zones humides naturelles pour épurer ses eaux usées urbaines : Calcutta compte environ 4,5 millions d'habitants mais ne possède pas de stations d'épurations pour traiter ses eaux usées. Depuis plus de 100 ans, elle utilise une étendue de zones humides naturelles « East Calcutta Wetlands » située à 10 km de la ville pour recycler ses eaux usées qui sont également exploitées pour l'agriculture et l'aquaculture. (<http://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD0809/bei/beiere/groupe4/node/286>)

Vue aérienne des zones humides de Calcutta
Source : farm3.static.flickr.com

Attention : Rappel dans les définitions :

Les zones humides naturelles ne sont pas des zones de rejets végétalisés (ZRV)

Les premières reçoivent les eaux naturelles de leur bassin versant. Les ZRV reçoivent des eaux dirigées par l'homme : il n'y a donc pas de présence prolongée d'eau d'origine naturelle. Par définition : ce ne sont donc pas des zones humides.



Encart 3

Exemple de la ville de New York : quand l'homme prend conscience du rôle de la biodiversité.

Dans les années 1900, la ville de New York était en pleine explosion démographique, pour répondre à la demande en eau toujours plus importante, elle étendit ses zones de captages jusqu'aux monts Catskills d'où elle expropria et déplaça des centaines de familles pour créer des lacs artificiels.

Les années 1980 marquèrent l'augmentation de l'agriculture industrialisée avec l'utilisation massive d'engrais et l'érosion des sols provoquant alors des pollutions des eaux dans la région de Catskills. De plus, pour survivre économiquement, les exploitants vendirent des bois ce qui induit le développement de zones urbaines vers les zones de captages et augmenta les pollutions.

Ainsi, dans les années 1990, New York connut une pollution des sols et des nappes phréatiques sans précédent due aux pollutions agricoles (pesticides et engrais minéraux), industrielles et domestiques, l'eau provenant des monts de Catskills devint impropre à la consommation humaine et la ville fut donc contrainte d'accroître le traitement des eaux pour l'utiliser.

La première option envisagée fut la construction d'infrastructures pour traiter les eaux mais son coût de construction estimé entre 6 et 8 milliards de dollars ainsi que son coût d'entretien de 300 millions de dollars furent jugés trop importants. De plus, Albert F. Appleton et son équipe du service de l'eau et des égouts estimèrent qu'il fallait d'abord régler le problème à l'amont, c'est-à-dire dans la région des Catskills avant de dépenser des sommes importantes dans la construction de filtres pour dépolluer les eaux. La ville de New York décida alors de se tourner vers la restauration de l'écosystème dégradé des montagnes Catskills d'où elle tirait son eau, projet nettement moins cher. Pour cela, différents projets de préservation et de gestion de la forêt des Catskills ainsi que des zones environnantes furent instaurés, associés à une surveillance accrue des activités agricoles de la région. De cette initiative, découla le programme Forever Wild dont l'objectif est de préserver toutes les zones d'importance écologique dans les cinq arrondissements de New York. L'eau de New York est considérée désormais comme « une des meilleures eaux potables du monde », le réseau d'eau de New York apporte 4,5 milliards de litres d'eau potable à près de 9 millions de personnes.

(Source : <http://eau-iledefrance.fr/>)



New York City
Photo de William Warby

Recherches scientifiques : quelles avancées sur le pouvoir épuratoire des zones humides naturelles ?

Les connaissances scientifiques sur la régulation des nutriments, comme l'azote et le phosphore, par les zones humides, ont évolué de manière significative depuis les années 1980. De nombreux chercheurs ont pu établir le cycle de ces nutriments dans les zones humides et la capacité de stockage de ceux-ci par le milieu. Ainsi, on sait que la plupart des zones humides retiennent et transforment des quantités significatives de phosphore et d'azote, contribuant ainsi à l'épuration de l'eau. Ces capacités de stockage et d'épuration, ont été utilisées tout d'abord pour pallier aux pollutions d'origines domestiques, avec parfois des succès mitigés et peu durables puis sauvées du drainage pour leur capacité à réduire les teneurs en nitrates des eaux des bassins agricoles.

A partir de ces constats, des techniques ont été développées pour reproduire ces services dans des dispositifs créés spécifiquement par l'homme. Ce sujet sera abordé dans la 4ème partie portant, entre autres, sur les zones de rejets végétalisées.

Le pouvoir épuratoire des zones humides est basé sur deux fonctions : **la fonction « tampon »**, qui correspond à l'interception et à la rétention du phosphore, des métaux, des pathogènes et des phytosanitaires et **la fonction « épuratoire »** qui correspond à la dénitrification de l'azote (transformation sous forme gazeuse) et de façon moindre et encore mal connue, la biodégradation des micropolluants organiques (pesticides). Néanmoins, il semble important de noter que les éléments peuvent être déstockés par différents processus comme par exemple le drainage.

Exemple

Une synthèse fait l'évaluation des fonctions épuratrices assurées par les zones humides ordinaires (« milieux humides de faible étendue ou mal identifiés, ne bénéficiant pas d'un statut de zones protégées »). Il faut savoir que dans les zones humides, l'épuration est réalisée par les **végétaux** et par les **microorganismes présents dans le sol** : les phosphates et les nitrates sont stockés dans la biomasse après assimilation biologique, les nitrates sont par ailleurs dénitrifiés biologiquement, les pesticides sont partiellement fixés sur les colloïdes (argile et humus) et partiellement biodégradés par des microorganismes.

