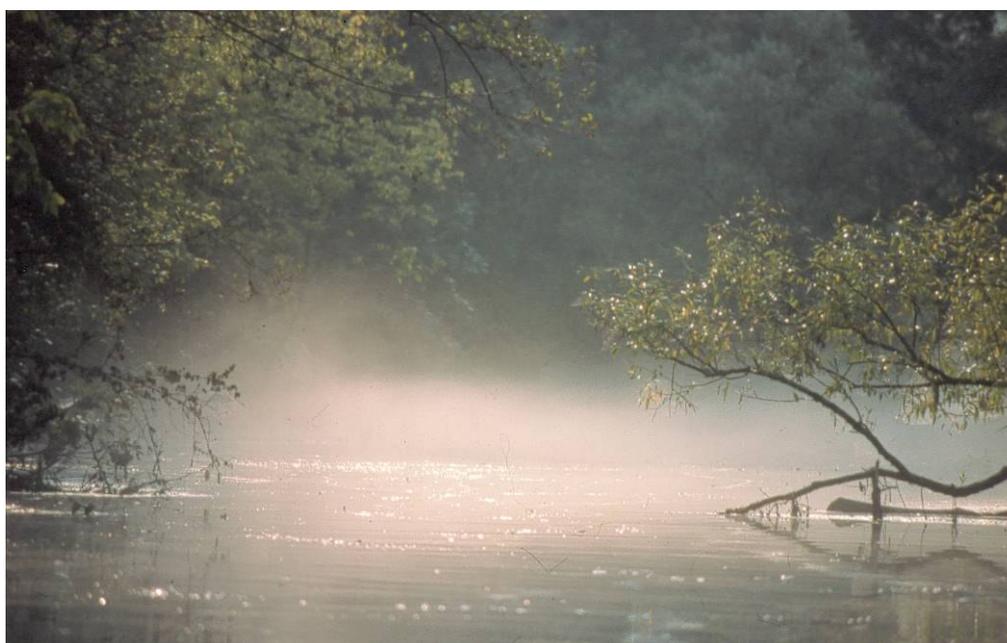


DELIMITATION DE L'ESPACE FONCTIONNEL PAR FONCTION ET PAR TYPE DE ZONES HUMIDES DU BASSIN RHONE- MEDITERRANEE

Rapport annexe

Les fonctions des zones humides : Synthèse bibliographique



Présentation

Le présent rapport a été rédigé par Yoann Bressan (stagiaire Master Pro Lyon I), avec l'assistance de Jean-Louis Michelot et Laurent Simon.

Il s'agit d'un **document de travail**, amené à être complété au fur et à mesure de l'analyse de nouvelles références bibliographiques.

Ce rapport tente de couvrir toutes les fonctions des zones humides, au sens de services rendus à la société.

1. Fonctions naturelles

- 1.1. Biodiversité
- 1.2. Régulation des crues et protection contre les marées
- 1.3. Protection des sols contre l'érosion et réduction des forces érosives
- 1.4. Soutien du débit solide d'un cours d'eau
- 1.5. Stockage ou exportation des matières organiques
- 1.6. Interception des matières en suspension – stockage des matières particulaires
- 1.7. Régulation des nutriments (dénitrification, piégeage du carbone et du phosphore...)
- 1.8. Rétention des toxiques
- 1.9. Stockage durable des eaux de surface
- 1.10. Recharge des nappes
- 1.11. Soutien d'étiage
- 1.12. Contribution à la protection globale de l'environnement (effet de serre...)
- 1.13. Stabilisation du micro-climat
- 1.14. Diminution du bruit

2. Activités économiques et stratégiques

- 2.1. Agriculture - élevage
- 2.2. Sylviculture
- 2.3. Pêche professionnelle – pisciculture et aquaculture
- 2.4. Ostréiculture, autres conchylicultures (mytiliculture, vénériculture...) et pénéculture
- 2.5. Cueillette
- 2.6. Production et stockage d'eau potable
- 2.7. Rejets : épuration des eaux (lagunage)
- 2.8. Carrières - mines
- 2.9. Tourisme
- 2.10. Réserve incendie et stockage des eaux industrielles
- 2.11. Activités stratégiques et militaires
- 2.12. Ressources génétiques

3. Fonctions sociales

- 3.1. Détente
- 3.2. Chasse
- 3.3. Pêche de loisir
- 3.4. Découverte de la nature
- 3.5. Sport
- 3.6. Paysage
- 3.7. Identité locale
- 3.8. Patrimoine culturel
- 3.9. Image de marque des agglomérations et des entreprises
- 3.10. Rôle du cadre de vie sur la santé
- 3.11. Recherche scientifique

4. Milieu naturel support d'activité

- 4.1. Production énergétique
- 4.2. Transport d'énergie
- 4.3. Voie de communication
- 4.4. Télécommunications

Pour chaque fonction, nous avons tenté de renseigner les champs suivants :

- Définition
- Fonctionnement
- Aspects négatifs
- Enjeux
- État des connaissances
- Type de zone humide
- Exemples
- Indicateurs
- Menaces
- Besoins de gestion
- Bibliographie



1. Fonctions naturelles

1. Fonctions naturelles

1.1. Biodiversité

Définition

Les zones humides sont situées à l'interface du milieu terrestre et du milieu aquatique. Cette position d'écotone leur confère un fonctionnement singulier créant des conditions particulières très favorables à la biodiversité. Elles sont en plus présentes à des latitudes et donc des climats différents, ont des pH variés, des teneurs en matières organiques variables, des taux d'hydromorphie des sols différents... et sont donc des milieux physionomiquement diversifiés et riches en espèces.

Lorsqu'on parle de biodiversité, ou diversité biologique, plusieurs notions sont concernées. On peut parler de nombre d'espèces (ou biodiversité totale), de la présence d'espèces rares ou patrimoniales, de diversité génétique (inter et infra-spécifique). Lorsqu'on souhaite conserver la biodiversité il est important de garder à l'esprit ces différents niveaux et ne pas oublier qu'il est tout aussi fondamental de protéger les espèces qu'une diversité génétique suffisante pour garder un potentiel adaptatif à l'espèce ou sous-espèce.

Fonctionnement

Plantes : les conditions hydriques variables dans le temps et dans l'espace des zones humides ont entraîné des adaptations spécifiques de la part des plantes (résistance au stress hydrique, résistance au stress halin) et une diversification importante de la végétation dans ces milieux.

Gradient spatial : la répartition de la végétation dans une zone humide se fait le long d'un gradient d'humidité, depuis l'eau libre jusqu'aux zones inondées en période de crue. Les espèces végétales se répartissent le long de ce gradient en fonction de leur tolérance à l'hydromorphie du sol et à l'inondation.

Gradient temporel : la diversification des espèces de plantes dans une zone humide ne se fait pas que spatialement : au cours du temps la zone humide évolue (en s'aterrissant) et entraîne donc une évolution et une modification des peuplements végétaux. La diversité biologique des zones humides est donc aussi à prendre en compte dans le temps, d'un point de vue dynamique et non pas statique.

Gradient fluvial : le long des axes fluviaux cette composition végétale est beaucoup plus complexe à appréhender du fait de l'existence d'un axe de distribution longitudinal (gradient d'altitude, de climat, de géologie, de largeur du chenal, de débit) à croiser avec l'axe transversal et les ceintures de végétation. De plus le régime hydrique d'une vallée alluviale va entraîner des modifications permanentes du milieu (lors du passage de crues par exemple) auxquelles les plantes devront s'adapter. Ainsi on observera une grande diversité d'espèces en fonction du régime de crues, de l'éloignement au chenal principal, de la profondeur de la nappe... et cette organisation pourra être modifiée par un événement hydrique exceptionnel (crue centennale par exemple).

Animaux : la grande diversité des communautés végétales et des habitats qui caractérisent les zones humides leur confère une grande capacité d'accueil pour un grand nombre d'espèces animales. Dans ces milieux le nombre d'espèces varie au cours du temps. En effet peu d'espèces effectuent la totalité de leur cycle vital au sein des zones humides : beaucoup

proviennent des milieux terrestres ou aquatiques adjacents mais dépendent des zones humides pour se reproduire, s'alimenter, se reposer, grandir... La diversité faunistique des zones humides varie donc à une échelle de temps courte (la journée) mais également à une échelle plus longue (l'année avec les migrations). Comme pour les espèces végétales on observe un zonage des groupements spécifiques dans les zones humides (zonage transversal pour les eaux stagnantes et zonage transversal et longitudinal pour les hydrosystèmes fluviaux), mais parfois plus complexes du fait des mouvements de la faune.

Cas des poissons : les espèces piscicoles utilisent les annexes hydrauliques des hydrosystèmes fluviaux dans plusieurs périodes de leur cycle de vie (reproduction, croissance, repos, alimentation). Ces zones humides offrent en effet des caractéristiques très favorables aux poissons : nombreux abris, courant faible, matière organique, proies... Pendant le passage d'une crue ou d'une autre perturbation (pollution) les poissons vont se réfugier dans ces milieux et vont pouvoir, après la perturbation recoloniser le milieu à partir de ces refuges. D'autre part la présence d'embâcles sur un cours d'eau (accumulation de débris) offre aux poissons des espaces pour la protection, le repos, la reproduction en créant des zones de faible courant avec beaucoup d'abris.

Cas des oiseaux : les zones humides accueillent également de nombreuses espèces d'oiseaux qui trouvent dans les zones humides des lieux de reproduction, d'hivernage, d'alimentation, de protection... adéquats. Une grande partie de l'avifaune présente dans les zones humides n'est pas résidente permanente. En effet beaucoup d'espèces sont des migratrices qui ne font que passer ou restent quelques mois sur la zone.

Aspects négatifs

Enjeux

Enjeu de conservation de la biodiversité : Les zones humides jouent un rôle prépondérant dans la préservation de la diversité animale et végétale. Elles offrent aux espèces animales à la fois des refuges, des zones de reproduction, des abris... La diversité des caractéristiques écologiques de ces milieux est aussi à l'origine de la présence d'une très grande variété végétale. De plus elles sont des zones de transition entre le milieu terrestre et le milieu aquatique permettant un équilibre de l'écosystème. Un tiers des espèces végétales rares ou menacées de la France vit dans les zones humides.

Enjeu génétique : la diversité biologique des zones humides ne se résume pas seulement à un nombre d'espèces important mais également à une grande diversité génétique. En effet les conditions variables qui existent dans ces milieux nécessitent des adaptations particulières de la part des espèces qui les habitent. Ces adaptations sont à la fois dépendantes et créatrices de diversité génétique : les changements qui peuvent survenir (modifications du milieu) créent des conditions de vie et des contraintes nouvelles nécessitant des adaptations particulières résultant de la diversité des potentiels génétiques des espèces présentes. Et le grand nombre de types de zones humides différentes permettent à un grand nombre de types différents de formes génétiques de perdurer, offrant ainsi un potentiel adaptatif (et donc une diversité génétique) important.

Enjeu piscicole : l'existence des zones humides le long d'un cours d'eau est indispensable à la faune piscicole. Après des dégradations du milieu (cours d'eau) ou des crues, les annexes

humides d'un cours d'eau servent de source de réalimentation en poissons du cours d'eau. Le rôle des zones humides est donc fondamental d'un point de vue économique (pêche).

Enjeu avifaunistique : la mise en place des listes d'espèces protégées (au niveau international, national ou régional) a permis de révéler qu'une grande partie (environ 1/3) de l'avifaune de ces listes était des oiseaux d'eau et donc la nécessité de préserver les zones humides. De plus il ne faut pas négliger l'impact médiatique des oiseaux qui ont permis d'affirmer la fonction et la valeur des zones humides et de la nécessité de les protéger.

État des connaissances

Beaucoup d'études existent sur les oiseaux et les poissons qui peuvent même être utilisés comme indicateurs de l'état évolutif du milieu. Cela est différent pour les insectes pour lesquels l'approche est plus complexe.

La végétation a également fourni de nombreuses informations permettant de simuler la dynamique évolutive des zones humides. Là encore la végétation peut être utilisée comme un indicateur des conditions du milieu.

Type de zone humide

- ❖ Type 2 : Baies et estuaires moyens-plats (*)
Vasières
- ❖ Type 3 : Marais et lagunes côtiers (*)
- ❖ Type 4 : Marais saumâtres aménagés (*/-)
- ❖ Type 5 : Ripisylves (*)
Vasières
- ❖ Type 6 : Prairies humides (*)
Forêts alluviales (*)
Bras morts et secondaires (*)
Marais alluviaux (*)
Grèves et bancs d'alluvions
Berges végétalisées
Berges nues
- ❖ Type 7 : Marais (*)
Prairies humides
Tourbières (*)
Milieux fontinaux
Petites zones humides de fond de vallée
- ❖ Type 8 : Étangs (*)
- ❖ Type 9 : Bordures de plans d'eau
- ❖ Type 10 : Marais (*)
Prairies humides
- ❖ Type 11 : Mares et étangs isolés
- ❖ Type 12 : Marais aménagés dans un but agricole (-)
- ❖ Type 13 : Carrières réaménagées
Carrières en exploitation (-)

Exemples

- Les zones humides occupent 3% du territoire français mais hébergent 30% des espèces végétales remarquables à forte valeur patrimoniale et environ 50% des espèces d'oiseaux. Certaines zones humides jouent un rôle primordial à l'échelle européenne car elles sont situées sur les principaux couloirs migratoires : sur environ 500.000 canards hivernants en France, 70% sont concentrés sur le littoral. A ce contingent s'ajoutent 500.000 à 1.000.000 qui ne font que passer pour l'hivernage au sud. De plus la France accueille 500.000 à 5.000.000 de limicoles hivernant en Europe soit 10% du total. On dénombre par exemple plus de 12.000 flamants roses nichant chaque année en Camargue (5).
- Une étude menée à l'hiver 1989-1990 sur les zones humides égyptiennes a révélé qu'elles comptaient parmi les plus importantes zones d'hivernage des oiseaux d'eau dans la région méditerranéenne. Malgré leur importance, les zones humides égyptiennes se réduisent du fait du besoin en terres (agriculture, urbanisation), de la pollution, de la chasse aux oiseaux non contrôlée et de l'érosion côtière. La mise en valeur des terres pour l'agriculture et l'urbanisation est la principale menace. Le déversement des égouts et des déchets industriels modifie dangereusement la qualité des eaux des lacs du delta du Nil dont la végétation de certains est en train de disparaître. Les pertes et dégradations de ces zones humides entraînent le déclin d'espèces animales, et notamment d'oiseaux inféodés à ces milieux. Les chutes les plus significatives dans les populations d'oiseaux d'eau sont celles du foulque (*Fulica atra*) (-83%) et du canard souchet (*Anas clypeata*) (-44%). La construction du barrage d'Assouan était à l'origine favorable à l'irrigation. Mais en aval les nappes phréatiques salines du delta s'étendent aujourd'hui sur 30 km à l'intérieur des terres car le flux d'eau douce dans l'aquifère est réduit. L'essentiel des eaux du Nil étant consacré à l'agriculture, leur utilisation a produit 2 effets secondaires néfastes pour les zones humides : à cause du drainage des cultures, l'apport d'eau dans les lacs du delta a quadruplé, voire quintuplé, transformant des eaux saumâtres en eaux presque douces. Et en raison de la vidange constante d'une eau légèrement saline provenant des installations d'irrigation le lac Qarun, originellement lac d'eau douce, est devenu très salé par évaporation et concentration de sel. Des espèces de poissons autrefois présentes dans le lac ont totalement disparu et les populations d'oiseaux d'eau du lac ont diminué de 75 à 90%. Parmi les espèces ayant le plus souffert se trouvent le grèbe huppé (*Podiceps cristatus*), le grèbe à cou noir (*Podiceps nigrocollis*) et le fuligule milouin (*Aythya fuligula*) (6).

Indicateurs

- Diversité α , diversité β et diversité γ
- Diversité génétique
- Présence/absence et nombre d'espèces patrimoniales (local, régional, national, européen)
- Isolement génétique et géographique des populations
- Viabilité des populations (populations suffisamment importantes, non isolées, consanguinité)

- *La présence de certaines espèces* d'oiseaux et leur abondance est indicatrice du fonctionnement du milieu (sternes) ou de l'instabilité des conditions écologiques (limicoles)
- *L'abondance des populations d'oiseaux* renseigne sur la productivité biologique
- *Le peuplement d'oiseaux* renseigne par sa diversité l'organisation spatiale des habitats
- Dans tous les cas il faut établir des *relevés standardisés* (flore, oiseaux, invertébrés aquatiques...)
- *Présence/absence d'habitats d'intérêt* (communautaire, national, régional, départemental, local)
- *Connexion* des sites
- *Surface* des sites

Menaces

- **Modification des fréquences d'inondations** (suppression de frayères)
- **Artificialisation** des zones d'interface
- **Modifications hydriques** (drainage, assèchement...)
- **Peuplements monospécifiques** (plantations de peupliers)
- **Coupes à blancs ou fauchage répété des berges** (banalisation de la faune et de la flore)
- **Modifications du régime hydraulique**
- **Abaissement du niveau d'eau**
- **Maintien artificiel d'un niveau d'eau élevé** qui diminue l'étendue des interfaces et des milieux mobiles (grèves, atterrissements...)
- **Pollution de l'eau**
- **Surexploitation** des poissons et autres ressources naturelles
- **Le développement des routes et de l'urbanisation** peut entraîner une **fragmentation** importante des zones naturelles en général, et des zones humides en particulier. Cette fragmentation des habitats a pour conséquence d'isoler des populations animales et végétales qui risquent de ne plus être viables.
- L'introduction et le développement, voire l'envahissement, de **plantes et animaux exotiques** peuvent entraîner une compétition avec les espèces autochtones (dont des espèces patrimoniales) et une diminution, voire disparition, de ces dernières au profit de ces espèces exotiques.
- **Destruction des nichées** d'oiseaux nichant au sol en prairie ou dans les cultures par les travaux agricoles (Courlis cendré, Vanneau huppé...).
- **L'abandon de certaines parcelles agricoles** (prairies, pelouses) entraîne un embroussaillage de ces milieux, donc leur fermeture. En conséquence certaines espèces végétales sont défavorisées et des espèces, notamment d'oiseaux, nicheuses au sol dans les prairies, pelouses ou cultures peuvent abandonner leurs nids lorsque la végétation devient trop haute ou des sites trop embroussaillés.

Besoins de gestion

- **Les mesures réglementaires et contractuelles internationales et nationales** (Directive Habitats, Convention de Ramsar, Convention de Berne, Convention de Bonn, liste rouge de l'UICN, APPB, ENS) permettent de protéger légalement de la destruction les espèces et leurs habitats.

- **La restauration des annexes hydrauliques** d'un cours d'eau est très importante pour les espèces de poissons. En effet la disparition de ces annexes est très néfaste aux poissons qui ne trouvent plus de zones propices à la reproduction, au repos ou à l'alimentation. Cependant cette restauration est mal connue et nécessite encore aujourd'hui des recherches et des suivis des actions déjà réalisées pour affiner les connaissances sur le sujet.

Bibliographie

(1)	(2)	(5)	(6)	(7)
(8)	(9)	(10)	(14)	(16)
(19)	(20)	(21)	(22)	(23)
(24)	(26)	(28)	(32)	(34)
(39)	(40)	(41)	(42)	(43)
(44)	(45)	(46)	(47)	(49)
(50)	(51)	(52)	(53)	(54)
(55)	(56)	(57)	(58)	(59)

1. Fonctions naturelles

1.2. Régulation des crues et protection contre les marées

Définition

Les zones humides ont la capacité d'héberger des eaux de débordement de cours d'eau, des apports d'eaux de ruissellement pendant de courtes périodes de crue ou des entrées d'eaux soumises à l'influence des marées. Les zones humides situées dans les vallées fluviales sont des zones favorables à l'expansion et à l'écrêtement des crues du fleuve. Celles situées en amont du bassin versant peuvent être utiles en stockant les eaux de ruissellement et des affluents, empêchant ainsi ces eaux de rejoindre le fleuve lui-même.

Fonctionnement

Les eaux de crues se déversant dans la zone humide peuvent avoir plusieurs origines. Elles peuvent provenir du bassin versant propre à la zone humide concernée. Dans ce cas la zone humide intercepte les eaux de tout son bassin, dont les ruissellements superficiels et subsurfaciques, et les stocke. Elles peuvent également être la conséquence du débordement d'un cours d'eau voisin. Lorsque le niveau de la crue atteint un certain seuil, le cours d'eau déborde et se déverse dans ses zones humides annexes. Le but dans ce cas-là est que le laminage ait un effet sur l'aval du cours d'eau entier et non pas juste à l'aval de la zone humide (qui rejoint bien souvent rapidement le cours d'eau). Les deux origines citées sont bien souvent combinées lors des crues (lorsque la zone humide est relativement proche du cours d'eau) : au début de la crue le premier mode de fonctionnement s'active rapidement. Lorsque la crue touche le cours d'eau et atteint un certain seuil (plus tardivement) alors celui-ci déborde et envahit ses zones humides annexes.

Mécanismes : 2 mécanismes principaux entrent en jeu. D'abord l'effet « éponge » : les dépressions que sont les zones humides sont susceptibles de stocker un certain volume d'eau en surface et parfois dans le sol et les sédiments. Ce type de régulation est important pour les secteurs amonts des bassins versants. Mais les capacités de rétention sont limitées : lorsqu'elles sont saturées, leur efficacité s'annule et les volumes d'eau stockés sont restitués au cours d'eau plus ou moins rapidement par ressuyage. Et cette limitation des capacités de rétention de la zone humide fait que le maximum de laminage sera atteint pour un épisode de crue rapide. Le second mécanisme est l'effet d'étalement du débit de crue de part et d'autre du cours d'eau dans les zones humides annexes de la plaine alluviale entraînant un abaissement de la ligne d'eau à l'endroit et à l'aval de la zone concernée. Et plus la zone humide est rugueuse, plus elle ralentit le courant.

Conditions de fonctionnement : l'aptitude d'une zone humide à atténuer les crues dépend donc de sa rugosité, de sa position dans le bassin versant, de sa superficie relative au bassin de drainage et à ses caractéristiques morphologiques (dépression topographique, ouverture de l'exutoire). Son accessibilité aux crues, l'intensité et la durée des précipitations ainsi que l'importance des précipitations récentes peuvent en limiter l'efficacité. De plus, la petite taille de l'exutoire et la présence de végétation dans la zone humide favorisent le laminage des crues en ralentissant le courant encourageant ainsi le stockage et parfois même à une cote supérieure au minimum de pente de la zone humide. Ces cotes élevées vont aussi permettre à des réservoirs annexes peu accessibles habituellement (nappes de berges,

tourbières...) de se trouver en situation d'alimentation. Au-delà d'un certain seuil d'intensité de crue le stockage plafonne et les surplus d'entrée s'évacuent de plus en plus vite neutralisant les suppléments de laminage avec parfois des dégâts dans la zone humide du fait de courants trop forts. Il faut donc connaître les limites du laminage pour éviter de surexploiter cette fonction des zones humides pour préserver leurs qualités.

Cas des forêts alluviales : elles jouent un double rôle sur la régulation des crues. Tout d'abord, comme toutes les zones humides du bassin d'extension des crues d'un cours d'eau, elles sont une zone permettant l'expansion des crues. La végétation ligneuse permet en outre une plus grande résistance aux crues hautes et longues. Mais dans certains cas elles sont aussi un frein important à l'écoulement latéral des crues. Ainsi le niveau d'eau diminue au fur et à mesure qu'on s'éloigne du chenal et qu'on s'approche de l'arrière de la forêt.

Cas des zones humides littorales : en milieu côtier, les lagunes et marais stockent les eaux, ce qui permet de limiter les effets des crues et d'absorber une part des intrusions marines.

Aspects négatifs

Enjeux

Les zones humides sont des milieux propices à l'expansion des crues et permettent d'écrêter les pointes de crues, d'étaler la lame d'eau et d'abaisser la vitesse du courant et son pouvoir érosif réduisant ainsi les effets néfastes des crues sur les activités humaines.