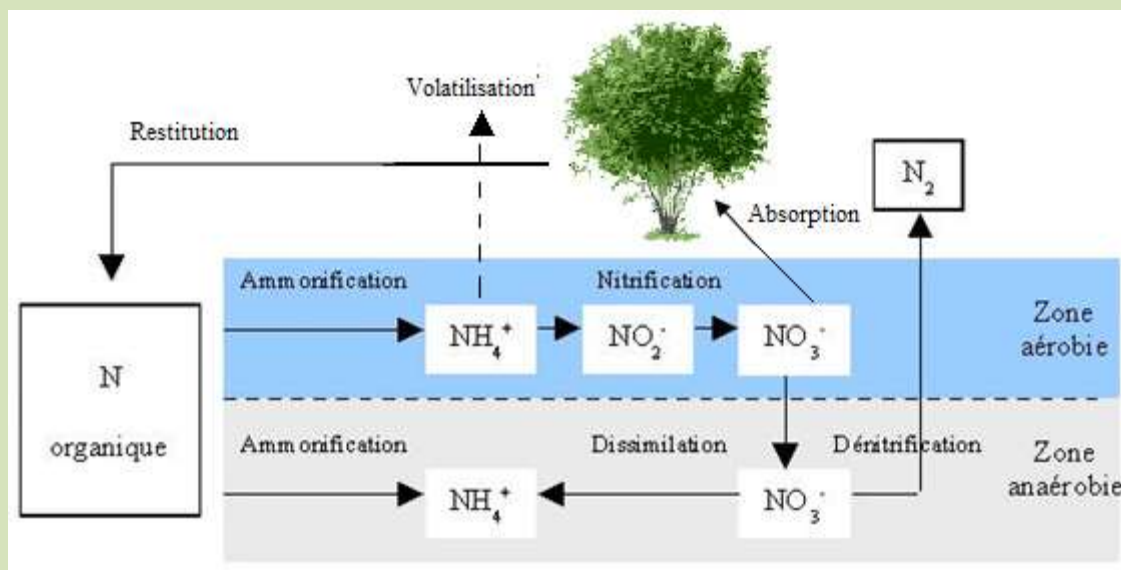
(<https://www.agroparistech.fr/IMG/pdf/Mathieu.pdf>)

Le rôle des zones humides naturelles dans la rétention et l'élimination de certains éléments.

La popularité du rôle épurateur des zones humides a pour origine des études sur le cycle de l'azote et du phosphore dans ces milieux mais aussi sur le devenir des micropolluants.

L'Azote

Le cycle de l'azote :



L'azote se retrouve majoritairement sous 3 formes : ammonium (NH_4^+), nitrate (NO_3^-) et organique (N). En zone aérobie, c'est-à-dire en présence d'oxygène dans le sol, l'azote organique peut être minéralisé en nitrate (NO_3^-) par les processus d'ammonification puis de nitrification. En zone anaérobie, seul le processus d'ammonification est possible, si les conditions sont très réductrices, le nitrate peut être en retour transformé en ammonium via la dissimilation. Le nitrate étant la forme la plus disponible pour les plantes, il sera alors absorbé par les plantes. Celui-ci peut aussi subir la dénitrification, phase pendant laquelle, il va être réduit en azote gazeux (N_2).

Dans le cas où le sol est de nature très basique (c'est-à-dire que le pH est $> 8,5$), l'ammonification libère de l'ammoniaque (gaz) qui va se volatiliser. Cependant, ces conditions sont rares et l'ammonium (NH_4^+) va s'accumuler mais il peut aussi être absorbé par les végétaux supérieurs. (Source : Fustec et al., 2000)

Sa rétention et son élimination dans les zones humides :

Les chercheurs ont pu observer que la rétention et l'élimination de l'azote se faisaient selon 2 processus.

L'absorption de l'azote par les végétaux, processus temporaire, où au départ, l'azote minéral ($\text{NH}_4 + \text{NO}_3$) est prélevé puis transformé et stocké sous forme organique par les plantes mais une fois que celles-ci se décomposent, l'azote organique retourne dans le sol (sauf si la matière est exportée).

La dénitrification microbienne est un processus permettant l'élimination totale de l'azote nitrique (NO_3). Pour cela, il transforme les nitrates en azote gazeux (en fonction de la disponibilité de carbone dans le sol).

L'efficacité de ces processus varie selon la saison et les conditions hydrologiques, de ce fait, ils peuvent ne pas avoir lieu au même moment. Pour le processus d'absorption, un autre facteur peut influencer son efficacité : l'espèce végétale présente et sa maturité.

Exemple

Le marais de Kervigen en Bretagne :

D'une superficie de 22ha, ce marais littoral draine un bassin versant de 45 km² majoritairement agricole. L'abattement moyen de nitrate sur le flux en transit dans le marais mesuré entre avril et mai, est de **60%** soit **175 kg de nitrate éliminé par jour**. L'eau séjourne entre un demi-jour à 5 jours dans le marais suivant son débit. Cette élimination des nitrates est due pour **un tiers à l'accroissement des roseaux** et pour **deux tiers à une dénitrification bactérienne intense**. Ainsi, ce marais lutte contre les marées vertes dues à *Ulva lactuca* en baie de Douarnenez.

(<http://archimer.ifremer.fr/doc/1999/rapport-64.pdf>)

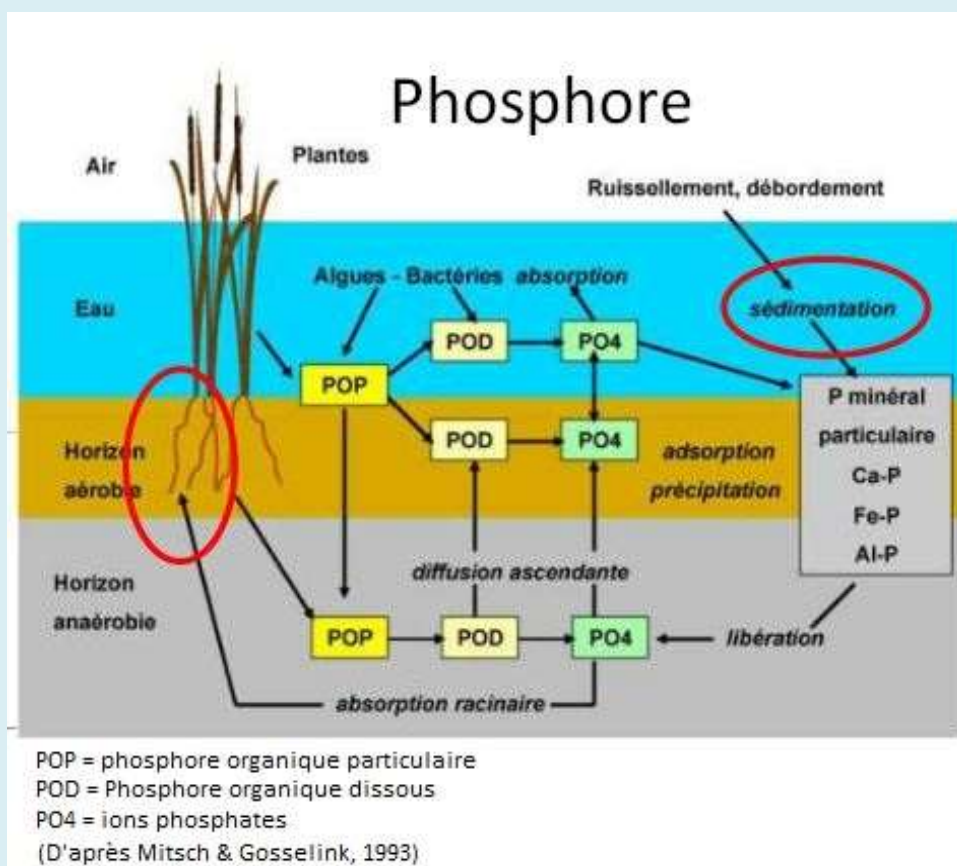


Marais de kervigen
Photo d'epab

Le phosphore

Les dynamiques du phosphore dans les zones humides sont diversifiées car elles dépendent des fonctions et des types de zones humides. Des chercheurs de l'INRA, ont déterminé deux types de milieux en fonction du courant d'eau : les zones dites « **quasi fermées** » où le courant d'eau est presque inexistant, comme les lacs peu profonds ; et les zones dites « **ouvertes** » où le courant d'eau est variable selon la saison et l'espace, ce sont les zones inondables comme les prairies, les marais et les ripisylves.

Le cycle du phosphore dans les zones humides :



Le phosphore entre, par ruissellement dans la zone humide, sous forme minérale particulaire lié a du calcium, du fer ou de l'aluminium (Ca-P, Fe-P, Al-P). Il peut ensuite soit sédimenter, soit être consommé par des micro-organismes pour constituer des formes particulières organiques (POP) qui à leur tour peuvent sédimenter ou être minéralisées, libérant des formes dissoutes (POD). (Source : Fustec et al., 2000)

Exemple

Les marais d'un bassin versant du lac Léman :

Le marais de Perrignier de 2ha, situé dans le bassin de Léman, a été étudié afin de déterminer son rôle dans la dynamique du phosphore d'origine agricole et diffuse. L'eau arrivant dans le marais, est chargée **de 5 à 15 $\mu\text{g/l}$ de phosphore dissous** en période d'étiage et jusqu'à **1 000 $\mu\text{g/l}$ de phosphore** dont 80 à 90% est du phosphore particulaire en période de crue. Par an, le marais retient **67 % du phosphore total soit 6,6 kg** dont 74 % est du phosphore particulaire et 60 % du phosphore dissous. Cette rétention se produit aussi bien en période d'étiage qu'en période de crue.

(Source : Fustec et al., 2000)