État des connaissances

Les points bas sont capables de stocker un volume d'eau dont la quantité est en rapport avec les dimensions de ce point. Ce stockage est important à l'échelle du bassin versant car les différentes zones humides du bassin concourent à la désynchronisation et au laminage des pics de crue, les déstockages se réalisant en outre de manière progressive (Adamus et Stockwell, 1983, in (1)). Cette réduction des pics de crue pourrait atteindre jusqu'à 60% lorsque qu'une partie du bassin versant est occupé par des zones humides (5% de la surface du bassin (Ammon, 1981, in (1))). Cette fonction est largement admise mais elle n'est pas entièrement expliquée : l'analyse des mécanismes est plus complexe dans les milieux alluviaux où la géométrie du lit et les variations de la nappe alluviale doivent être prises en compte. Et ces phénomènes restent encore peu explorés.

Type de zone humide

- ❖ Type 2 : Baies et estuaires moyens-plats
Vasières
- ❖ Type 3 : Marais et lagunes côtiers (*)
- ❖ Type 4 : Marais saumâtres aménagés
- ❖ Type 5 : Ripisylves (*)
Vasières
- ❖ Type 6 : Prairies humides (*)
Forêts alluviales (*)

- Bras morts et secondaires (*)
- Marais alluviaux (*)
- ❖ Type 7 : Marais
Prairies humides
Tourbières
Petites zones humides de fond de vallée
- ❖ Type 9 : Bordures de plans d'eau
- ❖ Type 10 : Marais
Prairies humides
- ❖ Type 11 : Mares et étangs isolés
- ❖ Type 12 : Marais aménagés dans un but agricole
- ❖ Type 13 : Carrières réaménagées (*)
Carrières en exploitation (*)

Exemples

- Le lac de Kelbia près de Kairouan (Tunisie) se déversait rarement dans la mer grâce à son énorme capacité de stockage. Depuis 1933 l'importante sédimentation due à une érosion accélérée dans le bassin versant ainsi que l'érosion du trop-plein du lac ont réduit cette capacité des deux tiers. Les énormes inondations de la fin des années soixante et du début des années soixante-dix se sont répandues dans le Sebkhet coupant les routes, les voies de chemin de fer et les communications téléphoniques, tuant de nombreuses personnes et entraînant à Kairouan d'importants dégâts (6).
- Les 6.500 ha du secteur de la Bassée (vallée de la Seine en amont de Paris) assure un rôle considérable de protection contre les inondations, de l'ordre de 65 millions de mètres-cube pour la plus grande crue connue (1910, lame d'eau d'un mètre). Le service rendu par cette zone inondable est équivalent à celui d'un barrage de 100 à 300 millions d'euros (approche de la valeur de remplacement). De plus pour une crue exceptionnelle les dommages évités sont estimés à 10.200 €/ha environ, soit plus de 66 millions d'euros au total (12).
- Sur la vallée de la Marne, la valeur de protection contre les inondations des zones inondables riveraines équivaut à un barrage de 0,3 à 1,1 milliards d'euros (AScA, in (34)).
- Lors de la crue de l'Ouvèze du 22 septembre 1992, le plan d'eau s'est abaissé de 65 cm en moins de 30 m dans la ripisylve, la pente locale de la ligne d'eau atteignait 2,2 % (Piégay, 1995, in (8)).
- A la hauteur du village de St Fromond (Manche), la Vire provoque presque annuellement des inondations. En effet dans ce village, le quartier dit « du pont » est situé dans le champ d'inondation naturel de la Vire. Il est placé entre le cours actuel de la rivière et l'ancien lit. En période de hautes eaux celui-ci est alimenté ce qui est à l'origine du débordement entraînant des dégâts à St Fromond. Ces inondations provoquent l'inondation d'une vingtaine de maisons avec un niveau d'eau dans les maisons d'environ 30 cm à 1 m et des dégâts sur une route surélevée, la D8, conduisant à un pont dont il faut régulièrement réparer les remblais. Une étude a simulé, sur modèle hydraulique, les effets de différents scénarios d'aménagement pour

protéger le quartier inondé et la route. Parmi les différents scénarios a été testée l'hypothèse d'un effacement complet des digues en bordure de la Vire sur une portion linéaire. L'objectif est de permettre le débordement de la Vire dans les parcelles de marais actuellement déconnectés par des digues construites au siècle dernier. Il s'agit donc de restaurer par reconnexion le champ d'expansion au lit mineur en ouvrant des brèches dans les digues. Le résultat des simulations qui ont porté sur une crue de fréquence annuelle et sur une crue de période de retour 15 ans a mis en évidence un abaissement sensible au niveau de la D8, particulièrement significatif pour les crues moyennes (on passe d'un retour 5 ans à un retour 15 ans), une limitation sensible du risque de débordement dans le secteur situé à l'amont de la D8 (la crue annuelle disparaît) et une augmentation du risque de submersion des parcelles de marais, de façon particulièrement significative pour les périodes estivales (de mai à septembre). A partir de ces remarques l'étude conclut que la suppression des digues et la restauration du champ d'expansion naturel de la Vire est une solution technique efficace pour diminuer l'impact des submersions dans le secteur amont de St Fromond. Le coût de cette intervention est estimé à une enveloppe maximale de 5 à 7 millions de francs HT (0,76 à 1,07 millions d'euros) dans la mesure où une destruction partielle des digues est suffisante pour obtenir des effets de réduction des crues. Elle pose cependant la question de la gestion des portions résiduelles. Ce résultat est particulièrement intéressant car c'est l'un des rares cas disponibles qui constitue un projet de restauration d'une zone humide en raison de sa contribution démontrée à la régulation des crues. De plus les zones humides remplissant des fonctions qu'il n'est pas toujours possible de substituer, puisque l'étude a montré qu'aucune autre solution ne satisfaisait en même temps les deux besoins de protection, habitations et remblais de la D8. la mesure économique du service rendu par cette zone humide une fois restaurée sa fonction de champ d'expansion peut être ici obtenue par les « dommages évités ». Selon les estimations la restauration de la zone inondable permettrait de passer, pour les 20 maisons concernées, d'une inondation annuelle à une inondation trentennale et d'éviter la réparation décennale du remblai ainsi que la gêne occasionnée par les inondations qui interrompent la circulation (fréquence inférieure à 5 ans). Pour les habitations il faut considérer principalement la disparition des dommages de la crue annuelle. Les renseignements obtenus en mairie d'Airel suggèrent que les dégâts des crues annuelles restaient jusqu'à ces dernières années relativement faibles. La hauteur d'eau aux portes des maison restait en général inférieure à 20 cm et les habitants se protégeaient avec des glissières (planches glissées dans l'encadrement des portes empêchant l'eau de rentrer). Cependant ces dernières années ont vu l'eau entrer de plus en plus souvent et facilement dans les maisons car divers aménagements sur les infrastructures ont modifié la dynamique des inondations, et l'eau pénètre dans les maisons par d'autres voies. Pour l'évaluation de ces dommages évités, les coûts sont recensés lors d'une étude sur les inondations dans le bassin de la Seine Amont. Celle-ci retient un montant de 5.000 F/habitation (762 €/habitation) pour les maisons anciennes et pour les inondations touchant le rez-de-chaussée, et comprises entre quelques centimètres et un mètre. Ces valeurs correspondent à la remise en état des peintures, papiers peints et moquettes, considérant que les appareils électroménagers pouvaient être mis hors d'eau (notamment en tenant compte du caractère habituel de ces crues). En ce qui concerne la route, l'évaluation des dommages évités peut être approchée à partir du montant des travaux de restauration qui ont été menés lors des deux dernières crues ayant eu un impact. Ce sont deux crues de type décennal. Le montant des travaux pour chacune des remises en état a été de l'ordre de 500.000 F (76.224 €). L'impact économique de l'interruption provisoire de circulation liée aux

inondations n'a pas été estimé dans le cadre de ce travail. Il semble que celui-ci n'est pas négligeable puisque la D8 est un axe relativement important, avec notamment un transit de poids lourds significatif. Sous ces hypothèses, les dommages annuels qui seraient évités par la restauration du champ d'inondation de la Vire sont donc au total de 75 à 100.000 F/an (11 à 15.000 €/an) pour les habitations et de 50.000F/an (7.622 €/an) pour la réfection des remblais de la D8, soit un coût annuel de 125 à 150.000 F (19 à 22.867 €) annuels. La surface des marais concernés par la reconnexion hydraulique est de 750 ha environ, soit un service annuel de 200 F/ha (30 €/ha). Cette valeur est modeste, mais il faut rappeler qu'il ne s'agit que du service rendu « protection contre les inondations », sans les dommages indirects, et sur la base d'une protection de 20 maisons seulement (dans le cas de l'extension de l'habitat, la valeur du service rendu augmenterait parallèlement) (12).

- Sur le bassin de la Maine en amont d'Angers, l'épanchement des eaux de crue de 1995 sur les 100 km² de marais et de prairies humides des basses vallées angevines a réduit la cote maximale atteinte au niveau de la ville d'Angers (5.400 m³/s à Montjean en aval immédiat de la confluence de la Maine et de la Loire) de 20 à 30 cm. Les zones humides ont ainsi contribué à atténuer la gravité des débordements dans les zones habitées (DIREN de bassin Loire-Bretagne ; Agence de l'Eau Loire-Bretagne, 2005, in (36)).
- Dans le secteur de Miribel-Jonage au Nord-Est de l'agglomération lyonnaise 15% du débit transite dans les lînes, soit un débit en aval de 4390 m³/s au lieu de 4530 m³/s pour une crue centennale (Les Agences de l'Eau , 2000, n°89, in (36)).
- Lors de la crue de la Loir en 1856, qui fut la plus forte depuis des siècles, le débit de pointe déclina d'amont en aval de 8.900 m³/s à Gien à 6.200 à Saumur, en dépit d'apports intermédiaires (43).

Indicateurs

- *Ecrêtement* pour une crue centennale (différence entre débit entrant et débit sortant)
- *Surface de la zone inondable* pour les crues de référence (surface de la zone humide) par rapport au bassin versant
- *Connectivité* de la zone humide au réseau hydrographique
- *Evaluation du prix de la construction d'un barrage* d'écrêtement des crues, d'aménagements de stockage temporaire divers...
- *Limites des plus hautes eaux connues* (utilisation d'atlas...)
- *Pour les vallées alluviales :*
 - 1- Caractérisation des zones inondables dans leur configuration actuelle :
 - Superficie : globale au niveau du bassin versant, par élément hydrographique, par tronçon homogène pour les éléments hydrographiques principaux ;
 - Rapport de ces superficies à celles du bassin versant ou des sous-bassins correspondants ;
 - Décomposition en lit moyen et lit majeur ;
 - Ratio « évacuation » évalué pour chacune des unités spatiales prises en compte, exprimé en terme de débit et qui exprimerait notamment

la capacité de laminage de chaque unité et de l'ensemble de la plaine alluviale du bassin ;

- Caractérisation de la connectivité latérale qui peut être évaluée de façon semi-quantitative (par exemple en fonction de la largeur et de la densité de la ripisylve) ;
- Caractérisation de potentialités annexes (par exemple la capacité d'emmagasinement de la nappe, la capacité épuratoire des sols, la capacité écologique et paysagère).

2- Ecart existants entre la situation actuelle et la situation avant les grands aménagements :

- Superficiers des zones urbanisées et zones inondables (niveau de risque et proportion de la fonction de rétention supprimée) : modification du ratio *évacuation/rétention* ;
- Longueur des cours d'eau aménagés hydrauliquement avec réduction de la fonction rétention (digues) ou accroissement de la fonction évacuation (recalibrage) : estimation de l'incidence sur le ratio *évacuation/rétention* par unité hydrographique et pour l'ensemble de l'appareil hydrographique.

3- Effets prévisibles de différents scénarii d'aménagement :

- Poursuite de l'urbanisation en zone inondable sur la base des orientations des POS/PLU ;
- Poursuite des programmes d'aménagements hydrauliques ;
- Choix d'une politique d'aménagement basée sur la préservation des champs d'inondation et l'amélioration de la fonctionnalité rétention.

Menaces

- **Endiguements** (effets plus importants quand ils sont proches du lit mineur)
- **Aménagements visant à atténuer ou supprimer les variations naturelles**, à contrôler les débits, à stabiliser le lit mineur (barrages, seuils...)
- **Disparition des marais et tourbières** par drainage
- **Drainages, changements d'occupation des sols...**

Besoins de gestion

- Pour pouvoir gérer la fonction de laminage des crues il faut commencer par **bien connaître la zone humide concernée** pour identifier ses capacités de stockage mais également pour diagnostiquer ses capacités de résistance aux crues afin de déterminer jusqu'à quel point la zone humide peut remplir cette fonction sans porter atteinte à son intégrité écologique et notamment ne pas pénaliser les autres fonctions remplies par la zone humide. Cependant cette quantification n'est pas aisée à réaliser.
- **Préserver ou restaurer l'espace de liberté** du cours d'eau
- **Lutter contre l'enfoncement du lit mineur**
- **Réduire les effets des aménagements ruraux et des pratiques culturales** (limitation drainage, maintien de la ripisylve et des prairies inondables)
- **Lutter contre l'imperméabilisation des sols** (réglementaire et documents d'urbanisme)

- **Lutter contre le remblaiement** des zones humides et la déconnexion des annexes fluviales (maintien des périodes de submersion, rétablissement des connexions cours d'eau/annexes)
- **Création de marais avec roselières**
- **Limiter, voire interdire les constructions en zone inondable**
- **Pour les vallées alluviales :**

1- *Préservation de l'état existant* (lorsque le fonctionnement hydrologique est encore existant et de bonne qualité) :

- acquisition foncière des terrains inondables des vallées alluviales par la collectivité locale afin de pouvoir déclarer ces zones non constructibles dans les plans d'urbanisme. Ces terrains peuvent ensuite être gérés ou loués à des agriculteurs par exemple ;
- les terrains inondables d'une vallée alluviale peuvent être loués par une collectivité ;
- les collectivités peuvent passer des conventions de gestion avec les propriétaires des terrains situés en zone inondable de vallée alluviale, avec indemnisation des dégâts dus aux crues ;
- établissement de plans de gestion des zones inondables d'une vallée alluviales pour favoriser la fonction d'écrêtement et d'expansion des crues.

2- *Restauration des fonctionnalités* (lorsque les aménagements hydrauliques et les extractions de matériaux ont altéré le réseau hydrographique naturel) :

- création de déversoirs de crues dans les digues, constructions de digues transversales au lit majeur (et pas du lit mineur), construction de digues longitudinales éloignées du lit mineur (permettant inondabilité du lit moyen) : il y a protection des zones cultivées contre les crues fréquentes, écrêtement des crues, faible risque de rupture des digues ;
- restauration du cours d'eau lui-même en rétablissant la connectivité avec la plaine alluviale : ouverture partielle ou totale des digues (souvent composées des matériaux issus des extractions exercées dans le lit du cours d'eau), blocage des processus d'érosion créés du fait de la chenalisation du cours d'eau (creusement du lit, érosion intense des berges) par remodelage de la rivière ou la construction de seuils (de plus ces actions ont des effets sur d'autres fonctions : 2.5, 2.6), rétablissement du fonctionnement du lit majeur (intérêt dans les parties amont et moyennes des bassins versants, objets d'urbanisation) par restauration de l'inondabilité (ce qui favorise les fonctions 2.1, 2.5, 2.6, 2.8, 2.9, 2.11, 2.14, 3.3, 3.7) grâce à la mise en place de seuils, au remodelage des berges du lit mineur (formation d'une banquette tenant lieu de lit moyen) et/ou la mise en place d'un écran hydrogéologique.

3- *Amélioration des fonctionnalités de limitation des crues* qui sont toujours présentes mais un peu altérées (en conférant des capacités de rétention à la zone supérieures à ce qu'elles étaient avant aménagement) :

- ouvrages lourds comme les barrages ou les bassins de rétention mais qui sont très chers et dont l'efficacité reste limitée, et dont la perception et l'acceptation par la population locale sont plutôt mauvaises ;
- aménagements intégrés à l'environnement en s'attachant à ne pas avoir de conséquences négatives sur d'autres fonctions ;
- délimitation de zones inondables sur lit mineur, moyen et majeur du cours d'eau mais également sur ses affluents ;
- occupation des sols ;

- degré d'artificialisation du cours d'eau pour distinguer les aménagements susceptibles de modifier les crues fréquentes et ceux qui ont une influence sur les crues exceptionnelles.

Bibliographie

(1)	(2)	(5)	(6)	(7)
(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
(13)	(14)	(16)	(18)	(19)
(24)	(26)	(28)	(32)	(33)
(34)	(36)	(39)	(41)	(42)
(43)	(46)	(50)	(51)	(52)
(57)	(58)	(59)		

1. Fonctions naturelles

1.3. Protection des sols contre l'érosion et réduction des forces érosives

Définition

Les cours d'eau possèdent une énergie cinétique qu'ils dispersent notamment en érodant leurs berges, leur lit et toutes les zones qu'ils traversent en période d'inondation. En traversant une zone humide le courant rencontre des obstacles (notamment la végétation) qui dispersent cette énergie cinétique, réduisant ainsi le pouvoir érosif des cours d'eau (ou de la houle pour les eaux marines).

Fonctionnement

La végétalisation des zones humides offre une résistance à l'écoulement des eaux en dispersant les lignes de courant ce qui réduit la puissance et la force érosive de l'eau. Ainsi en règle générale les berges végétalisées sont moins sensibles à l'érosion que les berges non végétalisées. Plus précisément les berges plantées d'arbres sont plus résistantes que les berges herbeuses du fait de la rugosité du système racinaire et de ses capacités à « tenir » les sols. Cela est surtout vrai pour les ripisylves de feuillus. Lorsque les berges sont plantées de résineux, on observe le phénomène inverse. En règle générale, les tiges, troncs et feuilles ralentissent le flux alors que les racines tiennent les sols.

En milieu côtier la végétation des rives et notamment celle des lidos (cordon littoral entre mer et lagune) stabilise le sol sur lequel elle se trouve et protège la côte de l'érosion.

Aspects négatifs

Les berges nues des cours d'eau sont au contraire des zones végétalisées très sensibles à l'érosion par les cours d'eau. Lorsque ces berges sont surmontées de cultures, la force érosive du cours d'eau n'est pas opposée à la présence notamment de racines et détruit ces berges, pouvant à terme porter atteinte aux cultures (par diminution de surface cultivable par exemple).

Enjeux

La végétation présente sur les zones humides diminue les forces érosives de l'eau et limite donc l'érosion des sols par le courant.

L'érosion des berges ou des sols peut entraîner la destruction d'infrastructures (routières par exemple) qui peuvent s'avérer très coûteuses à réparer.

État des connaissances

L'effet de rugosité des plantes à l'écoulement des eaux, permettant ainsi une réduction des forces érosives, est aujourd'hui un phénomène bien connu. Cependant l'efficacité relative des formations boisées par rapport aux formations herbacées n'est pas clairement établie : des études ont montré que les forêts de feuillus sont plus efficaces que les peuplements herbacés (Piégay, 1995, in (8)) alors que d'autres démontrent l'inverse (Gregory et Gurnell, 1988, in (8)). La différence résulterait de la taille des cours d'eau et de leurs berges : les petits cours d'eau ont de petites berges et les racines superficielles des herbacées sont plus efficaces que les racines profondes des arbres, alors que pour les grands cours d'eau à berges hautes c'est l'inverse, les racines profondes des arbres retenant plus efficacement les sols en profondeur.

Type de zone humide

- ❖ Type 2 : Baies et estuaires moyens-plats
Vasières
- ❖ Type 3 : Marais et lagunes côtiers (*)
- ❖ Type 5 : Ripisylves (*)
Vasières
- ❖ Type 6 : Prairies humides (*)
Forêts alluviales (*)
Bras morts et secondaires (*)
Marais alluviaux (*)
Grèves et bancs d'alluvions
Berges végétalisées
Berges nues (-)
- ❖ Type 7 : Marais (*)
Tourbières
Petites zones humides de fond de vallée
- ❖ Type 9 : Bordures de plans d'eau
- ❖ Type 10 : Marais (*)
- ❖ Type 11 : Mares et étangs isolés
- ❖ Type 12 : Marais aménagés dans un but agricole (*)
- ❖ Type 13 : Carrières réaménagées

Exemples

- Une étude diachronique menée sur les rivières du bassin rhodanien a montré que la bande active du Rhône se réduit fortement entre 1945 et 1970 au moment où une ripisylve se développe en lit majeur (Piégay, 1995, in (8)).
- Une étude menée par le CSP et la DDA des Vosges (France) en 1995 démontre l'influence des plantations de résineux sur la morphologie des petits cours d'eau du piémont et des montagnes vosgiennes. La largeur du lit augmente de 33 à 166% sous les plantations de résineux par rapport aux tronçons sous feuillus (aulnaies). La longueur des berges érodées varie de 30 à 97% sous forêt de résineux contre 2 à 12% sous forêts de feuillus. Deux explications sont proposées : l'enracinement superficiel de l'épicéa commun fragiliserait les berges lorsque celles-ci sont affouillées ou la canopée étant plus fermée que celle des feuillus, le couvert végétal herbacé, susceptible de protéger la berge, serait moins étendu. L'étude recense ainsi 75 espèces

herbacées présentes sous forêts de feuillus, contre 43 sous forêts mixtes et seulement 6 sous forêts de résineux (8).

Indicateurs

- *Débit solide, vitesse d'érosion, accrétion* : mesures de terrain, photos aériennes, modèle mathématique
- Suivi de *l'occupation des sols* dans les secteurs soumis à l'érosion
- *Pente*
- *Type de végétation* (indicateur de la rugosité)
- *Obstacles construits*

Menaces

- **Endiguements** (effets plus importants quand ils sont proches du lit mineur)
- **Aménagements visant à atténuer ou supprimer les variations naturelles**, à contrôler les débits, à stabiliser le lit mineur (barrages, seuils...)
- **Disparition des marais et tourbières** par drainage, comblement des micro et macro-dépressions
- **Réduction de la rugosité des milieux humides** (mise en culture et maintien de sols nus en hiver, débroussaillage, création de plans d'eau...)

Besoins de gestion

- Il faut **favoriser la végétalisation** des berges et abords des cours directement soumis à érosion (en zone inondable).

Bibliographie

(1)	(7)	(8)	(10)	(11)
(13)	(14)	(19)	(32)	(34)
(41)	(50)	(52)	(58)	(59)

1. Fonctions naturelles

1.4. Soutien du débit solide d'un cours d'eau

Définition

L'érosion par les cours d'eaux permet aux sédiments fins et grossiers d'être arrachés du substrat pour être transportés par le cours d'eau. Cette masse solide transportée est le débit solide du cours d'eau. Les berges et le chenal constituent la principale source du débit solide d'un cours d'eau. Les autres zones humides peuvent aussi jouer un rôle dans cette fonction d'une importance plus ou moins forte selon les sites.

Fonctionnement

L'énergie cinétique d'un cours d'eau lui permet d'arracher des sédiments de ses berges et ses abords et annexes lors des crues et de les transporter le long de son cours. L'arrachage de sédiments sur les berges par exemple va permettre d'y créer des milieux pionniers nouveaux où pourront s'installer des espèces variées. Dans des zones de courant moins fort (zones de tressage, delta, plaine inondée...), ces sédiments vont se redéposer et enrichir le milieu en nutriments, matières organiques...

Aspects négatifs

Enjeux

Le transport de la charge grossière par le cours d'eau est fondamental pour l'équilibre géomorphologique. L'érosion des berges empêche le cours d'eau de creuser son lit et donc l'abaissement de la ligne d'eau (qui entraîne l'abaissement de la nappe, la déstabilisation d'ouvrages...). De plus ce transport-dépôt de sédiments fins et grossiers conditionne la physionomie du cours d'eau (méandres, tressage, chenal unique).

Le transport de sédiments par les cours d'eau est indispensable pour l'existence de certaines zones humides comme les deltas. Certains fleuves charriaient une très grande quantité de sédiments se déposant à leur extrémité avale créant ou alimentant ces zones humides très particulières et très importantes pour beaucoup de fonctions que sont les deltas.

Ce phénomène est primordial car il permet de créer sans cesse des milieux « neufs » où les habitats peuvent se régénérer. Il est à l'origine de la diversité biologique des vallées fluviales et des autres fonctions des zones humides dont l'efficacité dépend du bon fonctionnement géomorphologique du cours d'eau.