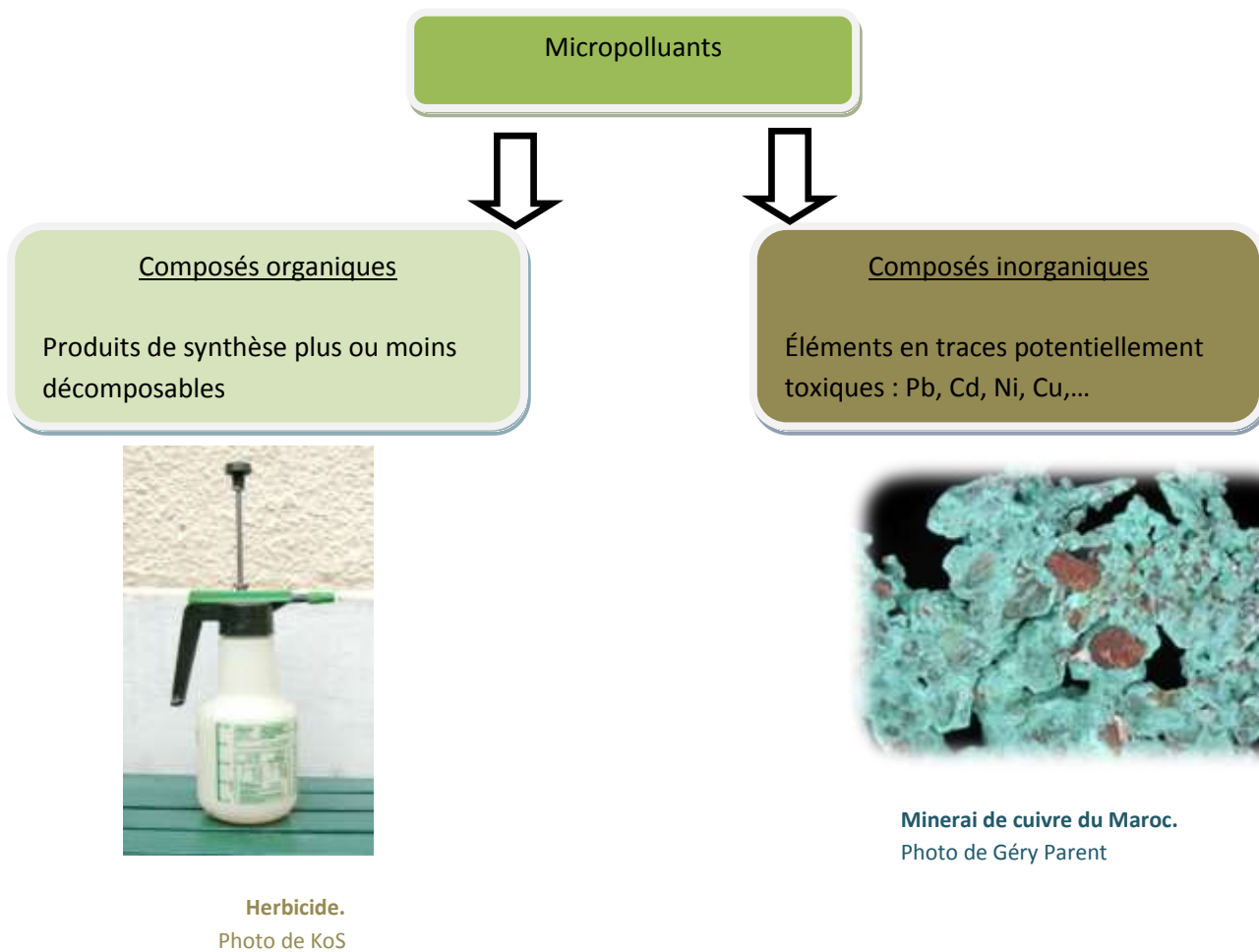


Lac Léman

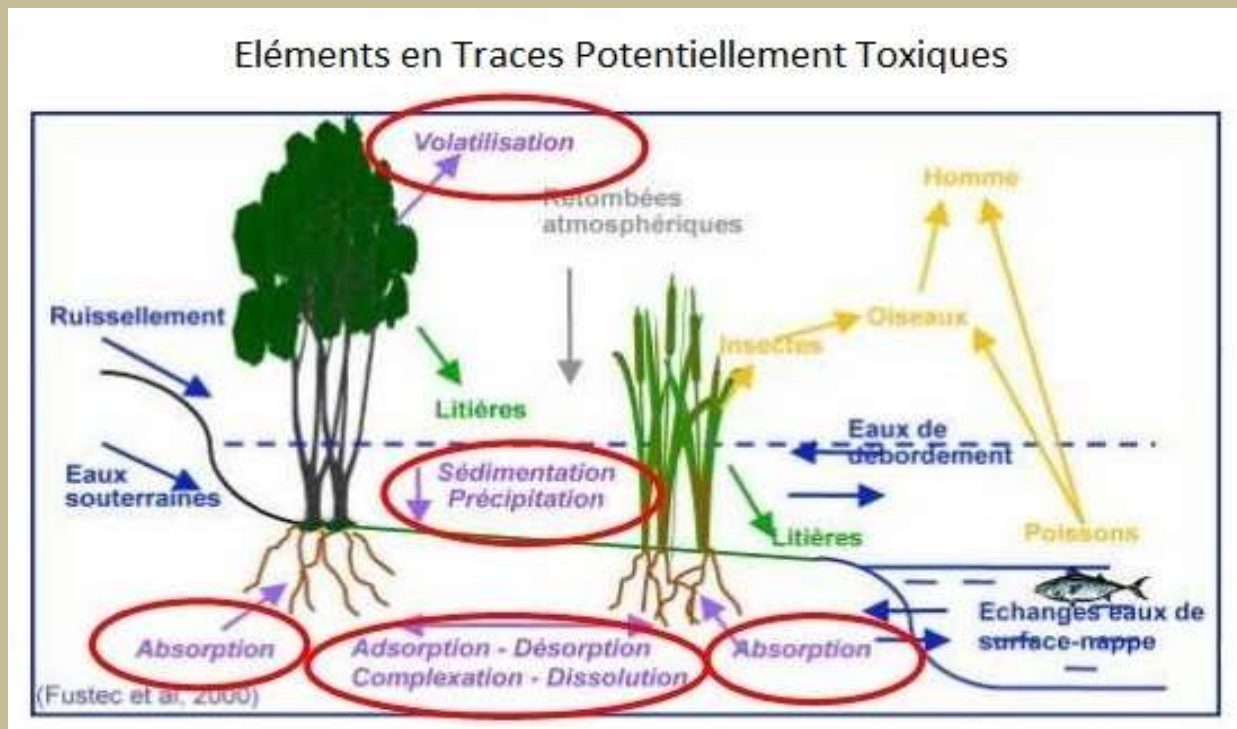
Source : wikimedia commons

Les micropolluants

Généralement, le terme « micropolluants » désigne des produits impactant le milieu à faible dose. Il regroupe deux catégories de produits différenciés selon leur nature chimique, leur origine et leur comportement dans les milieux naturels.



Le devenir des éléments en traces potentiellement toxiques (ETPT) dans une zone humide alluviale :



Adsorption : phénomène de surface par lequel des atomes ou des molécules de gaz ou de liquides (adsorbats) se fixent sur une surface solide (adsorbant) selon divers processus.

Absorption : dans le cas général, l'absorption désigne le fait d'absorber (par exemple l'absorption de l'eau par un absorbeur d'humidité ou du papier absorbant).

(wikipedia.org)

Dans les milieux naturels, les ETPT sont présents sous formes dissoutes et particulaires, associés à des composés organiques ou minéraux, leur permettant ainsi d'être mobiles et d'être incorporés dans les organismes vivants, mais aussi en solution.

L'absorption par les végétaux et la sédimentation des ETPT sont variables selon qu'il s'agisse d'une zone humide quasi fermée ou d'une zone humide ouverte. Dans les zones humides ouvertes, les ETPT peuvent être remis en circulation partielle malgré les processus d'immobilisation.

L'immobilisation :

- dans les sédiments :

Dans la majorité des zones humides, il semblerait que les ETPT restent immobilisés durablement dans les sédiments et ce grâce à la matière organique. L'immobilisation des ETPT varie en fonction de la lithologie et du régime hydrologique du milieu. Les ETPT peuvent être remobilisés lors de l'érosion des berges ou par leur passage en solution mais cela est variable selon l'ETPT étudié.

- dans les végétaux :

Une partie des ETPT peut être immobilisée durablement dans certaines parties des végétaux comme les racines, troncs... tandis qu'une autre partie va soit être recyclée par les litières dans le système soit transférée dans les chaînes alimentaires. De plus, il se peut qu'une portion soit exportée hors du milieu par des organismes. Cependant lors de la chute des feuilles et de la mort des végétaux, une partie des ETPT est restituée au milieu.

(Source : Fustec et al., 2000)

Lemna minor

Photo de Barbarossa



Encart 4

Tolérance et accumulation du cuivre et du chrome chez deux espèces de lentilles d'eau : *Lemna minor* L. et *Lemna gibba* L.

Des expériences ont été faites sur deux espèces de lentilles d'eau : *Lemna minor* et *Lemna gibba* concernant leurs capacités d'accumulation et de tolérance au cuivre et au chrome. Les lentilles utilisées viennent des marais de Smir au Maroc. Les effets toxiques de ces deux métaux lourds sont estimés selon le nombre de frondes*, la biomasse et la surface foliaire ou encore la teneur en chlorophylle et en azote. Les résultats montrent que l'espèce *L. gibba* a une tolérance plus forte que *L. minor* à ces métaux lourds et que le cuivre aurait une toxicité plus grande que le chrome pour les deux espèces. Vis-à-vis de leur accumulation dans ces deux espèces, le chrome est beaucoup plus emmagasiné que le cuivre. En effet, pour une même concentration (3 et 5 mg/L), les teneurs de **chrome** présentes respectivement chez *L. minor* et *L. gibba* sont de l'ordre de **1 340 et 1060 µg de chrome/g** alors que pour le **cuivre**, elles sont de **800 et 745 µg de cuivre/g**. De plus, l'étude conclut que si les espèces sont utilisées dans le cas de la phytoremédiation, leur efficacité serait meilleure pour des faibles niveaux de contamination.

(Source : <http://www.erudit.org/revue/rseau/2006/v19/n1/012597ar.html>)

*Lemna gibba*

Photo de Christian Fischer

Le devenir des micropolluants organiques :

Les hypothèses du devenir de ces composés se sont basées sur les connaissances préétablies concernant le fonctionnement et les caractéristiques des zones humides.

- Processus de rétention :

Celui-ci est contrôlé par des bilans entrées-sorties des micropolluants. Les études sur le devenir des insecticides organochlorés ont permis de mettre en évidence le degré de rétention de ces micropolluants par la matière organique dépend de la composition de celle-ci.

- Processus de dégradation :

La nature des composés organiques ainsi que d'autres facteurs liés au milieu jouent un rôle primordial dans leur processus de biodégradation

La biodégradation se fait par les organismes microbiens tels que les bactéries et les champignons. Elle peut être plus efficace lorsque les micropolluants organiques sont associés à des éléments minéraux. Une étude, réalisée par Grambell et al., a montré que les conditions d'oxydoréduction influençaient dans la majorité des cas (expériences faites sur une vingtaine de micropolluants) la décomposition des micropolluants. La vitesse de dégradation de micropolluants serait variable selon les conditions d'oxydoréduction.

L'efficacité de ces processus dépend aussi de la nature du micropolluant, des flux, et des écoulements dominants (souterrains ou de surface). **Cependant, l'accumulation de ces micropolluants, qui n'ont pas pu être biodégradés, peut induire des effets négatifs sur les zones humides.**

(Source : Fustec et al., 2000)

Exemple

Une petite rizière au Japon

Située près d'un lotissement dont elle reçoit les effluents, cette **zone humide de 474m²** a été recolonisée par des *Phragmites* et des *Typha* suite à l'abandon de sa culture.

Les scientifiques ont montré que cette rizière était capable de retenir et de dégrader un composé entrant dans la composition des nettoyants ménagers, **l'alkylbenzènesulfate**. Cependant, le processus de dégradation est influencé par les conditions de températures alors que ce n'est pas le cas du processus d'adsorption*. Ainsi, durant l'hiver, la dégradation est ralentie, voire arrêtée tandis que l'adsorption continue d'épurer les eaux. Pendant l'été, la dégradation bactérienne va avoir lieu sur les flux entrant d'alkylbenzènesulfate mais aussi sur les molécules d'alkylbenzènesulfate adsorbées en hiver. Chaque année, sur les 35 kg d'alkylbenzènesulfate apportés, la zone humide en **retient 5kg par adsorption** et en **élimine plus de 20kg par biodégradation**.



Travail dans une rizière.
Photo de Sebastien LAROCHE

Quels sont les effets de ces composés sur les zones humides ?

Tourbière acide à sphaignes en Allemagne

Photo de Jan Van Der Crabben

La présence des nitrates, phosphates et micropolluants, à trop forte concentration, dans les milieux naturels induit des effets néfastes sur la faune et la flore.

Nitrates et phosphates

L'eutrophisation des zones humides :

Les nitrates et les phosphates sont deux nutriments essentiels qui contrôlent la productivité et la croissance des plantes. Les agronomes les appellent « **facteur limitant** » de ce fait. Les nutriments peuvent induire la prolifération de certaines algues à la surface de l'eau empêchant le développement d'autres plantes : c'est l'**eutrophisation**.

Le public a plus été sensibilisé au rôle joué par les nitrates dans l'eutrophisation des milieux marins côtiers que celui des phosphates, avec la médiatisation des marées vertes en Bretagne. Les phosphates jouent un rôle majeur dans l'eutrophisation des lacs et des fleuves.

(<http://www.senat.fr/rap/l02-215-2/l02-215-233.html>)

➤ Effets sur la faune :

Les nitrates sembleraient augmenter le taux de mortalité des œufs, des alevins de truites et de saumons et provoquer une réduction de la croissance des amphibiens ce qui compromettrait la reproduction de ceux-ci. (France Nature Environnement, 2012)



Lentilles d'eau sur une mare.

Source : wikimedia commons

Micropolluants

Des effets induits par des micropolluants ont déjà été observés sur la faune.

Une expérience de J.P. Sumpter et S. Jobling a montré la féminisation de poissons mâles en l'occurrence 20 truites mâles qui avaient été placées dans l'effluent d'une station d'épuration, ces poissons ont fini par produire de la vitellogénine (protéine de réserve produite par le foie des poissons femelles qui forme le jaune de l'œuf).

L'exposition d'alevins de truite à la Dioxine a pour conséquence leur non développement, avec l'apparition de malformations du crâne, d'œdème du sac nourricier... (Cook et al., Environ. Sci. Technol. 2003)

Les amphibiens, les oiseaux et les reptiles sont aussi impactés par les effets des micropolluants. En effet, chez les amphibiens, l'atrazine entraîne l'hermaphrodisme* et les rétinoïdes* environnementaux induisent des malformations.

(<http://www.futura-sciences.com/>)

Les pesticides organochlorés comme le dichlorodiphényltrichloroéthane (DDT) entraînent la diminution de la population d'alligators par féminisation des mâles dans le lac Apopka aux USA.... (Guillette, 1994)

Il en est de même pour les mammifères, par exemple, les polychlorobiphényles (PCB) induisent une diminution des organes reproducteurs chez l'ours polaire (des deux sexes) en Norvège. (Sonne et al., 2006)

Cependant, un manque de connaissances existe concernant la bioaccumulation de ces éléments et leurs effets « cocktail » s'ils interagissent entre eux et forment de nouveaux composants. Il est difficile de diagnostiquer la capacité d'accumulation des zones humides de ce fait, si deux composants sont en concurrence lequel va être retenu et par quel type de plante ?

De nouveaux composés devront aussi être pris en compte et étudiés comme par exemple les molécules de médicaments (contraceptif, paracétamol), les antibiotiques, ... dont on retrouve des traces dans les eaux traitées à la sortie des stations d'épuration.