État des connaissances

Type de zone humide

- ❖ Type 5 : Ripisylves (*)
Vasières
- ❖ Type 6 : Prairies humides (*)
Forêts alluviales (*)
Bras morts et secondaires (*)
Marais alluviaux (*)
Grèves et bancs d'alluvions (*)
Berges végétalisées (*)
Berges nues (*)
- ❖ Type 7 : Marais
Prairies humides
Tourbières
Petites zones humides de fond de vallée
- ❖ Type 8 : Étangs
- ❖ Type 10 : Marais
Prairies humides
- ❖ Type 11 : Mares et étangs isolés
- ❖ Type 12 : Marais aménagés dans un but agricole
- ❖ Type 13 : Carrières réaménagées
Carrières en exploitation (-)

Exemples

- Le long de la Dordogne, sur les départements du Lot, de la Dordogne et de la Gironde, seulement 3 km des 400 km de berges sont des milieux naturels qui sont érodés. Cette érosion favorise le débit solide du cours d'eau. L'enrochement des berges pour leur protection reviendrait 6 millions de francs (0,9 millions d'euros) alors que le rachat par la collectivité d'une bande de 10 m de large coûterait 45.000 F (6.860 €) (5).
- Autrefois l'Ebre (Espagne) charriait une grande quantité de sédiments, notamment grâce à de fortes crues (la dernière date de 1937). La construction de nombreux barrages et de systèmes d'irrigation au cours de la première moitié du XX^{ème} siècle a fortement modifié le cycle annuel de dépôt des sédiments dans le delta. Depuis 1965 l'apport de sédiments est passé de 4 millions de tonnes par an à 400.000 aujourd'hui ! Les sédiments s'accumulent dans les barrages de Ribarroja-Mequinença et l'accroissement actuel du delta est probablement inférieur à l'élévation relative du niveau de la mer : le delta s'affaisserait de 3 à 7 mm par an entraînant une érosion du rivage que le fort accroissement qui existait jusqu'aux années cinquante avait empêchée (6).

Indicateurs

- *Bilan érosion/dépôts* : comparaison de profils en travers et cartes anciennes
- *Granulométrie* des berges

Menaces

- **La protection des berges, les prélèvements de matériaux et tout les dysfonctionnements du système fluvial** entraînent une diminution de l'érosion des berges et donc du débit solide des cours d'eau ce qui provoque un enfoncement de la ligne d'eau et une diminution e la dynamique latérale : les zones humides adjacentes ne sont plus soumises aux remaniements par le cours d'eau et perdent petit à petit certaines de leurs fonctions (biodiversité, régulation des nutriments, écoulement des crues...).
- **Les barrages construits sur les cours d'eau** sont aujourd'hui des pièges à sédiments qui sont bloqués dans les retenues et ne peuvent plus atteindre les deltas. Et l'endiguement des cours d'eau provoque également une importante diminution de l'érosion et donc de la charge solide des cours d'eau, charge solide normalement indispensable à l'entretien des deltas. Cette perte d'arrivée de sédiments dans les deltas parfois énorme (95% pour le Nil ou l'Ebre, 75% pour le Pô, 50% pour le Rhône) provoque un affaissement des deltas et une érosion accrue du rivage.

Besoins de gestion

- **Connaître l'état géomorphologique** du cours d'eau : savoir s'il est en excédent ou en déficit de sédiments.
- Il faut en cas de déficit **favoriser les divagations du cours d'eau** pour favoriser l'érosion des berges. Les protections des berges ne devront être réalisées qu'aux endroits sensibles (équipements routiers, bâtiments). De plus le dédommagement des propriétaires est moins coûteux que l'enrochement. Selon la fonction que l'on souhaite voir dominer pour le cours d'eau, il faudra soit favoriser les boisements favorisés pour la stabilisation des berges si on veut privilégier la régulation des nutriments ou la rugosité, ou il faudra au contraire couper une partie de la végétation du lit mineur voire déstabiliser les berges pour faciliter la mobilisation de sédiments par le cours d'eau si on veut favoriser la recharge du débit solide et l'abaissement des lignes d'eau en crue.

Bibliographie

(5) (6) (14) (34) (41)

1. Fonctions naturelles

1.5. Stockage ou exportation des matières organiques

Définition

Les cours d'eau, par arrachage des débris végétaux et des organismes morts, transportent une grande quantité de matières organiques. Lorsque ces eaux courantes traversent des zones humides, la vitesse du courant est fortement diminuée et les matières organiques peuvent se déposer au fond de la zone humide. Ainsi la zone humide va stocker ces matières organiques dans ses sédiments offrant donc une source nutritive à bon nombre d'organismes vivants. Mais à d'autres périodes (repos végétatif, crues importantes) ces matières organiques vont pouvoir être exportées en aval de la zone humide, fournissant aux milieux en aval des éléments nutritifs utiles au développement des organismes.

Fonctionnement

La sédimentation de la matière organique dans les zones humides est possible grâce à la végétation qui ralentit l'écoulement des eaux. Cette matière organique est donc stockée dans le sol et peut être utilisée par les organismes vivants ou relarguée en période de repos végétatif ou lors d'un remaniement du sol (labour, défrichage...).

La ripisylve en particulier constitue une source importante de matière organique et ligneuse qui peut potentiellement entrer, migrer et se déposer dans le système fluvial, et compte tenu de la taille de certains arbres ou troncs, ceux-ci peuvent avoir un rôle géomorphologique. L'apport de bois n'est pas présent dans tous les cours d'eau. Ce phénomène dépend de la morphologie du cours d'eau et de sa force d'érosion. La présence de ce bois et particulièrement des embâcles qu'il peut former est important car il peut influencer sur sa géomorphologie en modifiant l'écoulement et les débits de l'eau en amont et en aval : ils forment un barrage à l'amont qui favorise la sédimentation et favorise la présence de mouilles à l'aval notamment très favorables aux poissons.

Aspects négatifs

Enjeux

Les embâcles créent une variété d'habitats prisés par les poissons (enjeu écologique et économique et social pour la pêche). Cependant ils sont régulièrement enlevés dans le mode de gestion habituel car ils ont tendance à perturber l'écoulement des crues (création de barrages aux droits des ponts et autres resserrements, pouvant relever les lignes d'eau et en cas de rupture, créer un pic de crue.

De plus la matière organique transportée par les cours d'eau est importante car elle permet de fertiliser les milieux situés plus en aval.

État des connaissances

Les capacités d'épuration des zones humides sont reconnues mais les données globales sont rares. Divers auteurs ont estimé qu'un marais en Louisiane avait une capacité d'épuration de 20 kg de DBO par ha et par jour (Odum, 1974, in (1)).

Type de zone humide

- ❖ Type 2 : Baies et estuaires moyens-plats
Vasières (*)
- ❖ Type 3 : Marais et lagunes côtiers (*)
- ❖ Type 4 : Marais saumâtres aménagés
- ❖ Type 5 : Ripisylves (*)
Vasières (*)
- ❖ Type 6 : Prairies humides (*)
Forêts alluviales (*)
Bras morts et secondaires (*)
Marais alluviaux (*)
Grèves et bancs d'alluvions
Berges végétalisées
Berges nues
- ❖ Type 7 : Marais (*)
Prairies humides (*)
Tourbières (*)
Petites zones humides de fond de vallée
- ❖ Type 8 : Étangs (*)
- ❖ Type 9 : Bordures de plans d'eau (*)
- ❖ Type 10 : Marais (*)
Prairies humides (*)
- ❖ Type 11 : Mares et étangs isolés (*)
- ❖ Type 12 : Marais aménagés dans un but agricole
- ❖ Type 13 : Carrières réaménagées

Exemples

Indicateurs

- *Examen des populations benthiques*, listes faunistiques et floristiques
- *Mesures in situ du sédiment* et mesure du taux de matière organique

Menaces

- **Modification du couvert végétal** et de l'occupation des sols
- **Boisements monostrates** (plantation de peupliers)
- **Surfaces inertes** (berges mises à nu, enrochées ou bétonnées)

- **Drainage et assèchement** des zones tourbeuses et marécageuses

Besoins de gestion

- **Favoriser le passage des crues** dans les zones humides

- Dans les zones ne présentant pas de risques humains, **laisser les embâcles**

Bibliographie

(1)	(2)	(8)	(10)	(11)
(12)	(13)	(14)	(19)	(20)
(24)	(34)	(41)	(42)	(52)

1. Fonctions naturelles

1.6. Interception des matières en suspension – stockage des matières particulières

Définition

Les cours d'eau possèdent une énergie cinétique qui leur permet d'éroder les sols, les berges, d'arracher des débris végétaux et de les transporter le long de son cours. Lorsque leurs eaux traversent des zones humides, la vitesse du courant est fortement ralentie et les matières en suspension (MES) dans l'eau peuvent se déposer au fond de la zone humide. Cette sédimentation fait que les zones humides ont une durée de vie limitée puisqu'elles vont peu à peu se combler jusqu'à atterrissement complet.

Cette rétention des MES est importante car l'excès de MES dans un cours d'eau entraîne d'importants problèmes en matière d'hydrobiologie. En effet ces particules entraînent une turbidité de l'eau, réduisant donc la pénétration de la lumière. Ainsi les végétaux ne sont plus capables d'effectuer la photosynthèse (la productivité primaire chute), et donc l'oxygénation de l'eau diminue. Cette asphyxie empêche l'installation, la survie et le développement des espèces dépendantes de l'oxygène (faune). De plus les MES ont aussi une action mécanique : elles colmatent le fond des rivières, empêchant le développement des végétaux et de la microfaune benthique, et les branchies des poissons.

Fonctionnement

En traversant une zone humide, les conditions et capacités de transport de l'eau sont modifiées, entraînant la sédimentation et le stockage des MES. Plusieurs facteurs influencent l'intensité de l'interception des MES par une zone humide : la charge en MES du cours d'eau, la nature et la taille des particules, les conditions hydrologique et hydrauliques et la localisation, taille et rugosité des zones humides. L'efficacité d'une zone humide en tant que piège à MES est maximale quand son exutoire est petit, voire absent.

Les zones humides de dépression : ce sont toutes les zones humides situées à un point topographique bas et qui sont donc des réceptacles d'eau et de matière. Parmi celles-ci, certaines ne sont alimentées que par les eaux de pluie ou les eaux souterraines. Dans ce cas les apports particuliers sont très limités. Le phénomène prédominant est une accumulation lente de matière organique. D'autres sont alimentées par des eaux de surface (avec un exutoire restreint, voire absent) et présentent donc un apport en matières en suspension beaucoup plus important. Les dépressions profondes (lacs) sont des pièges à particules et leur comblement est inéluctable. Les lacs se combleront petit à petit jusqu'à devenir de véritables zones humides à leur phase terminale.

Les plaines alluviales : les chenaux fluviaux transportent des matières en suspension de toute taille (aussi bien des limons et des argiles que des sables fins ou grossiers). Lors des crues, lorsque le débit à pleins bords est dépassé, les eaux débordent dans le lit majeur, mettant ainsi en eau les plaines inondables. La vitesse de montée et de descente des eaux va conditionner la surface de plaines qui sera mise en eau. Ces débordements vont permettre ainsi aux

particules en suspension dans le cours d'eau de rejoindre les zones inondées et éventuellement s'y déposer. Lorsque des chenaux abandonnés existent, le flux de débordement passe préférentiellement dans ces annexes. Le débit y est beaucoup plus faible que dans le chenal principal ce qui favorise la sédimentation des matières en suspension (d'autant plus que la sinuosité du chenal est grande). Il existe sur l'ensemble de la plaine un gradient latéral de taille des particules déposées : plus on s'éloigne du chenal et plus les sédiments seront fins (car le courant est plus faible). Le long du continuum fluvial, les dépôts de sédiments en conditions normales (hors crues) sont variables en fonction de la morphologie du cours d'eau. En règle générale la force du courant diminue lorsqu'on se dirige vers l'aval, la plaine étant de plus en plus large. De plus il y a une variation entre les différents tronçons et de l'énergie du cours d'eau (zone de tressage, de méandrage, gorges...). Les ripisylves sont particulièrement de bons pièges à sédiments, notamment lors des crues. La rugosité de la végétation (d'autant plus forte que la densité est élevée) ralentit le courant et permet aux particules en suspension dans l'eau de se déposer sur le sol.

Les deltas : les deltas sont des milieux à l'interface des eaux fluviales et marines. Il y résulte des flux sédimentaires complexes auxquels sont associées des zones humides dont la productivité est parmi les plus importantes du monde. A l'inverse des estuaires les deltas sont sous influence fluviale dominante. Les processus de sédimentation sont variés : la partie amont le delta est plutôt sous influence fluviale alors qu'en aval c'est l'influence marine et des marées qui domine. Ainsi on y observe des zones humides qui se répartissent selon un gradient de salinité de l'amont vers l'aval (eaux douces, eaux saumâtres puis eaux salées). Dans la plaine deltaïque il y a une mosaïque de chenaux de tailles diverses et de zones humides. Le fonctionnement de la sédimentation dans cette plaine est comparable à celui des plaines alluviales. Dans la partie submergée (front deltaïque) il y a une sédimentation sableuse d'origine fluviale ou marine. Enfin les vasières prodeltaïques résultent de la dispersion vers le large des particules fines et de leur décantation.

Le fonctionnement de la Camargue est particulier dans la mesure où ce delta est presque entièrement isolé du Rhône par des digues. Les crues ne rentrent pas, sauf rupture des digues, ou ponctuellement à l'aval. Le delta est toutefois alimenté par le Rhône (pompage), conduisant à un apport en MES.

Aspects négatifs

Enjeux

La végétation des zones humides ralentit les eaux d'écoulement et permet ainsi la sédimentation des matières en suspension. En retenant une partie des sédiments portés par les cours d'eau, les zones humides participent à l'amélioration de la qualité des eaux en réduisant leur charge solide et en immobilisant de façon plus ou moins durable les éléments nutritifs, polluants ou toxiques associés aux matières en suspension.

Les MES déposées lors des crues dans les plaines alluviales sont souvent chargées en éléments nutritifs et en matières organiques ; elles fertilisent ainsi ces plaines permettant à la végétation (dont les cultures) de se développer.

État des connaissances

Les données existantes dans ce domaine sont nombreuses. Cette fonction ne peut donc plus aujourd'hui être remise en question : si 10 à 20% du bassin versant est occupée par des zones humides, la rétention des matières en suspension est importante. Les forêts alluviales jouent un rôle majeur dans ce piégeage en retenant les éléments grossiers alors que les éléments les plus fins se déposent dans les formations palustres en bordure des cours d'eau (Fustec et Frochot, 1994, in(1)).

Type de zone humide

- ❖ Type 2 : Baies et estuaires moyens-plats (*)
Vasières (*)
- ❖ Type 3 : Marais et lagunes côtiers (*)
- ❖ Type 4 : Marais saumâtres aménagés
- ❖ Type 5 : Ripisylves (*)
Vasières
- ❖ Type 6 : Prairies humides (*)
Forêts alluviales (*)
Bras morts et secondaires (*)
Marais alluviaux (*)
Grèves et bancs d'alluvions
Berges végétalisées
Berges nues (-)
- ❖ Type 7 : Marais (*)
Prairies humides
Tourbières
Petites zones humides de fond de vallée
- ❖ Type 8 : Étangs
- ❖ Type 9 : Bordures de plans d'eau
- ❖ Type 10 : Marais (*)
Prairies humides
- ❖ Type 11 : Mares et étangs isolés
- ❖ Type 12 : Marais aménagés dans un but agricole (*)
- ❖ Type 13 : Carrières réaménagées
Carrières en exploitation

Exemples

- Le lac de Grand-Lieu au sud de Nantes (Loire-Atlantique) est alimenté par deux cours d'eau (qui drainent un bassin de 67000 ha) et se déverse jusque dans la Loire par un cours d'eau à pente très faible. En période de crue il couvre une superficie de 6300 ha de prairies périphériques alors qu'en été seuls 4000 ha sont en eau, dont la moitié occupés par une roselière (qui ont progressé de 16 ha par an entre 1945 et 1976 et qui régressent depuis au profit de zones boisées). Dans la partie constamment en eau, aux faibles profondeurs (< 0,7 m en juillet), il y a une couverture de macrophytes flottants. Il ne reste que 600 ha non envahis par la végétation où la profondeur varie entre 1,2 et 1,7 m en juillet. Les études ont montré que depuis 7000 ans il y a progression de la végétation vers le centre du lac. Mais les aménagements réalisés au XIX^e siècle et entre 1954 et 1962 ont modifié le fonctionnement hydraulique du lac accélérant la

progression des végétaux. De plus les aménagements du bassin versant et les activités qui s'y sont développées (intensification de l'agriculture, urbanisation) ont modifié le fonctionnement hydraulique et augmenté les apports de nutriments. Il en résulte une eutrophisation responsable de l'envasement. De plus la sédimentation s'est accélérée depuis les cinquante dernières années surtout dans la zone à macrophytes de plus en plus développée (7,6 mm/an) (2).

- Une proportion de 10 à 20% de zones humides réparties dans un bassin versant suffit à assurer une rétention importante des matières en suspension, l'efficacité maximale (environ 90%) étant atteinte avec une proportion de 40% de surface (Fustec et Frochot, 1994, in (1)).
- Une zone humide boisée occupant 36% de la surface d'un petit sous-bassin (16,3 ha) de la Rhode River dans le Maryland (USA) piège 94% des matières en suspension mobilisées dans les zones cultivées à l'amont, la majeure partie étant retenue dans les 20 premiers mètres de la ripisylve (Fustec et Frochot, 1994, in (1)).
- Dans 2 sous-bassins de Caroline du Nord, 84% et 90% de rétention dans les zones humides des bassins ont été mesurés, les matériaux les plus grossiers se déposant d'abord dans les zones boisées de fond de vallée, les argiles ne se déposant que dans les formations palustres en bordure des cours d'eau. Une zonation dans la sédimentation apparaît alors au sein du sous-bassin versant (Fustec et Frochot, 1994, in (1)).
- La vitesse d'accumulation moyenne des sédiments dans les zones humides estuariennes serait à l'échelle du globe de 0,2 à 0,4 cm/an. D'une manière générale la dynamique sédimentaire naturelle tend au comblement progressif des estuaires et au resserrement des lignes de rivage. Ce phénomène est incontestablement important et visible à l'échelle humaine comme en témoigne actuellement la vitesse du comblement de la baie du Mont Saint Michel et de l'Anse de l'Aiguillon en bordure du marais Poitevin par exemple (5).
- Les bandes enherbées filtrent le ruissellement qu'elles reçoivent et retiennent les matières en suspension. 89% des matières en suspension sont retenues avec 6 m de bande enherbée, 84% avec 12 m et 99% avec 18 m. La moyenne des efficacités enregistrées au cours des expérimentations a été respectivement de 87, 77 et 99% pour des bandes de 6, 12 et 18 m de large (Agence de l'Eau Loire-Bretagne, in (5) ; (37)).
- L'épaisseur maximale des dépôts sédimentaires observée à la suite de la crue de 1992 dans la forêt alluviale de Violès sur l'Ouvèze (France) est de l'ordre de 16 cm, mais des valeurs bien supérieures (0,8 à 1 m) ont été observées dans certaines parcelles viticoles (Piégay, 1995, in (8)).

Indicateurs

- *Mesure et évaluation des dépôts* à l'échelle des épisodes de crue
- *Mesure des taux de sédimentation* par intégration du temps
- *Modélisation de la sédimentation* sur les lits majeurs
- *Surface* de la zone humide
- *Connectivité* au réseau hydrographique
- *Mesure des taux en MES* de l'eau à l'entrée et à la sortie de la zone humide et comparaison avec des normes et calculs de bilans, analyse spéciale des données
- *Estimation des volumes, poids de sédiments* déposés, changements dans les hauteurs d'eau, volumes d'eau...
- *Topographie et types de végétation* (indicateur de rugosité)
- *Facteurs d'altération* : modifications hydrauliques...

Menaces

- **Modification du couvert végétal et de l'occupation des sols** (augmentation de l'érosion de sols et augmentation de la charge solide des cours d'eau)
- **Boisements monostrates** (plantation de peupliers) qui ne ralentissent plus assez le courant et donc ne piègent que peu de sédiments
- **Surfaces inertes** (berges mises à nu, enrochées ou bétonnées)
- **Barrages sur les cours d'eau** qui retiennent les matières en suspension (qui réduisent considérablement les capacités de sédimentation en aval dont les deltas)

Besoins de gestion

- **Restaurer la dynamique fluviale**, lutter contre l'endiguement et rétablir les crues
- Agir pour **restaurer les peuplements végétaux** intercepteurs de matières en suspension
- **Gérer les apports diffus** par ruissellement issus de l'agriculture, de l'urbanisme pour limiter les apports en matières en suspension

Bibliographie

(1)	(2)	(3)	(5)	(8)
(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
(14)	(19)	(20)	(24)	(31)
(32)	(34)	(37)	(39)	(41)
(42)	(46)	(50)	(52)	(54)
(56)	(57)	(58)	(59)	

1. Fonctions naturelles

1.7. Régulation des nutriments (dénitrification, piégeage du carbone et du phosphore...)

Définition

Les zones humides sont capables de retenir de façon significative les quantités de nutriments (azote et phosphore) qui les traversent. Cette capacité de rétention, couplée à une capacité d'épuration permet de réduire la charge en nutriments des cours d'eau et des eaux de ruissellement et d'éviter les effets néfastes d'une trop grande quantité de nutriments dans l'eau (eutrophisation, eau potable). Cette capacité a été utilisée rapidement pour lutter contre les pollutions diffuses liées notamment à l'agriculture.

Fonctionnement

Le ralentissement du courant par la présence de végétation permet une sédimentation des d'éléments fins (minéraux ou organiques). Les éléments nutritifs sont puisés par les végétaux soit dans les matières sédimentées soit dans les eaux d'infiltration. Les micro-organismes du sol permettent la minéralisation de certains éléments et plus le chevelu racinaire est dense plus les communautés de micro-organismes sont importantes. Ces nutriments peuvent être relargués dans le milieu lorsque le sol en est saturé, en période végétative ou lors d'un remaniement du sol (labour, défrichage...).

Azote : il est présent sous plusieurs formes : minérales et organiques, solides, dissoutes et gazeuses.

Transfert : son transfert dans les bassins versants se fait essentiellement sous forme minérale dissoute (le nitrate NO_3^-). Ces nitrates sont faiblement retenus par les sols et les sédiments et sont donc facilement entraînés. De plus l'azote peut aussi être transporté sous forme solide (sous forme organique particulaire ou minérale ammoniacale adsorbée sur les colloïdes argileux et humiques). Dans ce cas le transport est lié aux transferts de matières solides.

Conditions de fonctionnement : la position des zones humides par rapport aux écoulements de surface et/ou de subsurface est primordiale car elle conditionne la proportion d'eau et donc d'azote dissous qu'elle va pouvoir intercepter. Cette interception physique par les zones humides est un préalable nécessaire mais pas suffisant pour le recyclage des nitrates. De plus le type de zone humide et surtout le type d'alimentation en eau va conditionner le potentiel de régulation des flux d'azote. Les nitrates qui arrivent dans la zone humide sont dégradés (en ammoniacque ou en azote gazeux) par les bactéries du sol. L'azote qui est stocké dans les végétaux ne représente qu'une faible partie des apports dans la zone humide et ces stockages ne sont que temporaires (à la mort de la plante, l'azote stocké retourne au milieu). La dénitrification bactérienne est donc le seul processus permettant d'éliminer complètement l'azote des zones humides.

Variabilité temporelle et spatiale : mais l'activité dénitrifiante n'est pas constante dans le temps : elle est maximale en périodes de hautes eaux et de repos végétatif (hiver) alors qu'à la fin du printemps et le début de l'été c'est l'absorption qui domine (lorsque les sols sont

ressuyés). Dans les régimes nivaux à hautes eaux estivales les deux processus se superposent en été. En outre, la dénitrification ne se fait pas de la même façon dans toute la zone humide. En effet la partie la plus importante pour cette activité n'est pas la zone humide en elle-même mais la l'interface milieu humide/milieu terrestre. Plus la zone de contact sera importante et plus la zone pourra assurer la fonction de dénitrification.

Mécanismes : la dénitrification résulte de l'utilisation par certaines bactéries de l'ion nitrate en absence d'oxygène comme accepteur terminal du pouvoir réducteur des oxydations respiratoires, avec rejet d'oxydes d'azote voire même de diazote vers l'atmosphère. La dénitrification est efficace lorsque les organismes dénitrifiants se trouvent placés dans des conditions anoxiques, souvent dans des sols limono-argileux saturés d'eau. Mais cette activité est dépendante de la température et de la présence de carbone organique qui entre dans les processus énergétiques. Dans les milieux alluviaux l'alternance de périodes où les sols sont ressuyés et de périodes où les sols sont humides, voire saturés d'eau, provoque l'alternance des processus de nitrification en période sèche et de dénitrification et/ou de réduction dissimilative (transformation du nitrate en ammonium) en période humide. C'est en période de crue et de hautes eaux, lorsque les sols se trouvent complètement engorgés par la remontée de la nappe phréatique et/ou submergés, que la dénitrification est la plus efficace. Par contre elle est faible ou nulle quand la teneur volumique en eau est inférieure ou égale à 60% de la teneur à saturation. La nature physique du sol joue un rôle important sur la dénitrification : le taux de celle-ci est estimé à 5 kg/ha/an dans des forêts riveraines aux sols moyennement drainés et à 40 kg/ha/an dans des sols mal drainés et enrichis en nitrates (Hanson et al., 1994, in (8)). De même 70% de l'azote organique total dans des sols limoneux est éliminé contre seulement 32% dans des sols sableux (Pinay et al., 1995, in (8)). La dénitrification est donc étroitement liée à l'hydrologie des sites mais aussi à la présence et/ou aux apports de carbone organique (efficace à partir de 10 mg/l de carbone organique dissous dans le milieu), car la plupart des bactéries dénitrifiantes sont hétérotrophes, et de nitrates.

Schéma du processus de dénitrification : $\text{NO}_3 \rightarrow \text{NO}_2 \rightarrow \text{NO} \rightarrow \text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2$.

Nous pouvons noter en outre que l'activité dénitrifiante des tourbières est généralement faible, voire nulle (Francez et al., 2000, in (48)).

Filtration des eaux phréatiques : à la dimension longitudinale du transfert des nutriments par le fleuve et à leur recyclage en surface par les végétaux et les microorganismes se superpose fréquemment une dimension transversale qui participe efficacement au recyclage de l'azote circulant dans les nappes phréatiques. Drainant les plaines cultivées où généralement est pratiquée une agriculture intensive, les eaux de pluie diffusent dans le sol en provoquant le lessivage des nitrates agricoles non assimilés par les plantes cultivées et vont gagner l'aquifère. Les nappes s'écoulent en direction des points bas que sont les cours d'eau. Mais, avant de quitter leur état d'eau phréatique et de rejoindre le cours d'eau, elles peuvent traverser les ripisylves quand la zone n'est pas mise en culture jusqu'au haut de berge. Au passage les végétaux équipés de systèmes racinaires plus ou moins profonds pourront puiser l'azote qui circule dans les eaux phréatiques. Ils se transforment ainsi en un filtre naturel très efficace contre les pollutions diffuses.

Phosphore : le phosphore est un élément essentiel à la survie des organismes. Cependant lorsqu'il est présent en trop grande quantité dans une zone humide, il participe à l'eutrophisation du milieu.

Sources ou puits à phosphore : l'origine du phosphore est très diverse et les zones humides peuvent être soit des sources soit des puits à phosphore (une même zone humide peut être l'un ou l'autre en fonction de la période). Dans une zone humide quasi fermée, le phosphore « tourne » dans l'écosystème, passant du sol aux végétaux. Dans une zone humide ouverte, la majorité du phosphore arrive sous forme particulaire, minérale ou organique. Dans

ce cas de figure, il est souvent observé que les émissions de phosphore biodisponible vers ou à partir d'une zone humide ne sont pas constantes d'une année sur l'autre et même au cours de l'année (prélèvements au printemps, libération à l'automne). Les zones humides ouvertes sont davantage des lieux de transformation de la biodisponibilité du phosphore que des pièges durables à phosphates. Les zones humides sans exutoire significatif retiennent la quasi-totalité du phosphore et les zones humides des bassins amont retiennent de façon importante et durable le phosphore particulaire.

Accumulation : les zones humides sont donc capables d'inactiver et stocker le phosphate. Son accumulation est permanente mais il ne peut être recyclé. Mais il peut être dissipé par l'exportation des produits de la zone humide (pêche, coupe des roselières, enlèvement des algues).

Mécanismes : les formes du phosphore assimilable par les végétaux sont des phosphates solubles dans la solution du sol ou adsorbés généralement à la surface des colloïdes argilo-humiques par l'intermédiaire de cations calcium sur substrat calcaire. En outre dans les sols calcaires le phosphate précipite sous forme de phosphate tricalcique évoluant vers des hydroxyapatites devenant alors non assimilables par la végétation. Toutefois en zone inondable cette carence potentielle en phosphates est compensée par des apports réguliers dans les eaux de crue. La disponibilité du phosphate est clairement démontrée par le diagnostic foliaire. En période de remontée de nappe qui sature le sol en eau et crée ainsi des conditions réductrices les concentrations de phosphates augmentent par solubilisation des phosphates qui proviennent de la transformation de la matière organique par les microorganismes du sol. Plus le sol est réducteur plus faible sera sa capacité de rétention du phosphate. Ce résultat est dépendant des formes du fer : en conditions réductrices, le fer ferreux se lie au phosphate pour former du phosphate ferreux soluble, en conditions oxydantes, le phosphate lié au fer sous forme ferrique est insoluble et donc précipite. Les fluctuations des niveaux d'eau correspondent à des fluctuations du taux d'oxygène dissous dans le sol, de faibles concentrations d'oxygène conduisant à une baisse du potentiel rédox et à un relargage de fer ferreux et donc de phosphate ferreux (Patrick, 1990, 1994 ; Holford et al., 1990, in (8)). Comme pour les nitrates les fluctuations des concentrations en phosphates dans la nappe sont liées à l'hydrologie des sites qui modifie les réactions, chimiques dans le cas des phosphates, microbiologiques dans le cas des nitrates. En période de basses eaux les concentrations faibles relevées dans les eaux souterraines sont le résultat de l'adsorption du phosphate sur les colloïdes mais aussi de la précipitation sous forme de phosphate ferrique ou de phosphate tricalcique. Les débordements produisent des pics de phosphates mais parfois leur diminution dans les eaux de retrait ; cette diminution serait due à la dilution lors du mélange des eaux souterraines et des eaux de surface, les eaux de rivière pouvant être moins chargées en phosphate que les eaux souterraines qui ont resolubilisé des phosphates lors de la remontée de la nappe. Ce processus de dilution est également valable pour les nitrates (8).

Azote et phosphore et la végétation : la rhizosphère et le système racinaire des végétaux jouent également un rôle dans le recyclage des nutriments. En effet ils prélèvent l'azote et le phosphore déposés dans les sédiments de crue pour leur fonctionnement physiologique. La quantité des prélèvements dépend de la nature et de la structure du couvert végétal mais ne paraît pas être influencée par les conditions hydrologiques. La végétation arborée bien développée (en juillet-août) présente un prélèvement racinaire vraiment conséquent et ceux-ci se maintiennent tant que le couvert végétal reste fonctionnel, parfois tardivement en automne selon les conditions écologiques et la quantité des végétaux sur place. Certains auteurs font remarquer qu'une strate herbacée restée active en hiver est responsable de prélèvements azotés non négligeables en période de repos végétatif des arbres. Et il apparaît également qu'une forêt est plus efficace qu'une prairie. De même le stade terminal de la succession

forestière alluviale (la chênaie à ormes et frênes) s'avère être plus efficace dans l'épuration des eaux de nappe et des eaux de débordement du fait de sa diversité spécifique et de sa complexité structurale. Il existe en outre un effet stimulant de la rhizosphère sur la dénitrification résultant de la consommation d'oxygène par les racines mais aussi de l'apport de carbone par les exudats racinaires. Que l'action des végétaux soit directe (absorption) et/ou indirecte (apports de carbone), elle a un rôle important dans les processus de recyclage des nutriments déposés par les eaux de débordement.

Dans les tourbières le piégeage de l'azote et du phosphore se fait plutôt dans les végétaux que par dénitrification des microorganismes. En effet les conditions locales pauvres en éléments nutritifs limitent le développement et l'activité de ces microorganismes (dans une expérience menée en laboratoire, l'inhibition de l'activité microbienne permet de retrouver 90% du phosphate marqué dans la plante alors que c'est l'inverse lorsqu'on laisse les microbes actifs (Walbridge, 1991, in (30)).

Aspects négatifs

Enjeux

La dénitrification par les micro-organismes du sol permet d'épurer les eaux d'un surplus de nutriments azotés et contribue ainsi à la préservation des écosystèmes aquatiques (lutte contre l'eutrophisation) mais également de la ressource en eau potable.

On utilise actuellement les capacités naturelles des zones humides à piéger les phosphates pour protéger les milieux naturels de nos productions polluantes (bassins de décantation des eaux usées par lagunage, bandes enherbées pour protéger les cours d'eau des pesticides en zones de culture) (cf. fonction 1.8).

État des connaissances

Azote : l'absorption de l'azote par les zones humides est relativement bien connue. Dans l'eau l'azote peut circuler sous forme dissoute ou sous forme particulaire (débris d'organismes vivants). Le stockage et l'élimination de cet azote dépendent de trois processus : la sédimentation et le stockage dans le sol, l'utilisation par les végétaux pour leur développement et la dénitrification (transformation des nitrates en azote gazeux). 60 à 95% de l'azote associé à des particules en suspension est retenu par la végétation (Fustec et Frochot, 1994, in (1)).

Phosphore : comme l'azote le phosphore peut arriver dans les zones humides sous forme particulaire ou dissoute. La capacité de stockage par sédimentation en phosphore est à la fois importantes en quantité (60 à 95% du phosphore particulaire immobilisé (Peterjohn et Correll, 1984, (1) ; Johnson, 1984, in (1))) et en durée (un dépôt introduit dans un marais était toujours immobilisé après 20 ans (Cooper et Guillian, 1987, in (1)). Beaucoup d'organismes interviennent dans l'interception et le stockage du phosphore mais les bactéries en immobiliseraient jusqu'à 90%. Les plantes sont également des réservoirs importants de phosphore (rhizomes, racines, troncs...) mais une certaine proportion retourne dans le sol et les eaux à la chute des feuilles. Une ripisylve contribuerait beaucoup à cette fonction car ses prélèvements sont estimés à 10 kg/ha/an (Peterjohn et Correll, 1984, in (1)). Et sur l'ensemble

d'un bassin versant, les diverses zones humides assureraient 30 à 75% du flux de phosphore (Dorioz et Fehri, 1994, in (1)).

Type de zone humide

- ❖ Type 2 : Baies et estuaires moyens-plats (*)
Vasières (*)
- ❖ Type 3 : Marais et lagunes côtiers (*)
- ❖ Type 4 : Marais saumâtres aménagés (*/-)
- ❖ Type 5 : Ripisylves (*)
Vasières
- ❖ Type 6 : Prairies humides (*)
Forêts alluviales (*)
Bras morts et secondaires (*)
Marais alluviaux (*)
Berges végétalisées
- ❖ Type 7 : Marais (*)
Prairies humides
Tourbières (*)
Petites zones humides de fond de vallée
- ❖ Type 8 : Étangs
- ❖ Type 9 : Bordures de plans d'eau (*)
- ❖ Type 10 : Marais (*)
Prairies humides
- ❖ Type 11 : Mares et étangs isolés
- ❖ Type 12 : Marais aménagés dans un but agricole (-)
- ❖ Type 13 : Carrières réaménagées
Carrières en exploitation

Exemples

- 60 à 95% de l'azote associé aux particules mises en suspension et transportées par les eaux de ruissellement sont piégés par les ripisylves en particulier dans les petits bassins versants en tête de réseaux hydrographique (Fustec et Frochot, 1994, in (1)).
- 60 à 95% du phosphore particulaire introduit dans les zones humides riveraines des petits cours d'eau à l'amont des bassins qui alimentent des lacs est immobilisé avant d'atteindre les eaux de surface (Peterjohn et Correll, 1984, in (1)).
- Dans les forêts alluviales très productives de la Garonne la capacité de dénitrification a été évaluée à 50 mg/m²/j d'azote (Pinay, 1986, in (2)).
- Dans la Garonne, une ripisylve prélève 38 fois plus d'azote qu'une prairie (0,38 gN-NO₃/m²/j contre 0,01 gN-NO₃/m²/j) : les arbres prélèvent l'azote de la nappe même lorsqu'elle s'abaisse en été ce qui n'est pas le cas des prairies (Ruffinoni, 1994, in (2)).
- En moins de 30 m une ripisylve peut abattre de 80% la teneur en nitrates du bassin versant (Lefeuvre, Colloque zones humides, oct. 1994, in (2)).

- Sur la Seine, 100 m de rive stockent 30 à 40 kg de phosphore au cours de la période de submersion annuelle (Agence de l'Eau Loire-Bretagne, 1997, in (2)).
- Le sol des rizières camarguaises permet de dénitrifier 80% des engrais azotés utilisés par les agriculteurs une semaine après leur épandage. Ce taux de transformation rapide oblige alors les agriculteurs à déverser des doses plus élevées afin de fournir aux cultures l'azote nécessaire (6).
- Les plans d'eau du parc de Miribel-Jonage (France) permettent de faire passer la teneur des eaux en nitrates (NO₃) de 50 à 10 mg/l environ (7).
- Sur un cycle annuel, les capacités de dénitrification *in situ* de 2 ripisylves garonnaises (Verdun et Grenade) placées dans des conditions pédologiques différentes ont été comparées par Ruffinoni (1991, 1994, 1996). La dénitrification *in situ* est toujours plus importante sur le site de Verdun où les sols sont battants (74% argile et limons). Elle évolue brusquement à partir de mars-avril et reste efficace jusqu'en juin au moment des crues lorsque les sols sont inondés et/ou lorsque la nappe phréatique remonte. A Grenade où les sols sont très perméables (70% de sables) elle reste faible sauf au moment des submersions par les crues et/ou la remontée de la nappe, mais ici les processus sont extrêmement fugaces compte tenu de la rapidité du ressuyage des sols (8, p.141).
- La charge en nitrates des eaux apportées par les échanges nappe-rivière est réduite de 73% lorsqu'elle circule sous une forêt alluviale et de seulement 34% dans le cas d'une prairie (Takatert et al., 1999, in (8)).
- Une surface couverte de peupliers peut retenir jusqu'à 99% de nitrates qui entrent dans le système et une végétation herbacée 84% (Haycock et Pinay, 1993, in (8)).
- La diminution des concentrations en phosphates et nitrates dans la nappe est beaucoup moins forte (d'un facteur 10) dans une saulaie pionnière que dans une chênaie terminale (Sanchez-Pérez et al., 1991 ; Sanchez-Pérez, 1992, in (8)).
- Dans la moyenne vallée de la Garonne (France), une étude à été menée sur des secteurs qui sont le réceptacle de la plaine sur laquelle est pratiquée une agriculture intensive. Tous les sites jouxtent de vastes zones agricoles qui influencent profondément la qualité chimique des eaux souterraines. Les engrais azotés épandus sur le sol sont solubilisés pendant les épisodes pluvieux et rejoignent les eaux souterraines. La direction des flux et la vitesse d'écoulement des eaux souterraines, la charge d'azote à l'entrée et à la sortie des sites d'étude, les fluctuations de la nappe et les mélanges d'eau (de surface et souterraine) sont des éléments déterminants pour connaître et quantifier précisément celle du prélèvement racinaire. En bord de Garonne la soumission de l'aquifère au fleuve est considérable. La proximité du cours d'eau se traduit sur la nappe d'une manière plutôt contraignante. Il s'agit d'une nappe d'accompagnement (appelée ici nappe phréatique) soumise au régime du fleuve. Aussi dans un premier temps les relations nappe-fleuve et inversement ont été évaluées. Pour cela des mesures de perméabilité et de vitesse d'écoulement, d'épaisseur et de section transversale de la nappe ont été réalisées afin de connaître les volumes d'eau souterraine qui parviennent au chenal fluvial. La nappe fournit 5 l/s au fleuve par

section de 100 m dans des conditions « normales », c'est-à-dire à l'exclusion de l'étiage phréatique et des crues fluviales. Réciproquement il convient de connaître l'apport du fleuve à la nappe. Pour le mesurer les chlorures ont été utilisés comme traceur hydrochimique. Ces anions qui se trouvent naturellement en abondance dans les eaux de nappe sont conservatifs : ils n'entrent pas dans le cycle biogéochimique et ne sont pas utilisés par les végétaux ou les microorganismes. Des taux importants dans la nappe témoignent d'un faible mélange entre les eaux phréatiques et les eaux fluviales et inversement. Ces données vont permettre de connaître précisément la quantité de nitrates présents dans l'aquifère avant l'entrée et à la sortie des sites étudiés et ce en tenant compte des apports respectifs de la nappe et du fleuve. Par ailleurs ces fondements hydrogéologiques ont permis de caractériser précisément les transports transversaux de nutriments et la qualité physico-chimique des eaux souterraines. Les données recueillies permettent de dire avec certitude que la nappe s'écoule globalement des terroirs agricoles vers le fleuve en traversant les différents couverts végétaux. Les taux moyens annuels de nitrates mesurés dans les eaux provenant des terrains agricoles avoisinent les 23 mg/l de N-NO_3^- avec des pics pouvant atteindre ponctuellement 120 à 150 mg/l de N-NO_3^- . A l'entrée des sites étudiés les concentrations mesurées étaient de l'ordre de 15 mg/l de N-NO_3^- en moyenne alors que la concentration d'azote dans la Garonne est d'environ 2 mg/l. Afin de quantifier les éventuels prélèvements il fallait encore être certain que la dénitrification microbiologique n'interfère pas dans les conditions hydrologiques « normales ». Dans les sites expérimentaux retenus la très grande porosité de l'aquifère ne permet pas l'installation durable de conditions anoxiques. Par ailleurs les nappes sont des milieux généralement pauvres en carbone, ce qui rend peu probable la dénitrification en profondeur. Celle-ci peut cependant se produire lorsqu'il y a encore de la matière organique présente. Des mesures de concentration en carbone organique dissous pratiquées dans l'eau des nappes des sites étudiés confirment que la dénitrification microbiologique n'interfère pas ou peu dans les prélèvements entre l'entrée et la sortie des sites. Ayant écarté la dénitrification microbiologique, évalué les dilutions liées aux éventuels mélanges d'eau nappe/fleuve et connaissant les concentrations à l'entrée des sites, les mesures réalisées à leur sortie permettent de caractériser l'efficacité du prélèvement végétal. Les mesures montrent que le prélèvement végétal est indéniable avec plus ou moins d'importance selon le couvert végétal considéré. La ripisylve est incontestablement l'entité dans laquelle le prélèvement est le plus efficace (0,38 g de $\text{N-NO}_3^-/\text{m}^2/\text{l}$). Il est intéressant de comparer celle-ci avec une prairie dont les prélèvements sont quasiment insignifiants (0,01 g de $\text{N-NO}_3^-/\text{m}^2/\text{l}$) ce qui n'a rien d'étonnant car les systèmes racinaires des plantes constituant ce type de couvert végétal ne peuvent aller puiser l'eau lorsque la nappe descend en dessous de 2 m. D'une manière générale les peupliers de culture (hybrides euraméricains et interaméricains) qui couvrent des surfaces considérables en vallée de Garonne sont capables de puiser l'azote qui circule dans les eaux phréatiques à condition que la nappe reste à proximité immédiate de leur système racinaire (0,16 g de $\text{N-NO}_3^-/\text{m}^2/\text{l}$). Lorsque la nappe baisse au-dessous de 2 à 2,5 m le système racinaire est déconnecté et les prélèvements directs cessent immédiatement. A ce propos une étude de Dehoche et Pardon (1997) montre que le système racinaire des peupliers hybrides est tributaire de la profondeur de plantation, mais n'excède guère 1,50 m, ce qui incite les auteurs à conseiller de « planter profond et si possible au niveau d'étiage de la nappe phréatique ». Si l'on ne considère que cet aspect du problème, les peupliers de culture ainsi plantés pourraient certainement contribuer à la décharge azotée des nappes phréatiques. Il apparaît donc que les formations végétales peuvent

puiser directement l'azote dans les écoulements hypodermiques ou les nappes créant ainsi un filtre efficace. Cependant toute action contribuant à l'abaissement des nappes affecte les capacités de prélèvement végétal. En revanche les boisements possédant des systèmes racinaires susceptibles de s'affranchir des contraintes hydrologiques et granulométriques ont la capacité d'épurer efficacement et régulièrement les eaux de sous-écoulement chargées d'azote (8).

- Les plans d'eau ont un pouvoir auto-épurateur élevé par abattement de la teneur en nitrates. Les eaux de la nappe aux abords de ces milieux sont pauvres en oxygène dans le secteur de la Bassée (Seine amont). Ce faible taux est dû à la faible perméabilité des matériaux qui limite la diffusion de l'oxygène à partir de l'atmosphère. La teneur en nitrates dans la nappe passe de 10,3 mg NO₃⁻/L à l'amont à 1,7 mg NO₃⁻/L à l'aval des gravières. Ainsi jusqu'à 87% de l'azote peut être retenu grâce à leur colmatage progressif (Fustec et al., 1998, in (36)).
- Une expérience a été menée par l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne sur 3 sites agricoles différents (La Jaillière dans le 44, Bignan dans le 56 et Plelo dans le 22) pour tester l'efficacité des bandes enherbées à retenir les nitrates et le phosphore. Les bandes de 6 m de large retiennent entre 0 et 85% des nitrates et 0 à 76% du phosphore soluble. La bande de 12 m a montré des efficacités de 59 à 99% pour les nitrates et de 1 à 96% pour le phosphore. Celle de 18 m a retenu de 31 à 99,7% des nitrates et de 0 à 96,7% du phosphore. Les efficacités nulles se sont traduites par des quantités de nitrates ou de phosphore soluble transférées par ruissellement hors des bandes enherbées supérieures aux quantités transférées hors des parcelles témoins. On constate que la bande de 6 m a présenté une efficacité totale de 65% sur les nitrates et de 50% sur le phosphore. Celle de 12 m a été efficace à 90,7% sur les nitrates et à 79,6% sur le phosphore tandis que celle de 18 m a eu 90,9% d'efficacité sur les nitrates et 63,3% sur le phosphore. La moyenne des efficacités traduit l'irrégularité des efficacités enregistrées parfois sur de faibles flux. La moyenne des efficacités pour les nitrates est de 54, 86 et 77,9% pour les bandes de 6, 12 et 18 m de large. Celle enregistrée pour le phosphore soluble a été de 29,5, 57,6 et 65,8% pour les trois différentes largeurs de bandes enherbées (37).

Indicateurs

- *Surface* de la zone humide
- *Connectivité* au réseau hydrographique
- Mesure des *taux en nitrates et phosphates* de l'eau à l'entrée et à la sortie de la zone humide et comparaison avec des normes et calculs de bilans, analyse spéciale des données
- *Potentiel rédox* des sédiments

Menaces

- **Modification du couvert végétal et de l'occupation des sols**
- **Boisements monostrates** (plantation de peupliers)
- **Surfaces inertes** (berges mises à nu, enrochées ou bétonnées)
- **Drainage et assèchement** des zones tourbeuses et marécageuses

- **Les aménagements hydrauliques des fleuves et rivières** ayant supprimé les inondations ont fortement réduit les surfaces alluviales fonctionnelles. Cette suppression des inondations a entraîné une modification des transferts de certains éléments vers la nappe (par exemple les nitrates restent dans les cours d'eau et ne sont plus dégradés).
- **La diminution des mouvements de nappes** et la disparitions des inondations diminue les capacités dénitrifiantes des sols des zones humides, les nitrates n'étant plus dégradés, ils s'enfoncent plus profond dans la nappe et ne sont plus assimilables par les végétaux.

Besoins de gestion

- **Limiter l'érosion en amont** pour favoriser le blocage des nutriments en amont du bassin
- **Valoriser, voire recréer des zones humides naturelles**
- **La quantification de la capacité de rétention** d'une forêt alluviale vis-à-vis des nitrates dans le but de définir une « largeur de référence » de boisement à conserver pour la dénitrification efficace des eaux que pourraient souhaiter les aménageurs est extrêmement difficile car trop de critères sont à considérer, y compris la disponibilité du foncier dans des zones à très forte pression anthropique. Il serait alors peut-être plus judicieux de définir les conditions requises pour obtenir des zones humides.
- **Protéger et développer les forêts alluviales** les plus diversifiées possible en espèces qui permettra un recyclage maximal des nutriments.