Les zones humides naturelles ont donc une capacité épuratoire parfois importante (parfois négligeable), qu'il faut préserver pour favoriser l'autoépuration des milieux aquatiques. Préserver les zones humides, c'est préserver le "capital santé" du bassin versant et faire un pas vers le maintien ou l'amélioration de l'état des cours d'eau.

En revanche, il est possible de s'inspirer de ces processus naturels, en créant des zones de rejets végétalisées pour la gestion de l'eau pluviale ou en sortie de STEP pour se donner une meilleure garantie de la qualité des rejets dans les milieux naturels.

Partie 4 : Zones de rejets végétalisées

Une zone de rejet végétalisée (ZRV) ou zone tampon est un ouvrage de traitement complémentaire installé en sortie de station d'épuration (pour les eaux usées) ou de décanteur-déshuileur (pour les eaux pluviales). Son fonctionnement est basé sur l'utilisation des végétaux (plantes aquatiques, terrestres, arbres, ...).

Les mécanismes mis en jeu lors de ces traitements sont multiples et complexes. Ils impliquent trois compartiments : l'eau, le sol et les végétaux. Le rôle du sol et de l'infiltration semble primordial. Les études de sol (nature, perméabilité, ...) sont obligatoires pour assurer un fonctionnement correct de l'installation qui sera la plus effective pendant la période végétative.

Aujourd'hui, même si elles demandent à être quantifiée de manière plus précise, on peut attribuer des performances à ces zones sur :

- la réduction des volumes rejetés au milieu récepteur (cas des zones où l'infiltration est importante);
- une amélioration de la qualité de l'eau, provenant des rejets divers, et atteignant le milieu naturel (faible abattement complémentaire sur l'azote et le phosphore, rétention des matières en suspension, amélioration des critères bactériologiques).

Dans le cas de la station d'épuration, la réglementation et les contrôles seront réalisés en sortie de station, la ZRV comme citée ici ne fait pas partie intégrante de la station d'épuration en ce qui concerne l'évaluation des performances épuratoires.

Néanmoins, ces installations permettent de tamponner les rejets avant que les eaux ne retrouvent le milieu naturel récepteur et donc de limiter le risque accidentel lors des événements orageux (qualité et débit).

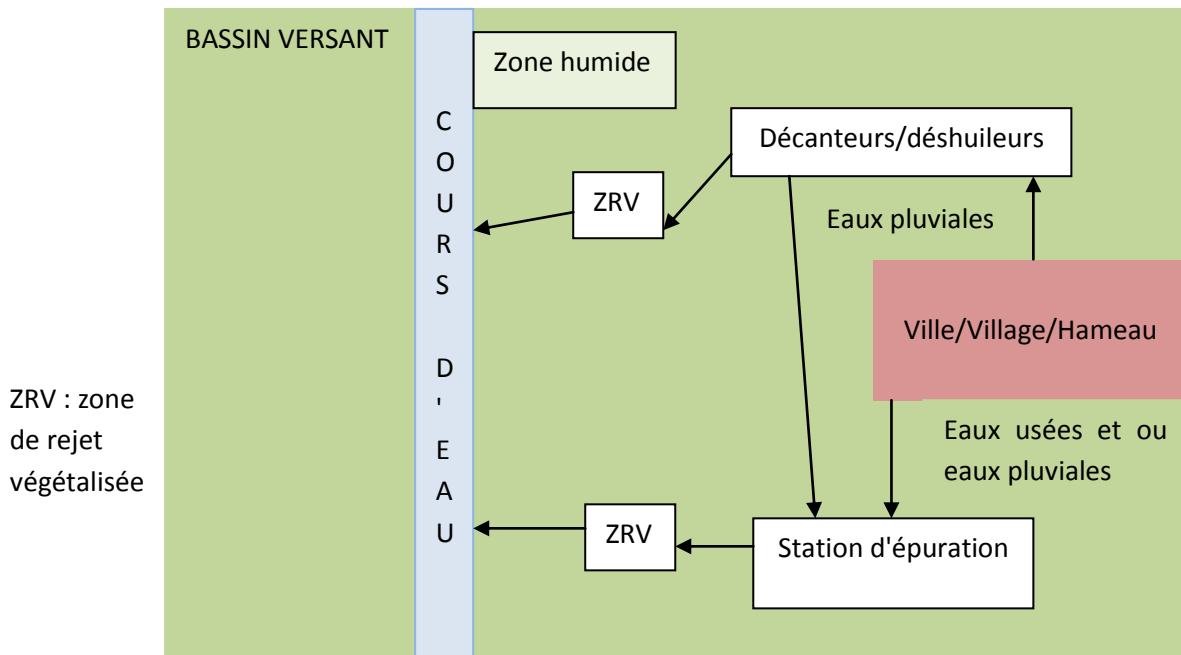
Effectivement, les zones de rejets végétalisées peuvent être proposées avec pour objectifs :

- la protection du milieu en cas d'incident (par exemple bypass de la station d'épuration),
- la réduction des débits rejetés au milieu superficiel par infiltration,
- la protection au titre de la baignade par un abattement bactériologique (augmentation des temps de séjour et/ou infiltration).

Aujourd'hui, aucune donnée scientifique ne permet de décrire précisément les phénomènes ni de déterminer les performances atteignables par ces ouvrages. Aucune règle de dimensionnement, de conception, de suivi, de gestion (qui sera indispensable et régulière) n'est définie. La mise en œuvre de ces installations relève du génie écologique dans la surface disponible et des objectifs qu'on lui donne.

Les zones de rejets végétalisées étant par nature très extensives, il paraît préférable de limiter leur implantation en sortie de petites stations de traitements des eaux usées (moins de 2000 équivalents habitants).