Bibliographie

(1)	(2)	(3)	(5)	(6)
(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
(12)	(13)	(14)	(16)	(19)
(20)	(24)	(26)	(28)	(30)
(31)	(32)	(36)	(37)	(38)
(40)	(41)	(42)	(43)	(46)
(49)	(50)	(51)	(52)	(54)
(56)	(57)	(59)		

1. Fonctions naturelles

1.8. Rétention des toxiques

Définition

Les zones humides peuvent recevoir 2 types de micropolluants : les composés métalliques (métaux lourds) et les composés organiques (hydrocarbures, solvants chlorés, produits phytosanitaires...). Elles peuvent agir sur ces flux de polluants par piégeage, libération ou transformation. Mais l'accumulation de ces éléments ou composés peut modifier, voire porter atteinte à la qualité des écosystèmes. Afin de pouvoir optimiser la fonction de piège et restaurer le bon état écologique des zones humides il est donc nécessaire de comprendre les mécanismes qui régissent le comportement des micropolluants dans ces milieux.

Fonctionnement

Arrivée des toxiques : ils atteignent les zones humides par ruissellement et érosion des bassins versants, par inondation et par transport éolien. Ils sont retenus par des phénomènes physiques (précipitation, adsorption), chimique ou biologique (absorption, bioaccumulation, bioconcentration).

Mécanismes de fixation : les toxiques associés aux particules sédimentent dans les zones humides du fait de la faiblesse du courant (on observe une concentration en toxique beaucoup plus importante dans les sédiments de zones humides associées à un cours d'eau que dans les sédiments du cours d'eau lui-même). Les toxiques dissous semblent également pouvoir être retenus dans les sédiments d'une zone humide. D'autre part les végétaux d'une zone humide sont capables d'absorber les métaux, y compris à des valeurs relativement élevées. Cependant la concentration de toxiques présents dans les végétaux est beaucoup plus faible que dans les sédiments. Et au sein même des plantes, les concentrations sont plus élevées dans les parties racinaires que dans les parties aériennes. Dans les zones humides fermées, les toxiques, comme les phosphates, ont tendance à « tourner » à l'intérieur du système. L'adsorption et la dégradation microbienne des micropolluants organiques dans les zones humides varient en fonction des produits concernés, de la saison, des conditions du milieu (biodégradation ralentie en hiver, forte en été).

Mécanismes de relargage : dans les systèmes ouverts, il y a bien immobilisation mais il est possible d'observer une remise en circulation des éléments. Les sédiments vont permettre d'immobiliser de façon durable les toxiques essentiellement grâce à la teneur élevée en matière organique. Les végétaux peuvent aussi remettre en circulation les toxiques soit par chute de débris végétaux, soit par exportation par des espèces animales, soit par récolte des végétaux, soit par volatilisation (biométhylation de certains métaux comme le sélénium). Les sédiments remettent également en circulation les toxiques par érosion, par décomposition des composés organiques auxquelles les composés sont associés, par passage en solution. Mais les processus de remobilisation des toxiques à partir des sédiments sont très complexes et mal connus.

Conditions de fonctionnement : La rémanence des substances toxiques organiques dépend de leur volatilité, de leur affinité avec les sédiments et la matière organique, de leur biodégradabilité et de la nature de la végétation. Le piégeage/relargage des métaux dépend des conditions physico-chimiques, de la nature de la végétation, de la richesse des sédiments

en argile et matière organique et des types de métaux. Les milieux fermés ou fortement réducteurs sont de bons pièges à long terme alors que les zones humides moyennement réductrices ou soumises à des alternances d'aérobiose et d'anaérobiose sont beaucoup moins efficaces. Selon les espèces végétales et leur affinité avec les métaux, l'adsorption des métaux dissous varie. Les marais salés présentent une rétention importante des métaux (90 à 100% du chrome, 86 à 89% du cobalt, plomb et fer, 75 à 81% du zinc, cuivre et nickel, 50 à 60% du cadmium et manganèse). Dans un corridor fluvial, les métaux associés aux particules en suspension sont piégés par la matière organique des tourbières et des marais ou dans les vases des cours d'eau. Cette fonction est largement assurée par des espaces présentant un couvert végétal important et des horizons humifères développés. Le relargage des métaux retenus dans les sédiments sous forme dissoute diminue de manière exponentielle avec l'augmentation du taux d'argile et de matière organique. Les métaux sont fortement retenus dans les sédiments et le relargage diminue avec le taux d'argile et de matière organique (Fustec et Frochot, 1994, in (1)). Les végétaux absorbent également de façon importante les métaux mais de façon variable selon les métaux (le zinc semble être stocké dans les parties pérennes des arbres de forêts à bois dur alors que le cuivre est peu absorbé et est stocké essentiellement dans les feuilles).

Utilité pour l'homme : bon nombre de molécules toxiques issues de l'activité humaine sont temporairement piégées dans les sols : les hydrocarbures sont stabilisés dans la zone racinaire des peuplements à hautes herbes alors que les métaux sont piégés dans la matière organique de tourbières, marais et vases des cours d'eau. Mais ces toxiques peuvent être relargués en période végétative ou lors d'un remaniement du sol (labour, défrichage...).

Aspects négatifs

Enjeux

Les capacités de certaines plantes de zones humides à retenir et dégrader les toxiques sont aujourd'hui de plus en plus utilisées pour le traitement des eaux usées. Pour de petites communes notamment, on crée des stations d'épuration « naturelles » en mettant en place des lagunes végétalisées avec différentes espèces (roseau, lentille d'eau, jacinthe d'eau). Ces stations ont l'avantage d'être beaucoup moins onéreuses que les stations d'épuration classiques tout en étant très efficaces et en s'intégrant beaucoup mieux dans le paysage (cf. fonction 3.6).

État des connaissances

Il existe peu de données expérimentales sur le devenir des micropolluants organiques et phytosanitaires dans les zones humides : les techniques analytiques capables de différencier et de quantifier les très nombreuses molécules que l'on peut rencontrer sont récentes et de mise en œuvre coûteuse.

Les études existantes montrent la complexité des phénomènes et des situations. Les zones humides peuvent jouer un rôle de transformation ou de piège de certains polluants. Ce piégeage est limité dans le cas de zones largement ouvertes vers l'aval, comme dans le cas des petites zones humides de fond de vallée. Des zones humides plus fermées constituent des pièges pour ces éléments. L'impact de ces molécules sur les écosystèmes mérite d'être mieux connu : conséquences de l'accumulation des métaux dans les zones humides fermées, caractéristiques et devenir des produits de dégradation des produits phytosanitaires...

Type de zone humide

- ❖ Type 2 : Baies et estuaires moyens-plats (*)
Vasières (*)
- ❖ Type 3 : Marais et lagunes côtiers (*)
- ❖ Type 4 : Marais saumâtres aménagés (*/-)
- ❖ Type 5 : Ripisylves (*)
Vasières
- ❖ Type 6 : Prairies humides (*)
Forêts alluviales (*)
Bras morts et secondaires (*)
Marais alluviaux (*)
Berges végétalisées
- ❖ Type 7 : Marais (*)
Prairies humides
Tourbières (*)
Petites zones humides de fond de vallée
- ❖ Type 8 : Étangs
- ❖ Type 9 : Bordures de plans d'eau (*)
- ❖ Type 10 : Marais (*)
Prairies humides
- ❖ Type 11 : Mares et étangs isolés
- ❖ Type 12 : Marais aménagés dans un but agricole (-)
- ❖ Type 13 : Carrières réaménagées
Carrières en exploitation

Exemples

- De récentes études ont montré les capacités de dégradation des pesticides par les bactéries et champignons dans des prairies et des boisements de cours d'eau : la capacité épuratrice de dispositifs enherbés de 6m de large atteint une moyenne inter-annuelle de 71%. Cette efficacité moyenne des « bandes » de 12 à 18 m a atteint 84 à 91% (AELB, IEA, 1997, in (5) ; (37)).
- La rétention du sélénium soluble a été étudiée pendant 2 ans dans un marais expérimental aux Etats-Unis, marais submergé par les eaux circulant lentement (53 l/min) et colonisé par des macrophytes émergentes et submergées. La disparition du sélénium introduit dans les eaux est comparée à celle qui se manifeste dans un ruisseau adjacent. La concentration en sélénium est réduite de 20% environ dans le ruisseau mais de plus de 90% dans le marais. La lentille d'eau (*Lemna minor*) s'est révélée l'espèce la plus efficace pour l'immobilisation du métal. Cette disparition présente des fluctuations saisonnières car le métal est absorbé pendant la période estivale de croissance des végétaux. A l'automne la disposition des résidus végétaux sur les sédiments s'accompagne d'une libération de sélénium en partie adsorbé sur les sédiments (l'adsorption étant plus rapide et plus importante dans les sédiments fins et riches en matières organiques que dans les sédiments sableux). Une partie du sélénium est par ailleurs exportée par volatilisation au niveau du matériel végétal en décomposition. La rétention à moyen terme (au-delà de l'année) dans la biomasse

végétale s'effectue de manière sélective. Plusieurs études montrent que le zinc semble préférentiellement absorbé par les arbres de la forêt alluviale à bois dur (chêne, orme). Il est retenu dans les parties pérennes (branches, tronc, écorce). Par contre le cuivre est peu absorbé et surtout localisé dans les feuilles ce qui entraîne une restitution automnale (AELB, IEA, 1997, in (5)).

- En Bretagne les déjections animales des élevages intensifs sont à l'origine d'apports importants de métaux dans les milieux. Le bétail reçoit dans son alimentation une complémentation en oligo-éléments métalliques, notamment en cuivre et en zinc. Ces éléments, très peu retenus au niveau de l'animal, se retrouvent pour 80 à 95% dans les déjections qui sont le plus souvent épandues sur les terres agricoles. Cet apport représente 400 t de cuivre et 700 t de zinc par an, pour la région Bretagne. Les éléments métalliques en traces (ETM) et plus particulièrement le cuivre et le zinc, ont été recherchés sur un site expérimental de Bretagne, le long d'un transect traversant une parcelle cultivée (labours) et une zone humide adjacente (friche humide bordant un ruisseau). Cette étude montre que la zone agricole constitue une source de métaux qui migrent dans le bas du versant. Durant la période du passage des hautes eaux aux basses eaux les sols s'oxygènent ce qui a pour conséquence une précipitation des oxydes de fer qui font coprécipiter les métaux sous forme d'oxydes. Les teneurs du sol en métaux sont alors 2 fois plus fortes dans la zone humide que dans la zone cultivée. Ce piégeage n'est toutefois que temporaire puisqu'en période de hautes eaux le processus de réduction peut conduire à une libération des métaux qui peuvent alors repasser en solution pour migrer vers la rivière. Enfin l'étude a confirmé que la mobilité des ETM c'est-à-dire leur possibilité de mouvement dans le paysage est contrôlée par les transformations des oxydes de fer pour le zinc et par les constituants organiques du sol pour le cuivre (Trolard, in (16)).

Indicateurs

- *Surface* de la zone humide
- *Connectivité* au réseau hydrographique
- Mesure des *taux en toxiques* de l'eau à l'entrée et à la sortie de la zone humide (analyse coûteuse pour beaucoup de polluants) et comparaison avec des normes et calculs de bilans, analyse spéciale des données
- *Potentiel rédox* des sédiments

Menaces

- **Modification du couvert végétal** et de l'occupation des sols
- **Boisements monostrates** (plantation de peupliers)
- **Surfaces inertes** (berges mises à nu, enrochées ou bétonnées)
- **Drainage et assèchement** des zones tourbeuses et marécageuses
- **Les aménagements hydrauliques** des fleuves et rivières ayant supprimé les inondations ont fortement réduit les surfaces alluviales fonctionnelles. Cette suppression des inondations a entraîné une modification des transferts de certains éléments vers la nappe.

Besoins de gestion

- **Limiter l'érosion** en amont pour favoriser le blocage des toxiques en amont du bassin
- **Valoriser, voire recréer des zones humides naturelles**

Bibliographie

(1)	(2)	(5)	(7)	(9)
(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
(16)	(19)	(20)	(24)	(26)
(28)	(32)	(34)	(37)	(42)
(43)	(46)	(50)	(51)	(52)
(54)	(57)	(58)	(59)	

1. Fonctions naturelles

1.9. Stockage durable des eaux de surface

Définition

Les zones humides sont capables de stocker les eaux de surface et de ruissellement qu'elles collectent de façon plus ou moins durable selon leur taille et leur substrat essentiellement, sur de périodes variées à l'état d'eaux stagnantes ou d'engorgement du sol. Ce stockage participe ainsi à d'autres fonctions de la zone humide comme le soutien d'étiage (fonction 1.11), la recharge des nappes (fonction 1.10), la régulation des crues (fonction 1.7)...

Fonctionnement

Les petites zones humides de fond de vallée jouent un double rôle en stockant les eaux et en les transférant par la suite. Le stockage peut être transversal, c'est-à-dire de l'eau provenant du versant (nappe, ruissellement), dépendant de la continuité hydraulique entre les écoulements du versant et la zone humide et du rapport du volume de la zone humide au volume de l'eau susceptible d'être collecté sur le versant, particulièrement efficace pour la modulation de la reprise des écoulements hivernaux, ou longitudinal, c'est-à-dire de l'eau provenant de la rivière en débordement, dépendant de la fréquence des crues et de la topographie des lits moyens et majeurs, particulièrement efficace pour les bassins versants de grande taille où les zones inondables peuvent avoir une grande extension. Lorsque les eaux sont stockées, elles sont ensuite transférées progressivement depuis la zone humide vers son aval.

Les eaux de ruissellement sont soit stockées sous forme d'eaux stagnantes libres (dans des petites dépressions topographiques, lorsque le sol est déjà engorgé) ou s'infiltrent dans le sol (lorsque le sol présente encore une zone non saturée). L'infiltration est favorisée par la présence de végétation dont les racines augmentent la porosité du sol, permettant une meilleure percolation de l'eau.

Aspects négatifs

Enjeux

Les eaux stockées en période favorable seront disponibles en période de sécheresse ou d'étiage (cf. fonction 1.11). De plus elles pourront constituer un stock d'eau potable (cf. fonction 2.6) en permettant la recharge des nappes souterraines par infiltration dans le substrat (cf. fonction 1.10) où elles pourront même subir une épuration grâce aux microorganismes et aux plantes présentes (cf. fonctions 1.7 et 1.8). Lors des épisodes pluvieux ou des périodes de débordement des cours d'eau, le stockage des eaux dans les zones humides et dans leur sol participe fortement à l'atténuation des crues par étalement et/ou écrêtement (cf. fonction 1.2).

État des connaissances

Type de zone humide

- ❖ Type 3 : Marais et lagunes côtiers
- ❖ Type 6 : Bras morts et secondaires (*)
Marais alluviaux
- ❖ Type 7 : Marais
Tourbières
Petites zones humides de fond de vallée
- ❖ Type 8 : Étangs (*)
- ❖ Type 10 : Marais
- ❖ Type 11 : Mares et étangs isolés (*)
- ❖ Type 12 : Marais aménagés dans un but agricole
- ❖ Type 13 : Carrières réaménagées (*)
Carrières en exploitation (*)

Exemples

- Une expérience a été menée par l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne sur 3 sites agricoles différents (La Jaillère dans le 44, Bignan dans le 56 et Plelo dans le 22) pour tester l'efficacité des bandes enherbées à retenir des eaux de ruissellement (par infiltration dans le sol). L'efficacité des bandes de 6 m de large (tous sites confondus sur 3 ans) sur l'ensemble des volumes ruisselés collectés (efficacité totale) a été de 62%. Celle des bandes de 12 m et de 18 m a été respectivement de 70 et 88%. La moyenne des efficacités (efficacité moyenne) enregistrées est de l'ordre de 71% pour les bandes de 6 m, 85% pour celles de 12 m et de 80% pour celles de 18 m (37).

Indicateurs

- *Temps de retour des pluies*
- *Topographie* de la zone humide et modélisation
- *Taille* de la zone humide
- *Continuité spatiale* de la zone humide au bassin versant
- *Mesure des paramètres de flux* (physiques, tensiométrie, piézométrie, modélisation)

Menaces

- **Endiguements** (effets plus importants quand ils sont proches du lit mineur)
- **Aménagements visant à atténuer ou supprimer les variations naturelles**, à contrôler les débits, à stabiliser le lit mineur (barrages, seuils...)
- **Disparition des marais et tourbières** par drainage
- **Drainage** des zones humides

Besoins de gestion

- Réduire la taille des buses de drainage

Bibliographie

(1)	(13)	(16)	(17)	(19)
(28))	(37)	(41)	(52)	(56)

1. Fonctions naturelles

1.10. Recharge des nappes

Définition

Les zones humides se trouvant le plus généralement dans des points bas de la topographie sont essentiellement des exutoires pour les nappes. Cependant certaines sont situées sur des points dominants par rapport à la nappe et peuvent alors remplir la fonction de recharge de la nappe sous-jacente par infiltration des eaux de la zone humide vers la nappe.

Fonctionnement

La recharge des nappes à partir des zones humides n'est pas un phénomène clairement établi. Lorsqu'il existe, il est local : l'eau s'infiltré à travers le substrat semi-perméable pour rejoindre la nappe sous-jacente à la zone humide. Son importance dépend du substrat, de sa perméabilité, du niveau piézométrique, de la taille de la zone humide...

Cas des plateaux : la recharge des nappes à partir des zones humides est souvent faible. Sur les plateaux calcaires où les zones humides sont rares et souvent temporaires et se forment sur les zones les moins perméables, de ce fait leur rôle dans la recharge des nappes est très limité (faible extension, substratum peu perméable), c'est le cas par exemple sur les plateaux du Massif Central ou des Vosges.

Cas des zones alluviales : la recharge se fait essentiellement en période de crue. Ce n'est que lorsque la rivière déborde que la recharge peut s'effectuer au travers des zones humides riveraines. Mais le volume concerné est plutôt faible du fait de la proximité du niveau des eaux souterraines. Et ce phénomène ne dure en général que quelques jours. La recharge des nappes par les eaux de crue est donc limitée dans nos régions tempérées en comparaison des infiltrations des eaux pluviales, des nappes de coteau et des infiltrations depuis la rivière.

Cas des zones littorales : la recharge des nappes d'eau douce par les zones humides littorales peut permettre de prévenir naturellement l'intrusion des eaux salées.

Certaines zones humides notamment méditerranéennes jouent un rôle double en fonction de la période : pendant une partie de l'année elles sont un lieu de résurgence des nappes et sont alimentées en eau par celles-ci (offrant ainsi des conditions de milieu stables) alors qu'en période d'étiage elles vont les recharger, permettant ainsi au cours de l'année une bonne régulation du cycle hydrologique. Des zones humides de montagne alimentées uniquement par les précipitations peuvent alimenter une nappe en dessous.

La présence de végétation favorise cette recharge en ralentissant les écoulements et donc en favorisant l'imprégnation des sols.

L'existence et l'importance de cette fonction pour une zone humide doivent être étudiées au cas par cas afin de déterminer les potentialités de la zone humide à gérer.

Aspects négatifs

Enjeux

Les enjeux de cette fonction sont peu importants car elle est très peu développée (voire absente), au moins en France.

État des connaissances

Les résultats des différentes études sont très contrastés : on observe dans certains cas qu'il existe très peu d'échanges entre les zones humides et les nappes libres alors que dans d'autres les zones humides sont des zones de recharge permanente des nappes (Siegel, 1990, in (1)). Il apparaît aujourd'hui, d'après des recherches récentes (Fustec ; Fougeirol ; Marcilly, in (12)) que les zones humides ne joueraient qu'un rôle très mineur, voire aucun rôle, dans la recharge des nappes. En effet la plupart des zones humides sont caractérisées par une nappe affleurante et sont de ce fait saturées en eau pendant la période où la recharge des nappes peut se produire. C'est le bassin versant dans son ensemble qui est responsable de la recharge des nappes.

Type de zone humide

- ❖ Type 3 : Marais et lagunes côtiers
- ❖ Type 5 : Ripisylves
- ❖ Type 6 : Prairies humides (*)
Forêts alluviales (*)
Bras morts et secondaires (*)
Marais alluviaux
Grèves et bancs d'alluvions
Berges végétalisées
Berges nues
- ❖ Type 7 : Marais (*)
Prairies humides
Tourbières (*/-)
Petites zones humides de fond de vallée
- ❖ Type 8 : Étangs
- ❖ Type 10 : Marais (*)
Prairies humides
- ❖ Type 11 : Mares et étangs isolés
- ❖ Type 12 : Marais aménagés dans un but agricole
- ❖ Type 13 : Carrières réaménagées
Carrières en exploitation (-)

Exemples

- Les tourbières ont longtemps été considérées comme sans relation hydraulique avec les eaux souterraines, leurs couches profondes devenant presque imperméables. Cependant dans de vastes étendues de tourbières en Amérique du Nord (nappe en dôme sous les tourbières bombées), elles peuvent au contraire être des zones de recharge permanente pour les autres zones humides périphériques et la nappe à l'échelle régionale (Fustec et Frochot, 1994, in (1)).
- Les échanges nappes/rivières/marais sont des phénomènes complexes : une étude canadienne a montré sur un marais alimenté par les eaux souterraines et les précipitations que la contribution de cette zone humide au débit du cours d'eau était faible (Rouet, 1990 et Hill, 1990, in (2)) alors qu'une étude menée en Ontario a montré que la zone humide fonctionnait comme un système de recharge et de fourniture d'eau pour les systèmes adjacents.

Indicateurs

Menaces

- **Imperméabilisation du substrat et limitation des surfaces de contact** sont à l'origine de la diminution des surfaces de contact sol-eau où peut s'effectuer cette recharge (endiguements qui réduisent les zones inondables, les artificialisations diverses (enrochements, maçonneries...) qui limitent voire interdisent les échanges hydriques, abaissement du fil de l'eau...).

Besoins de gestion

- Il faut **favoriser les zones de contact eau-sol** en développant les capacités d'expansion des crues, en multipliant les zones humides, le méandrage des cours d'eau...

Bibliographie

(1)	(2)	(3)	(5)	(6)
(12)	(16)	(19)	(24)	(32)
(34)	(52)			

1. Fonctions naturelles

1.11. Soutien d'été

Définition

Les zones humides et leur substrat plus ou moins poreux emmagasinent lors des périodes de crue et de fortes précipitations des volumes d'eau plus ou moins importants (cf. fonction 1.10) qu'ils vont ensuite relarguer en aval de façon plus ou moins lente et retardée. Cette restitution peut parfois s'étaler jusqu'en période d'été des cours d'eau et dans ce cas contribue au maintien du débit en été.

Fonctionnement

Zones humides de plateaux : les zones humides situées sur des plateaux induisent un effet retard dans la restitution aux cours d'eau ou à la nappe phréatique et participent ainsi au soutien d'été.

Zones humides de cours d'eau : les zones humides liées au cours d'eau sont assimilables à la nappe alluviale. Lorsque la nappe alluviale est connectée à une puissante nappe régionale, le soutien d'été est essentiellement assuré par la nappe principale du coteau. En revanche lorsque la nappe alluviale repose sur un fond imperméable c'est elle qui est responsable en majorité du maintien du débit d'été.

Conditions de fonctionnement : l'efficacité d'une zone humide dans cette fonction est augmentée lorsqu'elle est située en amont du bassin en zone inondable, lorsque sa taille est relativement grande et quand son effet « d'éponge » est grand.

Une efficacité limitée : en général cette régulation garde un effet très localisé et l'effet d'une zone humide ponctuelle est difficilement démontrable. L'efficacité pour cette fonction est à considérer en rapport avec le débit du cours d'eau concerné (pour un cours d'eau ayant un débit important, l'effet ne sera pas significatif). En outre en France l'état et le nombre de zones humides étant réduits, l'impact en devient négligeable sur la partie aval des cours d'eau.

Dysfonctionnements : il faut également rappeler que les rivières se déplacent actuellement dans des systèmes profondément modifiés : en période d'été naturel (été), la Seine alimente la nappe à cause du fort soutien des débits assuré par les lâchers des grands barrages à l'amont. L'évapotranspiration dans la zone humide entraîne alors une diminution du débit du cours d'eau.

Aspects négatifs

Enjeux

Les zones humides permettent parfois en période d'été de recharger les cours d'eau et de maintenir ainsi un débit suffisant. Mais l'effet réel de ces zones dans cette fonction est très limité en France, il n'y a donc pas de réel enjeu à cette fonction.

État des connaissances

Les capacités de soutien d'étiage des zones humides ne sont pas clairement démontrées. Les études menées jusqu'à présent présentent des résultats contrastés selon les cas : dans certains cas les zones humides jouent un rôle mineur dans le soutien d'étiage alors que dans d'autres ces capacités ont été démontrées. Il semble aujourd'hui que le soutien d'étiage des cours d'eau est essentiellement assuré par les nappes phréatiques plutôt que par les zones humides.

Type de zone humide

- ❖ Type 3 : Marais et lagunes côtiers
- ❖ Type 4 : Marais saumâtres aménagés
- ❖ Type 5 : Ripisylves
- ❖ Type 6 : Prairies humides
Forêts alluviales
Bras morts et secondaires
Marais alluviaux
Grèves et bancs d'alluvions
- ❖ Type 7 : Marais
Prairies humides
Tourbières
Petites zones humides de fond de vallée
- ❖ Type 8 : Étangs
- ❖ Type 10 : Marais
Prairies humides
- ❖ Type 11 : Mares et étangs isolés
- ❖ Type 12 : Marais aménagés dans un but agricole
- ❖ Type 13 : Carrières réaménagées

Exemples

- La moyenne vallée de l'Oise est caractérisée par une zone humide alluviale de 5.000 ha environ qui s'étend de la Fère à Noyon. Cette zone humide présente un aquifère alluvial important qui joue un rôle dans le soutien des étiages de l'Oise, de l'ordre de 12 à 23 millions de m³. On peut estimer la valeur de remplacement de cette fonction par la construction d'un ouvrage de remplacement. Le coût moyen des ouvrages de soutien d'étiages est de 1,5 €/m³ environ. Donc pour une telle quantité, il faudrait construire un ouvrage de 18,3 à 35 millions d'euros (12).

Indicateurs

Menaces

- **Imperméabilisation du substrat et limitation des surfaces de contact** : endiguements qui réduisent les zones inondables, les artificialisations diverses (enrochements, maçonneries...) qui limitent, voire interdisent les échanges hydriques, abaissement du fil de l'eau.

Besoins de gestion

- **Remise en eau des annexes fluviales**
- **Relèvement des nappes**
- **Fermeture des drains agricoles**
- **Gestion des pompages en nappe**

Bibliographie

(1)	(5)	(7)	(11)	(12)
(16)	(19)	(24)	(26)	(32)
(34)	(42)	(46)	(52)	(57)

1. Fonctions naturelles

1.12. Contribution à la protection globale de l'environnement (effet de serre...)

Définition

La végétation et les sols stockent du carbone et limitent donc les teneurs en CO₂ contribuant à leur échelle à la limitation de l'effet de serre.

Fonctionnement

Les végétaux captent du CO₂ atmosphérique par la photosynthèse en l'intégrant dans la matière organique qui est décomposée dans la plupart des écosystèmes par les microorganismes du sol à la mort des végétaux libérant ainsi le carbone sous forme de CO₂.

Cas des tourbières : dans les tourbières environ 10% de la matière organique produite n'est pas décomposée du fait des caractéristiques du sol très défavorables à l'activité bactérienne (anoxie, acidité, oligotrophie, températures basses...). Ces 10% suffisent à l'accumulation de plusieurs mètres de tourbe en quelques millénaires. Une étude menée dans le cadre du PNRZH a permis de montrer que les émissions de carbone varient d'une tourbière à l'autre : les tourbières alcalines sont plus productrices de CO₂ que les tapis de sphaignes. Dans des conditions anaérobies saturées en eau et particulièrement réductrices il peut y avoir production de méthane. Ces émissions sont donc les plus importantes lorsque la nappe est proche du sol, dans les gouilles (bas-fonds humides), et les plus faibles dans le biotope à sphaignes et molinies (on observe un gradient positif des émissions des gouilles → bas-marais → haut-marais). A cette variabilité d'émission de gaz spatiale il faut ajouter une variabilité temporelle : les émissions de CO₂ sont plus faibles en automne, celles de méthane sont maximales au printemps et en été. Et les émissions de 2 gaz augmentent avec la température. Enfin le CO₂ est surtout émis à la surface du sol alors que le méthane est produit dans les horizons inférieurs hydromorphes. Dans tous les cas les tourbières piègent une partie non négligeable du carbone de façon persistante (plusieurs millénaires) empêchant ce dernier d'entrer à nouveau dans le cycle du carbone et donc l'empêchant de participer à l'effet de serre.

Cas des ripisylves : les ripisylves permettent de piéger le carbone pendant des périodes relativement longues dans les parties pérennes des arbres (troncs, branches). Ce carbone ne peut alors pas retourner dans l'écosystème avant plusieurs dizaines voire centaines d'années.

Aspects négatifs

Enjeux

La matière organique produite par les végétaux des tourbières fonctionnelles ne subit pas une minéralisation complète qui entraîne un piégeage du carbone vraiment non négligeable en

période d'augmentation de gaz à effet de serre (80 mégatonnes de carbone par an à l'échelle mondiale).

État des connaissances

Type de zone humide

- ❖ Type 2 : Vasières
- ❖ Type 5 : Ripisylves (*)
Vasières
- ❖ Type 6 : Forêts alluviales (*)
- ❖ Type 7 : Tourbières (*)

Exemples

Indicateurs

- Le rapport CH_4/CO_2 variant de 0 (émissions non significatives de méthane) à 1 (en théorie), très variable dans les sphagnaies en fonction des espèces et des sites, peut donc constituer un indice de fonctionnement des tourbières : la fonction de puits augmente avec cet indice.

Menaces

- **Le drainage et l'exploitation de la tourbe** conduisent à l'accélération de la minéralisation de la matière organique et donc à la libération de CO_2 dans l'atmosphère. De plus l'utilisation de la **tourbe comme combustible** entraîne la libération du CO_2 piégé dans l'atmosphère lors de la combustion, contribuant ainsi à l'effet de serre.
- **La régression des ripisylves** diminue les capacités de ces milieux à stocker du carbone dans les organes des arbres.

Besoins de gestion

- **La réhabilitation hydrique des tourbières** rend la dégradation partiellement réversible. Les tourbières asséchées remises en eau présentent un rapport CH_4/CO_2 qui augmente ce qui indique une reprise des mécanismes fonctionnels propres à l'écosystème tourbière. En quelques années de restauration hydraulique le processus de tourbification peut être relancé.

Bibliographie

(7) (16) (30) (48) (50)

1. Fonctions naturelles

1.13. Stabilisation du micro-climat

Définition

Les zones humides peuvent participer à la régulation des micro-climats : les précipitations et la température atmosphérique peuvent être influencées localement par les phénomènes d'évaporation intense d'eau au travers des terrains et de la végétation (évapotranspiration) qui caractérisent les zones humides. Elles peuvent ainsi tamponner les effets des sécheresses au bénéfice de certaines activités agricoles.

Fonctionnement

Les cycles de l'eau, des éléments nutritifs et les flux d'énergie intervenant à l'échelle des zones humides peuvent stabiliser les conditions climatiques locales (précipitations, température, humidité du sol et de l'air) plutôt fraîches et humides. Ces flux ont à leur tour une influence sur les activités agricoles ou reposant sur l'exploitation des ressources naturelles ainsi que sur la stabilité des hydrosystèmes et des zones humides elles-mêmes (Dugan, 1992, in (19)).

Aspects négatifs

Enjeux

Les conditions micro-climatiques fraîches et humides créées localement peuvent être très favorables à la culture et à l'élevage.

Les grandes agglomérations transforment de façon très sensible leur climat par augmentation de la température et diminution de l'humidité ambiante. La conservation de vastes espaces naturels permet de compenser partiellement cet impact. D'un autre côté les espaces naturels périurbains possèdent souvent une grande diversité de microclimats qui présente un intérêt écologique et qui mérite d'être préservée.

État des connaissances

Type de zone humide

- ❖ Type 3 : Marais et lagunes côtiers
- ❖ Type 4 : Marais saumâtres aménagés
- ❖ Type 5 : Ripisylves
- ❖ Type 6 : Forêts alluviales
- ❖ Type 7 : Tourbières

Exemples

Indicateurs

- *Moyennes des températures et des précipitations*
- *Nombre de jours de gel*

Menaces

- **Disparition** en général des zones humides

Besoins de gestion

- **Protéger et développer les zones humides**

Bibliographie

(1)	(7)	(11)	(19)	(41)
(42)	(50)			

1. Fonctions naturelles

1.14. Diminution du bruit

Définition

La présence de vastes masses boisées permet la diminution du bruit ambiant notamment dans les aires urbaines. De nombreux parcs ont même pris des mesures pour renforcer la tranquillité de ces espaces (réduction de la vitesse des véhicules, créations de murs anti-bruit, plantation de bandes boisées).

Fonctionnement

Aspects négatifs

- Les zones humides présentent **d'importantes communautés animales**, et notamment des espèces d'oiseaux et d'amphibiens comme les grenouilles et les crapauds qui sont **une source de bruit** parfois non négligeable pouvant être la cause de désagréments pour l'homme.

Enjeux

État des connaissances

Type de zone humide

- ❖ Type 3 : Marais et lagunes côtiers (-)
- ❖ Type 5 : Ripisylves (*)
- ❖ Type 6 : Forêts alluviales (*)
Bras morts et secondaires (-)
Marais alluviaux (-)
- ❖ Type 7 : Marais (-)
- ❖ Type 8 : Étangs (-)
- ❖ Type 9 : Bordures de plans d'eau (-)
- ❖ Type 10 : Marais (-)
- ❖ Type 11 : Mares et étangs isolés (-)
- ❖ Type 13 : Carrières réaménagées (-)
Carrières en exploitation (-)

Exemples

Indicateurs

- Niveau sonore

Menaces

Besoins de gestion

Bibliographie

(7)

(50)

2. Activités économiques et stratégiques

2. Activités économiques et stratégiques

2.1. Agriculture - élevage

Définition

Les zones humides ont des caractéristiques particulières – omniprésence de l'eau, apports en éléments nutritifs – qui permettent à ces milieux de présenter une très forte production primaire. Cette caractéristique a été utilisée par l'homme depuis des milliers d'années soit pour la culture de certaines plantes (plantes propres au milieu ou importées), soit pour l'élevage d'animaux qui peuvent y trouver toute la nourriture nécessaire à leur croissance et développement.

Fonctionnement

La productivité importante de certaines plantes de marais et autres zones humides a été exploitée par l'homme par la mise en culture à des fins alimentaires ou commerciales (riz, canne de Provence...) pour subvenir à ses besoins. Par exemple le roseau présente un grand nombre de propriétés dont l'homme a tiré profit (chaume, litière et fourrage pour les animaux, combustible, engrais, fabrication de papier...). Cependant le mode de culture de beaucoup d'espèces de zones humides est difficilement contrôlable (par exemple la création de roselières est très mal maîtrisée, et à l'inverse on ne sait pas stopper leur extension). D'autre part les zones humides ont été et sont exploitées à des fins d'élevage (bovin, équin ou ovin) à la fois comme pâturages et comme zones de production laitière et de foin. La spécificité de l'élevage dans ces zones humides permet même dans certains cas de labelliser la viande ou le lait de l'appellation A.O.C. (c'est notamment le cas des bovins de Camargue). D'une manière générale, dans toutes les régions de zones humides, l'élevage a été développé car les espèces fourragères qu'elles abritent offrent une productivité importante (dépassant parfois 1 U.F.L. ou Unité Fourragère Lait par kilo de matière organique).

Aspects négatifs

Les caractères physiques liés à l'humidité de ces espaces rendent leur accès difficile pour les agriculteurs, limitant les possibilités d'exploitations. Elles ont donc été longtemps considérées (et encore parfois aujourd'hui) comme improductives, justifiant leur assèchement pour faciliter leur accessibilité et la production de plantes plus appétantes que le carex, le roseau ou le jonc.

- **Mise en culture** (retournement) : val de Saône...
- **Intensification** de la culture avec l'utilisation d'engrais, de produits phytosanitaires et la répétition des travaux ;
- **Surpâturage** : augmentation des cheptels, provoquant le piétinement et l'eutrophisation ;
- **Irrigation des zones humides** pour la mise en culture peut entraîner la perte de zones de pâturage pour l'élevage.

Enjeux

Outre l'enjeu économique que présentent les zones humides du fait du développement de l'activité agricole, l'agriculture dans ces milieux joue aussi un rôle écologique important. L'exploitation agricole dans ces espaces est souvent extensive et permet de conserver un équilibre avec le milieu naturel. Le pâturage extensif par exemple permet le maintien de l'ouverture des milieux ce qui est favorable à de nombreuses espèces comme les échassiers. D'autres espèces comme les hérons garde-bœufs sont directement tributaires du bétail pour leur nourriture.

État des connaissances

Les productivités des plantes de zones humides sont plus ou moins connues en fonction de leur utilisation actuelle. Les plantes cultivées sont relativement bien connues alors que les espèces « oubliées » n'ont pas fait l'objet d'études approfondies.

En ce qui concerne l'élevage, on connaît relativement la bonne valeur énergétique de certaines plantes qui sont utilisées pour le fourrage, alors que les plantes ayant une valeur plus médiocre peuvent être utilisées comme litière.

Cependant les suivis des troupeaux utilisés pour gérer les zones humides sont rares et on voit parfois des espèces introduites qui ne sont pas du tout adaptées au milieu concerné. En France peu de structures semblent effectuer de tels suivis. La Tour du Valat en Camargue, avec une longue tradition d'élevage bovin et équin, travaille notamment sur ce genre de projets.

Type de zone humide

- ❖ Type 2 : Baies et estuaires moyens-plats
Vasières
- ❖ Type 3 : Marais et lagunes côtiers (*)
- ❖ Type 4 : Marais saumâtres aménagés
- ❖ Type 5 : Ripisylves
Vasières
- ❖ Type 6 : Prairies alluviales (*)
Forêts alluviales
Marais alluviaux (*)
Grèves et bancs d'alluvions
- ❖ Type 7 : Marais (*)
Prairies humides (*)
Tourbières
Petites zones humides de fond de vallée
- ❖ Type 8 : Étangs
- ❖ Type 10 : Marais (*)
Prairies humides (*)
- ❖ Type 11 : Mares et étangs isolés
- ❖ Type 12 : Marais aménagés dans un but agricole (*)
- ❖ Type 13 : Carrières réaménagées

Exemples

- Le marais du lac d'Ichkeul en Tunisie abrite quelques 9.000 moutons, chèvres et bovins en pâture d'été sur ses 1.300 ha. La valeur totale de la production du cheptel (viande, lait et laine) dans les marais du parc national d'Ichkeul était estimée au prix du marché local en 1988 à 105.000 US \$. Bien qu'il soit difficile de déterminer la part réelle du marais dans cette production, du fait que le bétail n'y pâture qu'une partie de l'année, il est une des raisons importantes de cet apport économique régional (6).

Indicateurs

- *Surface agricole*
- *Nombre d'exploitations*
- *Production annuelle*
- *Nombre de têtes de bétail*

Menaces

- **Déprise agricole** (et particulièrement du pâturage) entraîne notamment dans les zones de marais un développement des espèces ligneuses qui ferment peu à peu le milieu et la banalisation des habitats ;
- **Suppression-diminution des inondations** ;
- **Drainage** ;
- **Présence d'espèces posant problème** (sangliers, castors, ragondins...)
- **L'omniprésence de moustiques** susceptibles de transmettre aux animaux d'élevage des maladies est aussi un désagrément que présentent les zones humides.

Besoins de gestion

- Favoriser et développer les modes de **culture et d'élevage extensifs** ;
- Dans beaucoup de zones humides où le pâturage à des fins agricoles a été abandonné, les gestionnaires utilisent à nouveau des espèces rustiques de bovins ou d'équins pour gérer les marais et autres zones humides. **Le pâturage** est ici détourné de sa fonction initiale vers des fins écologiques.

Bibliographie

(1)	(2)	(6)	(7)	(9)
(10)	(11)	(14)	(19)	(24)
(26)	(28)	(29)	(32)	(34)
(39)	(40)	(42)	(43)	(44)
(45)	(46)	(47)	(48)	(50)
(52)	(55)	(57)	(58)	(59)
(60)				

2. Activités économiques et stratégiques

2.2. Sylviculture

Définition

La forte production primaire des zones humides, due à l'omniprésence d'eau et les apports en éléments nutritifs, est utilisée par l'homme depuis des centaines d'années pour la sylviculture, en cultivant des espèces d'arbres et notamment de bois tendre, dont la croissance rapide permet une exploitation plus ou moins intense de cette ressource.

Fonctionnement

La production de bois dans les zones très humides a été vite développée car la croissance rapide des boisements (souvent de bois tendre) permettait d'avoir une bonne ressource en bois de feu. Aujourd'hui c'est la populiculture qui domine la sylviculture dans les zones humides.

On peut également noter :

- populiculture
- productions d'osier
- taillis à courte rotation (saulaie) pour le bois-énergie
- sylviculture des forêts naturelles à bois durs : frêne, chêne, érable...
- production de bois précieux (noyers, merisiers...)

Aspects négatifs

- Les peuplements monospécifiques entraînent une **diminution importante de la biodiversité et de certaines capacités fonctionnelles** des zones humides comme l'écrêtement des crues, l'épuration des eaux...

Enjeux

La sylviculture présente un fort enjeu économique mais peut également présenter un intérêt écologique lorsque les cultures sont gérées de façon intégrée et extensive.

État des connaissances

Type de zone humide

- ❖ Type 3 : Marais et lagunes côtiers
- ❖ Type 5 : Ripisylves (*)
- ❖ Type 6 : Prairies alluviales (*)

- ❖ Type 7 : Forêts alluviales (*)
Bras morts et secondaires
Marais alluviaux
Marais
Tourbières
Petites zones humides de fond de vallée
- ❖ Type 10 : Marais
- ❖ Type 13 : Carrières réaménagées

Exemples

Indicateurs

- *Surface boisée*
- *Volume de bois produit*

Menaces

- **Les dysfonctionnements des zones humides** portent atteinte à la fonction sylvicole. C'est en particulier le cas de la baisse des nappes (mortalité des peupliers).

Besoins de gestion

- Il faut favoriser la sylviculture avec **des essences variées** (notamment des espèces de bois dur) et surtout en laissant **se développer en sous-étage** des communautés variées (éviter le broyage et la tonte) en espèces, taille, âge...

Bibliographie

(1)	(2)	(7)	(10)	(19)
(20)	(24)	(29)	(34)	(39)
(43)	(45)	(46)	(50)	(52)
(55)	(58)			

2. Activités économiques et stratégiques

2.3. Pêche professionnelle – pisciculture et aquaculture

Définition

Les zones humides présentent un très fort intérêt pour la pêche professionnelle et la pisciculture car les espèces de poissons sont dépendantes de ces milieux pour vivre (pour leur reproduction, leur alimentation, leur croissance...). De nombreuses espèces de poissons et autres produits aquatiques sont exploitées à des fins commerciales. La pêche est basée sur l'exploitation de populations naturelles alors que la pisciculture et l'aquaculture (dont l'ostréiculture, cf. fonction 2.4) sont basées sur la production intensive de poissons, mollusques et crustacés dans des cages, sur des supports ou sur le pourtour des zones humides.

Fonctionnement

Zones humides côtières : les lagunes côtières sont les parmi les zones humides les plus productives du bassin méditerranéen. Leur nombre (600.000 à 700.000 ha) et leur répartition inégale autour du bassin en font des zones particulièrement importantes. L'absence de marées les rend unique pour l'exploitation depuis des milliers d'années. L'évaporation y est supérieure aux précipitations et la balance hydrologique dépend donc de l'apport en eau douce du bassin versant et de celui en eaux salées de la mer. De nombreuses espèces migrent de la lagune vers la mer et inversement : elles se reproduisent en mer et pénètrent dans la lagune pour grossir et atteindre leur maturité. Arrivées à l'âge adulte elles sortent de la lagune pour retourner en mer. Et c'est à la sortie de la lagune qu'elles sont pêchées. (sources)

Zones humides continentales :

Les zones humides peuvent participer au fonctionnement de la pêche fluviale. En effet les brochets pêchés en Saône se reproduisent dans les prairies pendant les crues, lorsque celles-ci sont inondées.

Les piscicultures intensives ne sont pas des zones humides mais elles peuvent en créer marginalement : bassins abandonnés, zones de rejets des eaux, etc.

Aspects négatifs

- **La production intensive** en aquaculture nécessite l'apport d'aliments qui vont augmenter la quantité de débris organiques dans le milieu, augmentant ainsi le risque d'**eutrophisation**.
- **Diverses substances**, comme les antibiotiques, les hormones de croissance par exemple, sont utilisées plus ou moins massivement et peuvent donc se retrouver à des concentrations parfois importantes dans le milieu naturel, provoquant chez les espèces sauvages des **modifications physiques et physiologiques** notamment.
- Ces élevages peuvent entraîner l'introduction et la propagation parmi les populations d'espèces sauvages locales de **maladies et parasites nouveaux**.
- Un non contrôle des quantités et de la qualité des poissons pêchés peut entraîner une **surexploitation de la ressource halieutique**. En effet si une trop grande quantité d'individus

adultes reproducteurs peut avoir des conséquences négatives importantes sur les populations piscicoles.

- La pisciculture intensive entraîne une **dégradation des milieux situés en aval** : eutrophisation, éventuels rejets d'antibiotiques...

Ces aspects négatifs concourent à influencer négativement sur d'autres fonctions des zones humides concernées comme la biodiversité (2.1), l'apport de toxiques (2.9).

Enjeux

Cette activité concerne non seulement des pêcheries industrielles mais également des pêcheries de subsistance destinées à la consommation familiale, à la vente sur le marché voisin ou au restaurant voisin. Elle présente donc un enjeu économique majeur pour la région et les pêcheurs.

État des connaissances

Type de zone humide

- ❖ Type 2 : Baies et estuaires moyens-plats (*)
- ❖ Type 3 : Marais et lagunes côtiers (*)
- ❖ Type 4 : Marais saumâtres aménagés (*)
- ❖ Type 6 : Prairies alluviales
Forêts alluviales
Bras morts et secondaires (*)
Marais alluviaux (*)
- ❖ Type 7 : Marais
- ❖ Type 8 : Étangs (*)
- ❖ Type 9 : Bordures de plans d'eau
- ❖ Type 10 : Marais
- ❖ Type 11 : Mares et étangs isolés (*)
- ❖ Type 13 : Carrières réaménagées

Exemples

- L'aménagement d'une marina à l'étang de Leucate en France, pour le développement touristique sur le cordon littoral, a nécessité l'élargissement de l'ouverture sur la mer entraînant une entrée beaucoup plus importante d'eau de mer dans la lagune qui a été profondément modifiée : sa salinité a augmenté de 30 à 38 g/l faisant chuter la production piscicole de 40 à 10 kg/ha/an et donc le nombre de pêcheurs qui est passé à 47 après les travaux contre 117 avant (6).
- En 1966 une conduite d'eau provenant de la Durance a été construite sur l'étang de Berre suite à la construction d'une usine hydroélectrique sur le bord de la lagune. L'eau douce de la Durance est acheminée jusqu'à la lagune pour alimenter l'usine puis est déversée dans la lagune elle-même (l'usine déverse chaque année dans la lagune des quantités d'eau douce égales à 3 ou 4 fois son volume). Cet aménagement et cet

apport d'eau douce ont entraîné d'importants changements dans la composition en espèces des populations de poissons dans la lagune (6).

- L'anguille de Méditerranée (*Anguilla anguilla*) fait l'objet d'un marché économique important et prospère : de jeunes anguilles provenant de zones humides protégées comme Ichkeul en Tunisie ou El Kala en Algérie sont expédiées en Europe (essentiellement Italie et Hollande) ayant rapporté à la Tunisie quelques 800.000 US \$ en 1988. mais la dégradation récente de la qualité des eaux du lac d'Ichkeul a fortement affaibli ces revenus. D'autre part la surpêche et la dégradation de son habitat menacent aujourd'hui fortement l'anguille de disparition (6).