Schéma théorique des éléments du bassin versant et positionnement des différentes entités évoquées :



Exemple

La zone libellule dans l'Hérault (Zone de « Liberté Biologique et de Lutte contre les Polluants Emergents »):

C'est une zone humide artificielle créée, en 2009 par la Lyonnaise des Eaux, à l'aval de la station d'épuration de St Just-St Nazaire de Pézan. Cet espace artificiel humide grâce à ses plantes va filtrer et épurer les eaux à la sortie de la station d'épuration. Ce projet est soutenu par le Conseil général de l'Hérault et l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée à titre expérimental. L'objectif de cette zone est de créer une zone de biodiversité qui puisse faciliter l'élimination des micropolluants résiduels (cosmétiques, résidus médicamenteux, pesticides,...) des eaux usées avant que celles-ci soient rejetées dans la nature. Les plantes et les micro-organismes locaux ont été choisis en fonction de leurs capacités épuratoires naturelles. La zone est composée de différents types de milieux (bassin à phytoplancton, roselière,...) permettant de diversifier la vitesse d'écoulement et la profondeur d'eau et ce afin d'améliorer l'efficacité épuratoire et la qualité du milieu. Le traitement des eaux de la station d'épuration dans cette zone dure une quinzaine de jours en moyenne avant que celles-ci atteignent le milieu naturel. Un suivi écologique a été réalisé sur 3 ans révélant que cette installation a permis une diminution de la concentration des micropolluants de 70% pour les 56% des molécules analysées et de plus de 80% en flux rejeté au milieu superficiel. La qualité de l'eau rejetée est ainsi proche de la qualité d'une eau de baignade. Un point bénéfique de cette zone peut être mis en avant : le renforcement des services écosystémiques rendus comme la pollinisation, la provision de biodiversité locale et le support à l'éducation. En effet, ce site peut être visité par les écoles et la société civile permettant ainsi de leur expliquer le rôle des zones humides sur l'épuration des eaux et de les sensibiliser à la préservation de ces milieux. (<http://www.pole-zhi.org/la-zone-libellule-utiliser-les-zones-humides-pour-reduire-les-nouveaux-polluants>)



Zone Libellule.

Photo de Suez Environnement.

Conclusion :

Les zones humides naturelles ont un vrai pouvoir épuratoire (auto-épuratoire) vis-à-vis des composés polluants contenus dans les eaux usées domestiques ou pluviales : comme le phosphore et l'azote par exemple. Cependant, il faut rester vigilant quant à leurs capacités (qui ne sont pas infinies, plutôt modestes) de stockage et d'élimination des polluants évoqués. Les zones humides naturelles sont généralement gérées dans un objectif fonctionnel (rétention de l'eau par exemple), paysager ou de biodiversité et non pas d'épuration. Les rejets anthropiques doivent être évités dans ces milieux remarquables et d'intérêts.

Il est possible que le sol et la végétation atteignent un seuil de saturation pour certains éléments difficilement dégradables ou transformables. Dans ce cas, les propriétés épuratoires de la zone humide ne seront plus efficaces et pourront engendrer des impacts sur la qualité de l'eau et sur les écosystèmes (nappes et rivières). En outre, les végétaux, lors de leur décomposition, rendent disponibles ou relarguent certaines molécules dans le milieu.

Une technologie efficace, s'inspirant du rôle épuratoire des zones humides naturelles, s'est développée : la zone de rejet végétalisée (ZRV).

Elle permet aux collectivités et aux particuliers de mieux traiter les eaux usées domestiques et pluviales en mobilisant des surfaces raisonnables. Elles nécessitent un entretien.

En effet, les zones de rejets végétalisées :

- sont dimensionnées en fonction de la quantité d'effluents qu'elles reçoivent (nombre d'équivalents habitants),
- sont constituées de substrats et d'espèces végétales sélectionnés en fonction de la nature des polluants à traiter,
- sont entretenues pour pérenniser leurs fonctions premières : l'épuration et la modulation des débits.

Ces milieux artificiels doivent être contrôlés (suivi de qualité des eaux rejetées dans le milieu naturel récepteur) et leurs rendements mesurés. Ce sont des aménagements confinés dont les impacts sur les écosystèmes peuvent être suivis, évalués et corrigés.

Glossaire :

Absorption : dans le cas général, l'absorption désigne le fait d'absorber (par exemple l'absorption de l'eau par un absorbeur d'humidité ou du papier absorbant).

Adsorption : phénomène de surface par lequel des atomes ou des molécules de gaz ou de liquides (adsorbats) se fixent sur une surface solide (adsorbant) selon divers processus.

Aérobic : se dit de l'ensemble des réactions chimiques se produisant en présence d'oxygène.

Ammonification : phase de la minéralisation bactérienne des débris organiques du sol, transformant les acides aminés (qui proviennent de la dégradation des protéines) en sels ammoniacaux aptes à subir la nitrification. (L'ammonification est donc une phase importante du cycle biochimique de l'azote.)

Anaérobic : se dit de l'ensemble des réactions chimiques se produisant en l'absence d'oxygène.

Anthropique : qui a une origine humaine, qui est causé par l'homme (wiktionary.org).

Assainissement collectif : mode d'assainissement, réalisé sous maîtrise d'ouvrage publique, assurant la collecte, le transport et le traitement des eaux usées des immeubles raccordés au réseau public de collecte.

Assainissement non collectif ou assainissement autonome : mode d'assainissement, réalisé sous maîtrise d'ouvrage privée, assurant la collecte, le transport, le traitement et l'évacuation des eaux usées domestiques ou assimilées des immeubles ou parties d'immeubles non raccordés au réseau public de collecte des eaux usées (extrait de l'arrêté modifié du 7 septembre 2009).

Biogéochimique : un cycle biogéochimique est le processus de transport et de transformation cyclique d'un élément ou composé chimique entre les grands réservoirs que sont la géosphère, l'atmosphère, l'hydrosphère, dans lesquels se retrouve la biosphère (wikipedia.org).

Biomasse : ensemble de la matière organique d'origine végétale ou animale.

DBO5 : demande biochimique en oxygène mesurée au bout de 5 jours. Elle mesure la quantité de matière organique biodégradable dans une eau. Elle est exprimée en milligramme d'oxygène nécessaire pendant cinq jours pour dégrader la matière organique contenue dans un litre d'eau (futura-sciences.com).

DCO : demande chimique en oxygène.

Dénitrification : La dénitrification est l'action de dénitrifier, c'est à dire une réduction des ions nitrates NO_3^- en ions ammonium NH_4^+ ou en azote gazeux N_2 par les bactéries dénitrifiantes ou des organismes dénitrifiants.

DDT : dichlorodiphényltrichloroéthane.

Etiage : Niveau d'eau le plus bas d'un cours d'eau.

ETPT : Élément en trace potentiellement toxique.

Fronde : Dans le cas des lentilles d'eau ce sera l'organe végétal qui joue le rôle de feuille.

Hermaphrodisme : présence des organes de reproduction femelles et mâles sur un même organisme

Hygrophile : qualifie une espèce végétale ou animale qui croît ou vit dans les lieux humides.