Indicateurs

- *Nombre de pêcheurs, d'engins de pêche*
- *Production annuelle*

Menaces

- L'usage des zones humides pour **l'agriculture et le tourisme** a pris le pas sur l'activité de pêche dans beaucoup de pays. Les aménagements liés au tourisme et les pollutions créées par ces 2 activités (pesticides, engrais, déchets organiques...) ont fortement dégradé beaucoup de lagunes côtières ce qui a fait chuter la productivité de ces milieux (en poissons, en crustacés, en mollusques) et ont eu une influence très néfaste sur la pêche et l'aquaculture.
- Les stocks de poissons exploités sont menacés par **les dégradations des rivières** :
 - seuils en rivière,
 - pollutions,
 - dégradations physiques.
- **Les aménagements hydrauliques** visant à limiter les variations hydrologiques naturelles des cours d'eau (barrages, digues... qui limitent les crues, l'érosion, les connexions entre le cours d'eau et ses annexes...) peuvent limiter les capacités de maintien de certaines populations de poissons pêchables qui ont besoin de ces variations pour boucler leur cycle biologique.

Besoins de gestion

- **Contrôle de la pêche** (nombre d'exploitations, de prises, de méthodes de pêches...)
- **Contrôle des pollutions** à leur source

Bibliographie

(6)	(7)	(11)	(14)	(19)
(20)	(24)	(29)	(32)	(41)
(42)	(43)	(52)	(57)	

2. Activités économiques et stratégiques

2.4. Ostréiculture, autres conchylicultures (mytiliculture, vénériculture...) et pénéculture

Définition

La forte productivité offerte par les zones humides côtières a favorisé le développement d'activité d'aquaculture (cf. fonction 2.3) comme des élevages conchylicoles dont l'ostréiculture.

Fonctionnement

Aspects négatifs

Enjeux

L'eutrophisation des lagunes côtières du Languedoc-Roussillon liée aux pollutions agricoles et urbaines entraîne une mortalité importante des coquillages et des poissons durant les étés chauds. En 1987 la destruction de l'ostréiculture locale a ainsi généré une perte d'environ 35 millions de francs. (citer les sources)

État des connaissances

Type de zone humide

- ❖ Type 2 : Baies et estuaires moyens-plats (*)
- ❖ Type 3 : Marais et lagunes côtiers
- ❖ Type 4 : Marais saumâtres aménagés (*)

Exemples

➤ Résumé des différents systèmes extensifs de production en marais salé (42) :

Type de culture	Espèce-cible	Rendement annuel brut maximal	Source principale de nourriture
Mollusques	Palourde	3 t/ha	Phytoplancton et phytobenthos
	Huître <i>gigas</i> (pousse)	2 t/ha	
Poissons	Fossé à poissons	200 kg/ha	Proies planctoniques aux petits poissons
	Anguilllette (expérimental)	100 à 200 kg/ha	
Crustacés	Crevette impériale	250 à 400 kg/ha	Zoobenthos

Indicateurs

Menaces

- **Eutrophisation** des milieux à cause des pollutions organiques.

Besoins de gestion

- **Maîtrise des sources de pollution** des eaux (agricoles, industrielles et urbaines).

Bibliographie

(5)	(14)	(29)	(32)	(42)
(58)				

2. Activités économiques et stratégiques

2.5. Cueillette

Définition

La cueillette est une activité qui concerne une grande variété de pratiques et d'espèces animales et végétales. De plus cette pratique en général réalisée par des amateurs peut parfois faire l'objet d'un commerce, plus ou moins légal. Cette activité concerne la plupart des espaces naturels dont les zones humides.

Fonctionnement

Cette utilisation des zones humides est difficile à décrire de façon simple du fait de la grande diversité des pratiques, des populations et des personnes concernées... Les pratiques sont fortement influencées par la culture locale (cf. fonctions 3.7 et 3.8). En effet la cueillette est très dépendante des conditions locales (présence d'un bois, d'une mare, d'une tourbière, d'une lagune...) et des habitudes (voire parfois des croyances) héritées de longue date.

Aspects négatifs

La cueillette est souvent pratiquée de façon « **sauvage** », sans contrôle. Dans certains cas une pratique justifiée par la tradition peut **exercer sur des espèces une pression** très importante, pouvant porter atteinte aux populations concernées.

Enjeux

La cueillette a un rôle économique dans le cas où les personnes exerçant cette activité vendent la marchandise récoltée à d'autres personnes, à des restaurants, au marché...

Mais la classification de la cueillette en tant qu'activité économique n'est pas absolue car dans de nombreux cas elle est pratiquée à des fins non commerciales mais pour une consommation ou utilisation personnelle, comme une pratique traditionnelle locale, comme une pratique ancestrale à transmettre. De ce point de vue la cueillette a plutôt un rôle social et même parfois identitaire.

État des connaissances

Type de zone humide

- ❖ Type 2 : Baies et estuaires moyens-plats
Vasières
- ❖ Type 3 : Marais et lagunes côtiers

- ❖ Type 4 : Marais saumâtres aménagés
- ❖ Type 5 : Ripisylves (*)
- ❖ Type 6 : Prairies alluviales
Forêts alluviales (*)
Bras morts et secondaires
Marais alluviaux
Grèves et bancs d'alluvions
Berges végétalisées
- ❖ Type 7 : Marais (*)
Prairies humides
Tourbières (*)
Petites zones humides de fond de vallée
- ❖ Type 8 : Étangs
- ❖ Type 9 : Bordures de plans d'eau
- ❖ Type 10 : Marais (*)
Prairies humides
- ❖ Type 11 : Mares et étangs isolés (*)

Exemples

Morilles, pleurotes, houblon (ripisylves), grenouille rousse (tourbière), coquillages, muguet
Salicorne (production de 1000 t en baie de Somme, 10 t dans les marais charentais) (42)
Saliculture
Tourbage : extraction de la tourbe pour combustible, pour substrat de culture

Indicateurs

Menaces

Besoins de gestion

Bibliographie

(10)	(29)	(32)	(39)	(42)
(48)	(52)	(55)	(58)	

2. Activités économiques et stratégiques

2.6. Production et stockage d'eau potable

Définition

De nombreux sites naturels assurent la protection de la ressource en eau (nappes phréatiques), la production (captages) ou le stockage (réservoirs) de l'eau potable. Cette ressource est généralement utilisée dans l'alimentation domestique des populations, mais elle fait localement l'objet d'une valorisation comme eau minérale.

Fonctionnement

Le stockage de l'eau utilisée comme eau potable est essentiellement effectué par les aquifères souterrains. Les zones humides remplissent surtout la fonction de production d'eau potable en « épurant » les eaux de surface avant qu'elles ne rejoignent le sous-sol, ou en protégeant simplement les ressources situées en dessous. Cette épuration est effectuée par les végétaux et les bactéries vivants dans ces zones humides (cf. fonction 2.7).

Aspects négatifs

Enjeux

Les captages d'eau potable sont en général effectués dans les nappes des vallées. Les capacités des végétaux notamment d'épuration des eaux sont utilisées pour la protection de ces captages.

État des connaissances

Type de zone humide

- ❖ Type 2 : Baies et estuaires moyens-plats
- ❖ Type 3 : Marais et lagunes côtiers
- ❖ Type 5 : Ripisylves (*)
- ❖ Type 6 : Prairies alluviales (*)
Forêts alluviales (*)
Bras morts et secondaires (*)
Marais alluviaux
- ❖ Type 7 : Marais (*)
Prairies humides
Tourbières
Milieux fontinaux (*)

- ❖ Type 8 : Petites zones humides de fond de vallée
- ❖ Type 9 : Étangs
- ❖ Type 10 : Bordures de plans d'eau
- ❖ Type 10 : Marais (*)
- ❖ Type 10 : Prairies humides
- ❖ Type 11 : Mares et étangs isolés
- ❖ Type 12 : Marais aménagés dans un but agricole (-)
- ❖ Type 13 : Carrières réaménagées
- ❖ Type 13 : Carrières en exploitation (-)

Exemples

- La vallée de la Saône est une zone fortement utilisée pour la culture intensive. Le retournement de ses prairies humides pour leur mise en culture ne cesse de progresser et notamment à proximité de nombreux champs captant. En effet sa nappe souterraine représente 57,5 millions de mètres cubes disponibles pour l'alimentation en eau potable. La menace d'une intervention lourde de traitement de l'eau potable en raison de la pollution de la nappe est réelle et le coût estimé des équipements d'épuration nécessaires pour traiter cette ressource en eau est de l'ordre de 50 millions de francs (7,6 millions d'euros) par an, pour un traitement de l'azote et des pesticides (5).
- Le secteur de Miribel-Jonage fournit l'ensemble de l'eau potable à la population de l'agglomération lyonnaise, soit environ 1,2 millions d'habitants (7).

Indicateurs

- *Volume d'eau prélevé sur le site*
- *Nombre de personnes alimentées*
- *Proximité d'une zone de protection de captage*

Menaces

- La disparition des zones humides peut entraîner une **diminution de l'épuration** des eaux et donc perdre en potabilité.

Besoins de gestion

- Construction et amélioration des **systèmes d'épuration** des eaux usées (STEP, lagunage...);
- **Protection voire création de zones humides.**

Bibliographie

(1)	(5)	(7)	(9)	(10)
(11)	(34)	(40)	(50)	(52)
(55)	(58)	(59)		

2. Activités économiques et stratégiques

2.7. Rejets : épuration des eaux (lagunage)

Définition

Les capacités épuratrices des zones humides connues des hommes ont été exploitées par l'homme pour traiter notamment les rejets d'eaux usées. Ces capacités sont dans certains cas exploitées artificiellement, c'est-à-dire que des espaces sont créés et plantés d'espèces comme le roseau ou la jacinthe d'eau (dans les tropiques ?) et les eaux usées y sont déversées pour être épurées avant d'être rejetées dans le milieu naturel. Mais parfois cette fonction est détournée et certains industriels ou agriculteurs sont tentés de rejeter leurs eaux usées directement dans des zones humides sauvages.

Fonctionnement

Les zones humides ont de grandes capacités d'épuration des eaux qui y entrent. Certaines espèces végétales et surtout les microorganismes présents permettent de réduire de façon significative les taux d'azote, de phosphore, de matières en suspensions (MES), de matière organique (MO), de micro-polluants... qui chargent les eaux usées humaines, par fixation, dégradation, piégeage, consommation...(cf. fonctions 1.6, 1.7, 1.8 et 1.5).

Aspects négatifs

Enjeux

Le mode de consommation humaine produit une grande quantité de déchets qui peuvent porter très fortement atteinte au milieu naturel s'ils ne sont pas correctement traités. Par exemple si des eaux polluées sont restituées au milieu naturel sans traitement, elles pourront rejoindre les eaux souterraines et les rendre impropres à la consommation ou nécessiter des traitements de potabilisation importants et coûteux. De plus des apports trop importants de nutriments et de polluants dans les milieux naturels ont des conséquences très néfastes pour les espèces animales et végétales et les habitats (eutrophisation, toxicité...).

État des connaissances

Type de zone humide

- ❖ Type 2 : Baies et estuaires moyens-plats
Vasières
- ❖ Type 3 : Marais et lagunes côtiers (*)

- ❖ Type 4 : Marais saumâtres aménagés
- ❖ Type 5 : Ripisylves (*)
Vasières
- ❖ Type 6 : Prairies alluviales
Forêts alluviales (*)
Bras morts et secondaires
Marais alluviaux (*)
Berges végétalisées
- ❖ Type 7 : Marais (*)
Prairies humides
Tourbières
Petites zones humides de fond de vallée
- ❖ Type 8 : Étangs (*)
- ❖ Type 9 : Bordures de plans d'eau
- ❖ Type 10 : Marais (*)
Prairies humides
- ❖ Type 11 : Mares et étangs isolés (*)
- ❖ Type 12 : Marais aménagés dans un but agricole (-)
- ❖ Type 13 : Carrières réaménagées
Carrières en exploitation

Exemples

- Le secteur de la Bassée (vallée de la Seine en amont de Paris) assure un rôle considérable d'épuration naturelle des eaux, de l'ordre de 15 millions d'euros par an (Laurans et al., 1996, in (7)). Pour l'explicitation plus précise de cet exemple : voir fonctions 2.7 et 2.8.
- La commune de Saint-Jorioz en bordure du lac d'Annecy a un projet d'aménagement de la zone humide des Marais de la ZAC des Tuileries afin de protéger son captage d'eau potable des infiltrations non traitées des eaux pluviales qui doit coupler un ouvrage de traitement des eaux pluviales et la zone humide des Marais. Ainsi les eaux en provenance de la ZAC, de la route nationale et des voies communales pourront être débarrassées des hydrocarbures, métaux, sels de déneigement et produits divers de la ZAC avant de rejoindre le milieu naturel. Les eaux seront collectées et subiront un prétraitement notamment par séparation des hydrocarbures puis rejoindront la zone humide qui permettra un traitement tertiaire des eaux. De plus la zone humide, après quelques aménagements, pourra être utilisée pour écrêter et stocker les eaux pluviales (débit entrant pour une pluie décennale : 4,25 m³/s, débit prévu en sortie de la zone : 0,20 m³/s). Les coûts estimés s'élèvent à 200.000 € pour les ouvrages de dépollution et 170.000 € pour l'aménagement de la zone d'écrêtement (4).
- En Haute-Savoie quelques communes utilisent les zones humides comme milieu récepteur et de traitement des eaux de pluies (pour les petites communes) : les eaux pluviales (et parfois les eaux usées) sont collectées, prétraitées (sauf dans les cas d'installations anciennes ou pour des eaux peu polluées) et déversées dans des zones humides avant de rejoindre les cours d'eau. Cette utilisation des zones humides n'est pas applicable partout. Il faut que sa position géographique ou topographique soit favorable (pas en altitude trop haute, pas trop éloignée des sources), que sa surface soit

suffisante (capacité de rétention suffisante pour ne pas être saturée trop rapidement), qu'elle ne soit pas en pente, qu'elle ne soit pas en relation directe avec le réseau hydrographique de surface (car la mise en charge par les réseaux est synchrone avec celle due aux alimentations naturelles, d'où une rapide saturation) et qu'elle ne soit pas située sur des affleurements argileux ou de roches imperméables (souvent temporaires ou à capacité de rétention limitée). De plus les critères naturalistes sont importants : la présence de certains habitats d'intérêt ayant des exigences hydrologiques particulières comme les tourbières acides à sphaignes ou les prairies humides de fauche ou d'espèces d'intérêt peut exclure toute possibilité de rejet des eaux pluviales dans la zone humide. Cependant ce critère naturaliste nécessite une analyse au cas par cas, certains habitats d'intérêt supportant des inondations par exemple. De même les relations éventuelles avec des nappes exploitées devront être étudiées au cas par cas, ainsi que l'éventuelle utilisation de zones humides dégradées (remblais ou cultures). Ainsi la FRAPNA et ASTERS ont dénombré 700 zones humides potentiellement exploitables à ce titre mais chaque zone ayant un fonctionnement particulier, des études doivent de toute façon être menées au cas par cas afin de définir précisément les potentialités réelles de la zone humide concernée (4).

- Dans les communes rurales de la Marne, les zones humides alluviales de la Champagne crayeuse présentent un potentiel épurateur intéressant. Le fonctionnement hydrodynamique de l'aquifère crayeux est complexe car il présente 2 caractéristiques principales : l'écoulement des eaux de pluie infiltrées se fait le long des pentes à une profondeur de 1 m environ et au contact du substratum, il correspond donc à une tendance à la circulation subhorizontale suivant la pente des coteaux, et l'infiltration dans la zone non saturée s'intensifie et devient de plus en plus rapide de l'amont vers l'aval des coteaux en fonction de l'intensité de la fissuration de la craie. Les volumes de pluie infiltrés gagnant la nappe augmentent donc de l'amont vers l'aval. On observe alors une augmentation des teneurs en nitrates dans les eaux souterraines selon un cheminement du haut des coteaux vers le fond de vallée, pouvant atteindre jusqu'à 40 à 60 mg/l (à partir de 50 mg/l, les normes de qualité imposent de traiter l'eau ou de la diluer pour la potabilisation), et une diminution de la teneur en nitrates, de la circulation de l'eau dans le sol de la zone alluviale, lorsque les sols sont totalement saturés en eau, ce qui est normalement le cas une grande partie de l'année, cette réduction permettant à l'eau de retrouver des teneurs plus faibles dont la valeur peut parfois être inférieure à 10 mg/l. Cela témoigne du potentiel épurateur en nitrates des zones humides alluviales des vallées de Champagne crayeuse lorsqu'elles sont maintenues dans de bonnes conditions de fonctionnement hydrodynamique, et en particulier lorsque les niveaux d'eau permettent une saturation des sols en eau. La majorité des communes rurales de la Marne sont situées près d'une vallée et généralement en bordure du lit majeur. Elles se trouvent donc généralement proches de la zone où la teneur en nitrates est maximale. Dans ces conditions, pour un responsable de commune rurale les choix peuvent être les suivants : soit la zone humide associée à la rivière est maintenue dans son fonctionnement naturel, ceci permettant un pompage dans la nappe alluviale avec des teneurs en nitrates satisfaisant les normes et favorisant l'installation d'un système d'épuration par lagunage (la négociation foncière se fait plus facilement pour une zone humide que lorsque les terrains sont autrement mis en valeur), soit la zone humide a été modifiée et a perdu ses caractéristiques naturelles, la dynamique hydraulique a été modifiée et la nappe présente des teneurs en nitrates nécessitant un traitement, la commune se trouvant par

ailleurs dans l'incapacité de dégager une réserve foncière susceptible d'admettre un lagunage et se tournant délibérément vers un système d'épuration « compact » (STEP). Représentons d'abord la situation d'une commune rurale typique de la Marne (moins de 600 habitants), dans laquelle on conserve à la zone humide alluviale sa dynamique hydraulique (inondabilité) et sa vocation naturelle (prairies, forêt alluviale...), c'est l'option « zone humide alluviale naturelle et épuration par lagunage ». On suppose que cette commune utilise un système d'épuration par lagunage qui permet par ailleurs d'utiliser un réseau d'assainissement unitaire. Ce système produit des effluents impropres au rejet direct dans la rivière. Il nécessite donc un complément d'épuration (épuration tertiaire), qui doit être effectué par un transit de l'effluent dans un sol de zone humide jusqu'à la rivière. Pour le fonctionnement d'un tel système il faut donc disposer de l'espace nécessaire aux bassins de lagunage, qui doivent être en aval de la commune, mais cependant hors zone inondable. De plus une telle configuration offre une épuration complémentaire liée au transit dans la zone humide, en aval du lagunage (ce qui représente de surcroît un « fusible » supplémentaire en cas de dysfonctionnement accidentel des bassins de lagunage). Du fait du maintien de bonnes conditions de fonctionnement écologique de la zone humide, l'aquifère alluvial utilisable par la commune est maintenu avec une teneur en nitrates faible, voire très faible, de 0 à 15 mg/l en général. Les eaux de ruissellement et d'infiltration en provenance du coteau sont épurées de leurs nitrates par le fonctionnement de la zone humide. Dans ces conditions la commune peut utiliser l'eau de l'aquifère, exempte de pollution. Le traitement pour la potabilisation peut se réduire à une simple chloration préventive (pour prévenir les proliférations bactériennes dans le réseau d'adduction). La seconde option possible est « la dégradation qualitative de la zone humide alluviale ». Dans ce cas le fonctionnement de la zone humide alluviale est dégradé, en particulier le caractère hydromorphe des sols et les potentialités pour l'épuration ne sont pas utilisées. Les possibilités et la situation de la commune sont : l'épuration des effluents domestiques dans une station compacte, celle-ci nécessitant un réseau d'assainissement séparatif (séparation eaux pluviales/eaux domestiques), et, du fait de la dégradation qualitative écologique de la zone humide, la fonction d'épuration des nitrates n'est plus assurée et l'aquifère alluvial présente des teneurs en nitrates parfois supérieures à 50 mg/l ce qui nécessite un traitement pour l'alimentation en eau potable. Avec la première option, le coût annuel approximatif par habitant, pour l'épuration et la potabilisation, sont de 249 F (38 €). Dans la seconde option, le coût total par habitant est de 820 F (125 €). Ces 580 F (87 €) par an et par habitant (qui représentent la valorisation sociale du service naturel rendu par la zone humide dans l'épuration des nitrates) correspondent à une approche du service naturel d'épuration (donc sans prendre en compte les autres fonctions) des nitrates exclusivement (donc sans prendre en compte l'épuration des phosphates, la rétention des matières en suspension, des métaux lourds...) pour l'épuration domestique et l'adduction d'eau potable de la population des communes rurales exclusivement (donc sans prendre en compte les autres usages de la nappe alluviale et de la rivière). La population des communes de moins de 600 habitants dans le département de la Marne se montant à 109.108 habitants, on peut estimer que l'économie réalisée s'élève à environ $110.000 * 600 = 66 \text{ M.F/an}$ (1 M.€/an). Mais cette évaluation s'applique à l'hypothèse que l'ensemble des vallées de la Marne sont occupées en zones humides fonctionnelles, ce qui n'est bien sûr pas le cas et elle englobe donc des services rendus « déjà perdus » (coûts subis), des services rendus potentiels (pour les communes non équipées comme dans l'évaluation) et des services

rendus actuellement effectifs (coûts évité pour les communes équipées comme indiqué). Elle reste théorique (12).

Indicateurs

- *Nombre et volume des rejets*
- *Prix du remplacement* du service rendu par des aménagements : prix du traitement de l'eau pour la potabilisation, changer le captage, interdire la baignade...

Menaces

Besoins de gestion

- **Une directive européenne** oblige les villes de plus de 100.000 habitants à s'équiper de stations d'épuration pour traiter leurs eaux usées pour 1998, permettant ainsi de limiter les rejets d'eaux domestiques polluées dans les zones humides.
- **Augmenter les surfaces de contact terre-eau** par reméandrage

Bibliographie

(1)	(2)	(4)	(5)	(7)
(10)	(11)	(12)	(14)	(18)
(19)	(20)	(34)	(39)	

2. Activités économiques et stratégiques

2.8. Carrières - mines

Définition

Les zones humides peuvent représenter une part importante de l'alimentation en granulats. Cette activité peut engendrer des impacts très négatifs sur l'environnement : destruction de milieux, perturbation des systèmes fluviaux...

Fonctionnement

Aspects négatifs

Enjeux

Environ 50% de la production nationale de granulats sont d'origine alluvionnaire dont 70 à 80% sont extraits en zone inondable (34).

État des connaissances

Type de zone humide

- ❖ Type 5 : Ripisylves
- ❖ Type 6 : Prairies alluviales (*)
Forêts alluviales
Bras morts et secondaires (*)
Marais alluviaux (*)
Grèves et bancs d'alluvions (*)
Berges végétalisées
Berges nues
- ❖ Type 7 : Petites zones humides de fond de vallée
- ❖ Type 13 : Carrières en exploitation (*)

Exemples

Indicateurs

- *Volumes extraits*
- *Surface concernée*
- *Revenu brut* de l'activité

Menaces

- **Destruction d'habitats**, mise à nu des nappes phréatiques qui deviennent alors plus vulnérables aux pollutions extérieures, abaissement des nappes...

Besoins de gestion

Bibliographie

(7)	(8)	(20)	(21)	(22)
(23)	(34)	(50)		

2. Activités économiques et stratégiques

2.9. Tourisme

Définition

L'attrait pour les espaces naturels (beauté des paysages, habitats naturels, faune, flore) et les activités qui peuvent y être pratiquées (pêche, randonnée, canoë) permettent de développer une activité économique de tourisme autour de ces thèmes (cf. fonctions 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 et 3.8).

Fonctionnement

Les activités touristiques développées autour des zones humides sont très variées mais tournent très souvent autour de l'idée d'une invitation à la découverte générale, passant par des expositions thématiques, des randonnées guidées, des manifestations particulières (fête de la tourbe à Saint-Lyphard-en-Brière) permettant parfois d'attirer des touristes à des périodes plus creuses (automne).