Humus : matière colloïdale du sol issue de la décomposition et de la transformation chimique et biologique des débris végétaux. Ensemble des matières organiques se trouvant dans la couche superficielle d'un sol.

INSEE : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques.

IRSTEA : Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture.

LPO : Ligue pour la Protection des Oiseaux.

Matière organique : matière décomposée d'origine végétale ou animale qui se trouve dans le sol (feuilles mortes, branches,...).

MES : matières en suspension.

Micropolluants : substances pouvant être présentes en très faible quantité dans un milieu à l'état naturel, et qui introduits à plus hautes doses sont susceptibles d'induire des effets négatifs dans ce milieu.

Nitrification : la nitrification est un processus se déroulant dans les sols sous l'action de certains micro-organismes spécifiques et qui conduit à la transformation de l'ammonium en nitrate.

PCB : polychlorobiphényles.

Photosynthèse : la photosynthèse est le processus bioénergétique qui permet aux plantes et à certaines bactéries de synthétiser de la matière organique en exploitant la lumière du soleil. Les organismes qui utilisent le mécanisme de photosynthèse sont autotrophes car ils fabriquent des matières organiques à partir de matières inorganiques.

Phytoremédiation : La phytoremédiation est la dépollution des sols, l'épuration des eaux usées ou l'assainissement de l'air intérieur, utilisant des plantes vasculaires, des algues (phycoremédiation) ou des champignons (mycoremédiation), et par extension des écosystèmes qui supportent ces végétaux. Ainsi on élimine ou contrôle des contaminations. La dégradation de composés nocifs est accélérée par l'activité microbienne.

Rétinoïde : la structure de base des rétinoïdes est constituée d'un cycle en bout de chaîne, d'une chaîne latérale polyénique et d'un groupe terminal polaire. Le système conjugué formé par l'alternance des doubles liaisons C=C dans la chaîne latérale donne leur couleur aux rétinoïdes (typiquement jaune, orange ou rouge). Par conséquent, beaucoup de rétinoïdes sont des chromophores. La variabilité des chaînes latérales et des groupes terminaux sont à l'origine des différentes classes de rétinoïdes (wikipedia.org)

Ripisylve : Végétation arborée qui borde un cours d'eau.

SATESE : Service d'assistance technique aux exploitants de station d'épuration.

Septique : Se dit de ce qui est souillé ou porteur de germes.

STEP : une station d'épuration permet de traiter les eaux usées qu'elles soient d'origines industrielles ou qu'elles proviennent des activités quotidiennes de l'homme. Le but est de collecter les eaux usées, puis de les épurer par traitement, avant de pouvoir les rejeter dans le milieu naturel sans risquer de polluer notre environnement.

Substrat : Support sur lequel peuvent se développer les végétaux.

Bibliographie :

Bonnarme, V. et Illovcic, S., ces plantes qui guérissent l'habitat : Phytoépuration et génie végétal, éd. Eyrolles, 2012)

DOSNON-OLETTE, R., Phytoremédiation d'eaux contaminées par des pesticides : tolérance et capacité d'élimination par les plantes aquatiques, Thèse, 2009, 226p.

France Nature Environnement, Les nitrates dans les milieux aquatiques et leurs conséquences, fiche thématique 6 du guide des actions associatives « l'eau au cœur des enjeux », 2012, 4p.

Fustec, E., et al., Fonctions et valeurs des zones humides, éd. DUNOD, 2000, 426p.

Guillette, L. J., Jr., "Developmental Abnormalities of the Reproductive System of Alligators (*Alligator mississippiensis*) from Contaminated and Control Lakes in Florida." Hearing on: "Health Effects of Estrogenic Pesticides." Subcommittee on Health and the Environment, Congressman Henry A. Waxman, Chairman, Testimony presented to U.S. House of Representatives 103-87; U.S. Govt. Printing Office, Washington, DC, 1994, p103-187.

Sonne, C. et al., Xenoendocrine pollutants may reduce size of sexual organs in East Greenland polar bears (*Ursus maritimus*). *Environmental Science & Technology*, 40 (18), 2006, p.5668-5674.

Sitographie

www.actu-environnement.com

www.aeroportsdeparis.fr

archimer.ifremer.fr/doc/1999/rapport-64.pdf

www.cieau.com

www.cleantechrepublic.com

www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/DGALN_bilan_ZH95_2008.pdf

www.dictionnaire-environnement.com/eau_pluviale_ID1238.html

www.environnement.ens.fr/IMG/Lagunage.pdf

www.erudit.org/revue/rseau/2006/v19/n1/012597ar.html

eau-iledefrance.fr/

www.forum-zones-humides.org/iso_album/bernard-clement-fonctions-zones-humides.pdf

www.futura-sciences.com/magazines/environnement/infos/actu/d/developpement-durable-atrazine-transforme-grenouilles-males-castrats-femelles-22852/

www.pole-zhi.org/la-zone-libellule-utiliser-les-zones-humides-pour-reduire-les-nouveaux-polluants

www.senat.fr/rap/I02-215-2/I02-215-233.html

sierm.eaurmc.fr/sdage/documents/guide-technique-sdage-5.pdf

wikhydro.developpement-durable.gouv.fr/

www.zoneshumides.eaufrance.fr/sites/default/files/fiche_01_0.pdf

Pour aller plus loin :

Site de l'ARPE : http://www.arpe-paca.org/environnement/zones-de-rejet_574.html

Guide de l'ONEMA sur les ZRV : http://www.onema.fr/IMG/pdf/2013_019.pdf

Crédits illustrations couverture :

Sébastien Walter-Nesmes, Christophe Gilles, Marie Lamouille-Hébert, Thibault Van Rilswik



Remerciements à Jean-Marcel Dorioz (INRA), Raphael Quesada (Lo Parvi), Thierry Le Borgne (LAC), Martin Pignon (Agence de l'Eau RMC) et Thomas Martin (Asters) pour leur relecture constructive, mais également à Guillaume Lahache, Fabien Perriollat, le Syndicat mixte du Marais de Saône (25), mondofragilis group design, ainsi que les personnes non citées ici qui ont accepté de partager leurs photographies, pour leur contribution à ce guide.

Merci aussi à l'Agence de l'Eau pour son soutien :





FRAPNA

FRAPNA Haute-Savoie
ZAE de Pré-Mairy
84, route du Vi ran
74 370 PRINGY
Tél. : 04-50-67-16-18

22