Aspects négatifs

- Les touristes « écologiques » sont moins sources de dommages aux milieux naturels que les touristes de masse, mais ils nécessitent tout de même de **solides infrastructures** pour éviter une dégradation des zones humides. Pendant les mois les plus secs, les zones méditerranéennes voient leur population s'accroître de façon exponentielle, provoquant notamment une **augmentation draconienne de la consommation d'eau**. De plus la production d'**eaux usées** est fortement accrue également et certaines communes préfèrent déverser leurs eaux usées directement dans les lagunes ou la mer plutôt que d'investir dans d'importantes stations d'épuration provoquant ainsi **des pollutions marines** (golfe Thessalonique en Grèce) ou **l'eutrophisation de systèmes lagunaires** (étang d'Or en France, lagune d'Orbetello en Italie).

- **Pour lutter contre les moustiques**, les zones humides présentant un intérêt touristique peuvent être régulièrement pulvérisées de **produits chimiques phytosanitaires** (dont des insecticides) qui pourront **polluer les eaux et les sols, intoxiquer d'autres espèces animales et végétales** de la zone humides et aux alentours.

Enjeux

L'intégration de l'environnement dans l'économie locale peut favoriser grandement la protection de celui-ci en lui conférant une valeur économique plus facile à faire accepter en règle générale.

État des connaissances

Type de zone humide

- ❖ Type 2 : Baies et estuaires moyens-plats (*)
Vasières (-)
- ❖ Type 3 : Marais et lagunes côtiers
- ❖ Type 4 : Marais saumâtres aménagés (*)
- ❖ Type 5 : Ripisylves
- ❖ Type 6 : Forêts alluviales
Bras morts et secondaires
Marais alluviaux
Grèves et bancs d'alluvions (*)
- ❖ Type 7 : Marais
Prairies humides
Tourbières
Milieux fontinaux
Petites zones humides de fond de vallée
- ❖ Type 8 : Étangs
- ❖ Type 9 : Bordures de plans d'eau (*)
- ❖ Type 10 : Marais
Prairies humides
- ❖ Type 11 : Mares et étangs isolés
- ❖ Type 12 : Marais aménagés dans un but agricole (-)
- ❖ Type 13 : Carrières réaménagées (*)
Carrières en exploitation (-)

Exemples

- Gîtes « Panda » labellisés par le ministère du tourisme à l'initiative du WWF et de la Fédération des PNR mettant même parfois à la disposition des clients des observatoires en bordure d'étang (2). Malle pédagogique FRAPNA.
- Dans le sud de l'Espagne la station balnéaire de Matalascaña est en compétition directe avec le parc national de Doñana créé en 1969. C'est une des plus importantes zones humides en Europe (plus de la moitié des espèces d'oiseaux y vit, s'y reproduit ou s'y arrête pendant la migration). Jusqu'au début des années 60 les marais de Doñana étaient fréquentés essentiellement pour la chasse. L'éradication du paludisme, l'exploitation des nappes phréatiques et l'impulsion d'une politique gouvernementale favorable au tourisme de masse ont soudain entraîné la prospérité de Doñana. Les zones humides furent alors drainées et les nappes pompées pour l'agriculture. Il ne reste aujourd'hui que 30.000 à 40.000 ha des 200.000 ha de marais originels. Pour l'instant la pression de développement sur le parc n'a pas été accentuée depuis la construction de Matalascaña. Mais un projet d'extension de 100 millions de dollars (environ 100 millions d'euros) susceptible de créer de très nombreux emplois le menace très sérieusement. Toutefois un rapport de la Commission Européenne révèle des projets plus soucieux de l'environnement et également susceptibles de fournir de nombreux emplois. En outre les riziculteurs et les producteurs de fraises de la région

sont mis en cause depuis plusieurs années par les associations de protection de la nature du fait de leur énorme consommation d'eau et de leur utilisation massive de pesticides. L'impact immédiat sur l'environnement n'est pas encore clairement établi car les données sont rudimentaires et l'équilibre en eau de la nappe aquifère reste mal connu. Et la gestion des eaux du parc par plusieurs agences ne facilite pas les choses. Cependant les simulations du niveau des nappes pour le prochain siècle ne sont pas très encourageantes : avec une pluviométrie moyenne et un pompage annuel de 52,2 millions de mètres cubes d'eau pour irriguer 6.900 ha le niveau de la nappe à l'horizon 2005 sous les dunes sur le côté ouest du parc baissera de 1 à 5 m et la rivière Rocina deviendra une source principale de recharge de la nappe qui chutera de 3,5 m sous certaines parties du cours d'eau. Les pollutions par les engrais et les pesticides n'ont été jusqu'à présent détectées qu'en faible quantité. Ses effets sont très mal connus et on peut craindre une pollution de la nappe même si les effets restent encore invisibles pendant une bonne dizaine d'années. Le plus gros danger pour le Doñana serait la construction d'un second village de vacances. Avec déjà près de 200.000 personnes utilisant 350 l d'eau chaque jour pendant l'été, toute demande supplémentaire entrerait en compétition directe avec les besoins de la zone humide du parc national dont les capacités sont déjà insuffisantes (6).

- Vers 1920, le journaliste niortais Henri Clouzot baptisait le marais poitevin de « Venise verte ». Aujourd'hui le plaisir de glisser sur les conches en s'aidant de la pigouille n'est plus une exclusivité maraîchine. Des chalands à voile sillonnent en été les roselières de Brière, des canoës les voies d'eau du marais poitevin et des barques les hortillonnages d'Amiens. Le tourisme s'est popularisé depuis une vingtaine d'années grâce aux initiatives des pouvoirs publics et des parcs naturels régionaux. Les revenus qu'il procure sont apparus comme un complément indispensable pour des économies traditionnelles en déclin (43).

Indicateurs

- *Nombre de nuitées d'hôtels*
- *Nombre d'entrées dans les sites touristiques*
- *Chiffre d'affaire des structures d'accueil*
- *Evaluation de la retombée monétaire de la dépense des usagers*

Menaces

- Les zones humides sont des espaces très favorables à la biodiversité, non seulement pour les plantes, les oiseaux ou les poissons mais également pour des espèces présentant des inconvénients au confort et à la santé humaine comme **les moustiques**. En effet ces milieux peuvent être favorables au développement de populations de moustiques (développement des larves en milieu aquatique). Outre le risque de transmission de maladies par leur intermédiaire, les moustiques rendent les zones humides très inhospitalières du fait de « l'agression » continue effectuée par les moustiques.
- Les zones humides peuvent parfois être la **source de bruits** (cf. fonction 1.14) pouvant devenir désagréables pour l'homme (grenouilles).

Besoins de gestion

- Il faut construire des infrastructures permettant de **canaliser le public et limiter les impacts de la surfréquentation et informer les touristes sur le milieu et sa fragilité.**
- **Les infrastructures** d'accueil du public et des touristes doivent être construites le plus respectueusement possible pour l'environnement.

Bibliographie

(2)	(6)	(7)	(11)	(14)
(18)	(19)	(20)	(26)	(29)
(32)	(39)	(43)	(48)	(52)
(57)				

2. Activités économiques et stratégiques

2.10. Réserve incendie et stockage des eaux industrielles

Définition

Pour pallier l'insuffisance du débit de conduites d'eau, principalement en milieu rural, ainsi que pour la défense de sites dangereux (types ICPE, élevages, stockages de fourrage), la réglementation peut imposer la présence d'une réserve d'eau de 120 m³ à moins de 400 m de l'établissement à défendre. Rien n'empêche que ce réservoir soit une mare fonctionnelle plutôt qu'un ouvrage hydraulique coûteux, du moment que le volume minimal requis y est disponible toute l'année et que certaines règles permettant l'utilisation de l'eau par les services de secours soient respectées. Dans ce but, il peut être envisagé de concevoir une mare alimentée par la rétention des eaux de pluie canalisées depuis les toitures.

Fonctionnement

Aspects négatifs

Enjeux

État des connaissances

Type de zone humide

- ❖ Type 11 : Mares et étangs isolés (*)

Exemples

Indicateurs

Menaces

Besoins de gestion

Bibliographie

(59)

(60)

2. Activités économiques et stratégiques

2.11. Activités stratégiques et militaires

Définition

Fonctionnement

Aspects négatifs

Enjeux

État des connaissances

Type de zone humide

Exemples

Indicateurs

- *Surface concernée*

Menaces

Besoins de gestion

Bibliographie

(7)

2. Activités économiques et stratégiques

2.12. Ressources génétiques

Définition

Fonctionnement

Aspects négatifs

Enjeux

État des connaissances

Type de zone humide

Exemples

Indicateurs

Menaces

Besoins de gestion

Bibliographie

3. Fonctions sociales

3. Fonctions sociales

3.1. Détente

Définition

Cette fonction concerne en particulier les espaces naturels périurbains dont les zones humides. Elle constitue même la principale fonction de ces espaces qui accueillent un public très nombreux (plusieurs millions de visiteurs). Cette fréquentation est généralement gratuite et libre.

Fonctionnement

Les activités de détente peuvent être très diverses en fonction des types de zones humides : promenade (forêts ou marais s'ils sont aménagés), pique-nique, contemplation, jeux (cerf-volant...), baignade (étangs, plans d'eau, carrières), barbecue, soirées, lieu de rencontre...

Aspects négatifs

- De nombreuses zones humides sont **difficiles d'accès** (sols engorgés, végétation exubérante) et de ce fait pas du tout fréquentées.
- Les zones humides peuvent parfois être la **source de bruits** (cf. fonction 1.14) pouvant devenir désagréables pour l'homme. En outre la présence importante de moustiques peut être à l'origine de désagréments préjudiciables à la fréquentation de ces milieux.
- La présence d'une végétation relativement dense à certains endroits (nombreux arbres, bosquets...) peut favoriser une **fréquentation sauvage** des zones humides pas toujours souhaitée et souhaitable par les gestionnaires (drogue, alcool, rendez-vous sexuels...).

Enjeux

Les enjeux économiques sont importants (tourisme (cf. fonction 2.9), commerces, activités payantes...) ainsi que les aspects sociaux (« bien-être » des habitants).

État des connaissances

Type de zone humide

- ❖ Type 2 : Baies et estuaires moyens-plats (*)
Vasières (-)
- ❖ Type 3 : Marais et lagunes côtiers(*)
- ❖ Type 5 : Ripisylves
Vasières (-)

- ❖ Type 6 : Prairies humides
Forêts alluviales
Bras morts et secondaires
Grèves et bancs d'alluvions (*)
Berges nues
- ❖ Type 7 : Milieux fontinaux
Petites zones humides de fond de vallée
- ❖ Type 8 : Étangs
- ❖ Type 9 : Bordures de plans d'eau (*)
- ❖ Type 11 : Mares et étangs isolés
- ❖ Type 13 : Carrières réaménagées (*)
Carrières en exploitation (-)

Exemples

- Le parc de Miribel-Jonage à Lyon accueille chaque année environ 3 millions de visiteurs ce qui reflète son rôle majeur dans les loisirs des habitants de l'agglomération (7).

Indicateurs

- *Nombre annuel de visiteurs*, nombre maximal de visiteurs : par comptage automatique des randonneurs, comptage des véhicules stationnés et extrapolation...

Menaces

- **La surfréquentation** des espaces naturels dont les zones humides peut entraîner un dérangement important de la faune ou la destruction de la végétation.

Besoins de gestion

Bibliographie

(7)	(10)	(11)	(14)	(20)
(24)	(29)	(39)	(41)	(44)
(45)	(46)	(47)	(50)	(52)
(54)	(55)	(57)	(58)	(60)

3. Fonctions sociales

3.2. Chasse

Définition

Les zones humides abritent une grande quantité d'espèces d'oiseaux d'eau susceptibles d'être chassées appelées gibier d'eau. Pour une continuité durable de cette pratique, les conservateurs de la nature et les chasseurs devraient avoir un but commun : le maintien des zones humides et de leurs populations d'oiseaux d'eau.

Fonctionnement

La chasse au gibier d'eau se pratique de différentes manières : à partir d'un abri (le gabion) où le chasseur se poste pour tirer les oiseaux, en arpentant le marais accompagné d'un chien, à la passée (à l'occasion du transit quotidien des canards, le chasseur est caché).

Aspects négatifs

- **Dérangement** d'espèces
- **Chasse d'espèces rares ou protégées**
- La construction de gabions en béton s'est accompagnée du **creusement de mares artificielles** à proximité qui ont bouleversé le paysage des marais arrière-littoraux en se substituant aux formations végétales et en impliquant des pompes illicites pour le maintien d'un niveau d'eau constant.
- En plus d'une éventuelle surchasse de certaines espèces, l'utilisation du plomb a provoqué une atteinte de plus aux populations d'oiseaux. En effet les oiseaux ingèrent les plombs avec ou en guise de graviers et contractent le **saturnisme**. Beaucoup en meurent directement ou indirectement du fait de leur état de faiblesse qui les rend vulnérables face aux prédateurs. Ce phénomène n'est pas anodin : les sédiments des marais de Camargue présentent une concentration de 2 millions de plombs par hectare.

Enjeux

La présence d'espèces sauvages conduit à l'exploitation de ces espèces par les chasseurs qui peut représenter un apport économique important pour la région.

État des connaissances

Type de zone humide

- ❖ Type 2 : Baies et estuaires moyens-plats (*)

- ❖ Type 3 : Marais et lagunes côtiers (*)
- ❖ Type 5 : Ripisylves
- ❖ Type 6 : Prairies humides
Forêts alluviales
Bras morts et secondaires
Marais alluviaux (*)
- ❖ Type 7 : Marais (*)
Prairies humides
Tourbières
Petites zones humides de fond de vallée
- ❖ Type 8 : Étangs (*)
- ❖ Type 9 : Bordures de plans d'eau
- ❖ Type 10 : Marais (*)
Prairies humides
- ❖ Type 11 : Mares et étangs isolés (*)
- ❖ Type 12 : Marais aménagés dans un but agricole
- ❖ Type 13 : Carrières réaménagées
Carrières en exploitation (-)

Exemples

- Les dépenses moyennes d'un chasseur sont estimées à 1.080 US \$ en France (1).
- L'ensemble des zones humides de Camargue compte environ 5.000 chasseurs qui génèrent près de 5 millions de dollars et permettent de financer 74 emplois permanents (1).

Indicateurs

- *Nombre d'adhérents* aux associations
- *Nombre de journées de chasse*
- *Tableaux de chasse* (nombre d'animaux tués dans la saison)
- *Evaluation de l'intérêt cynégétique* des zones humides par enquête auprès des sociétés de chasse
- *Nombre et nature des aménagements cynégétiques*

Menaces

Besoins de gestion

- **La Conférence de Grado** sur les zones humides méditerranéennes a abouti à l'interdiction immédiate de l'utilisation du plomb pour la chasse dans toutes les zones humides qui abritent des oiseaux d'eau hivernants, migrateurs ou nicheurs.
- Une part plus importante de **la cotisation annuelle** versée par les chasseurs en France pour l'acquisition de leur permis de chasse pourrait être consacrée à la promotion et à la conservation des zones humides.

Bibliographie

(1)	(2)	(6)	(7)	(9)
(10)	(14)	(19)	(20)	(24)
(26)	(29)	(32)	(39)	(44)
(45)	(46)	(47)	(48)	(50)
(52)	(54)	(55)	(57)	(58)
(59)				

3. Fonctions sociales

3.3. Pêche de loisir

Définition

La pêche à la ligne est l'un des « sports » les plus populaires des pays développés. L'importance et la variété des peuplements piscicoles des zones humides ont favorisé le développement de cette activité de pêche de loisir.

Fonctionnement

Les pratiques de pêches sont très variées en fonctions de l'espèce visée, du milieu, du lieu... En fait, la pêche utilise plus les zones aquatiques (rivières, plans d'eau) que les zones humides. Celles-ci jouent un rôle important dans l'alimentation et la reproduction des poissons d'eaux calmes.

Aspects négatifs

- Un non contrôle des quantités et de la qualité des poissons pêchés peut entraîner une **surexploitation de la ressource halieutique**. En effet si une trop grande quantité d'individus adultes reproducteurs peut avoir des conséquences négatives importantes sur les populations piscicoles.
- **Dérangement** d'espèces
- **Pêche d'espèces rares ou protégées**
- **Introduction d'espèces à pêcher** dans des milieux non adaptés avec possibilité de destruction d'espèces locales (salmonidés dans des lacs alpestres qui anéantissent des populations de batraciens)
- **Multiplification des petits plans d'eau par barrage de petits cours d'eau** ravageant certains bassins versants en réchauffant des eaux salmonicoles et en noyant des tourbières
- **Facilitation de la progression des extractions** de granulats créant des plans d'eau dans les vallées alluviales mettant les nappes à jour.

Enjeux

La présence d'espèces sauvages conduit à l'exploitation de ces espèces par les pêcheurs et génère ainsi des revenus par les cotisations de permis de pêche, le commerce et les dérivés du tourisme (cf. fonction 2.9).

État des connaissances

Type de zone humide

- ❖ Type 2 : Baies et estuaires moyens-plats (*)
- ❖ Type 3 : Marais et lagunes côtiers (*)
- ❖ Type 6 : Prairies humides
Bras morts et secondaires (*)
Marais alluviaux (*)
Grèves et bancs d'alluvions (*)
Berges nues (*)
- ❖ Type 7 : Marais
Tourbières
Petites zones humides de fond de vallée
- ❖ Type 8 : Étangs (*)
- ❖ Type 9 : Bordures de plans d'eau (*)
- ❖ Type 10 : Marais
Prairies humides
- ❖ Type 11 : Mares et étangs isolés (*)
- ❖ Type 12 : Marais aménagés dans un but agricole
- ❖ Type 13 : Carrières réaménagées
Carrières en exploitation (-)

Exemples

- Le brochet est une espèce fort appréciée par les pêcheurs de loisir. Or la survie de l'espèce est indissociable de la subsistance des zones humides car il effectue sa reproduction dans les zones humides (notamment dans les prairies inondées).

Indicateurs

- *Nombre d'adhérents* aux associations de pêcheurs
- *Comptage*
- *Classification de l'intérêt pour la pêche ou la reproduction du poisson* d'une zone humide d'après les fédérations de pêche

Menaces

- **Les aménagements hydrauliques** visant à limiter les variations hydrologiques naturelles des cours d'eau (barrages, digues... qui limitent les crues, l'érosion, les connexions entre le cours d'eau et ses annexes...) peuvent limiter les capacités de maintien de certaines populations de poissons pêchables qui ont besoin de ces variations pour boucler leur cycle biologique.

Besoins de gestion

- **Maîtrise et contrôle** de la pêche (nombre de pêcheurs, quantité de prises, lieux de pêche, espèces capturées...)

Bibliographie

(1)	(2)	(6)	(7)	(9)
(10)	(14)	(19)	(20)	(24)
(29)	(32)	(39)	(41)	(44)
(45)	(46)	(48)	(50)	(52)
(55)	(57)	(60)		

3. Fonctions sociales

3.4. Découverte de la nature

Définition

Les zones humides sont des espaces qui abritent une grande diversité d'espèces animales et végétales, d'habitats (cf. fonction 1.1) et de paysages (cf. fonction 3.6) qui attirent beaucoup de visiteurs pour la découverte de la nature.

Fonctionnement

Aspects négatifs

- **Dérangement** d'espèces

Enjeux

La présence d'espèces sauvages conduit à l'arrivée d'activités de découverte et d'observation de la nature : attrait touristique qui peut être une source de revenus non négligeable pour les communes, gestionnaires... (cf. fonction 2.9).

État des connaissances

Type de zone humide

- ❖ Type 2 : Baies et estuaires moyens-plats (*)
Vasières
- ❖ Type 3 : Marais et lagunes côtiers (*)
- ❖ Type 5 : Ripisylves (*)
Vasières
- ❖ Type 6 : Prairies humides
Forêts alluviales (*)
Bras morts et secondaires (*)
Marais alluviaux (*)
Grèves et bancs d'alluvions
Berges végétalisées
Berges nues
- ❖ Type 7 : Marais (*)
Prairies humides
Tourbières (*)
Petites zones humides de fond de vallée
- ❖ Type 8 : Étangs (*)

- ❖ Type 9 : Bordures de plans d'eau
- ❖ Type 10 : Marais (*)
Prairies humides
- ❖ Type 11 : Mares et étangs isolés (*)
- ❖ Type 13 : Carrières réaménagées
Carrières en exploitation (-)

Exemples

- Découverte d'un site purement naturel : Salin de Badon en Camargue
- Découverte d'un site naturel modelé pour favoriser la découverte : la Capelière en Camargue
- Recréation d'un milieu pseudo naturel : le parc de Villars les Dombes

Indicateurs

- *Nombre de visiteurs* sur les points d'observation
- *Nombre de personnes touchées* par les activités pédagogiques

Menaces

Besoins de gestion

- Il est nécessaire de **canaliser les visiteurs** dans les milieux les plus sensibles au dérangement d'une trop forte présence humaine.

Bibliographie

(1)	(7)	(10)	(11)	(14)
(19)	(24)	(39)	(46)	(47)
(48)	(52)	(55)	(57)	(58)
(59)				

3. Fonctions sociales

3.5. Sport

Définition

Les activités sportives diverses et variées pratiquées dans les zones humides sont motivées par l'aspect de rapprochement avec la nature (notion de « sports nature »).

Fonctionnement

Les zones aquatiques sont propices au sport (canoë, nage en rivière, canyoning, sports nautiques...).

Les zones humides, souvent difficiles d'accès, sont souvent assez peu fréquentées. Certaines activités sont toutefois possibles dans quelques sites :

- canoë de découverte, « raids aventure » en marais
- canyoning (gorges tuffeuses)
- équitation (Camargue)
- course d'orientation, acrobbranche, en ripisylve
- quad en marais, lit de rivière...

Aspects négatifs

La pratique sportive est assez souvent en contradiction avec d'autres fonctions des zones humides :

- dérangement d'espèces (vélo, randonnée, chasse photographique) ;
- piétinement (canyoning en milieu tuffeux).

Beaucoup de sports sont reliés à l'aménagement et/ou la création de plans d'eau (multiplication des petits plans d'eau par barrage de petits cours d'eau ravageant certains bassins versants en réchauffant des eaux salmonicoles et en noyant des tourbières, mise à jour des nappes) :

- les pratiques aquatiques individuelles, motorisées ou non, diminuent les capacités d'accueil des oiseaux d'eau nicheurs ;
- le survol à trop basse altitude peut déranger les oiseaux du site ;
- les véhicules tout terrains peuvent détruire des milieux fragiles (tourbières) qui attirent les conducteurs par la difficulté de circulation qu'ils offrent.

Enjeux

L'activité sportive peut être motivée par le contact avec l'eau et la nature (randonnée par exemple) et générer d'importantes sources de revenus (cf. fonction 2.9).

État des connaissances

Type de zone humide

- ❖ Type 2 : Baies et estuaires moyens-plats (*)
- ❖ Type 3 : Marais et lagunes côtiers
- ❖ Type 4 : Marais saumâtres aménagés (*)
- ❖ Type 5 : Ripisylves
- ❖ Type 6 : Forêts alluviales
Bras morts et secondaires
Marais alluviaux
Grèves et bancs d'alluvions
- ❖ Type 7 : Marais
Petites zones humides de fond de vallée
- ❖ Type 8 : Étangs
- ❖ Type 9 : Bordures de plans d'eau (*)
- ❖ Type 10 : Marais
- ❖ Type 12 : Marais aménagés dans un but agricole (-)
- ❖ Type 13 : Carrières réaménagées (*)
Carrières en exploitation (-)

Exemples

- Voile, navigation de loisir, natation, promenade...

Indicateurs

- *Nombre d'adhérents* dans les clubs
- *Comptages* pour les sports en pleine nature
- Existence dans la zone humide (ou dans sa périphérie) de *sentiers de randonnée*

Menaces

Besoins de gestion

- **Contrôler la fréquentation et les pratiques**

Bibliographie

(1)	(2)	(9)	(11)	(14)
(19)	(20)	(24)	(32)	(45)
(46)	(52)	(54)	(57)	(58)

3. Fonctions sociales

3.6. Paysage

Définition

Les zones humides sont des espaces naturels « typiques » qui donnent au paysage un aspect naturel très recherché et apprécié à l'heure actuelle.

Fonctionnement

La spécificité du paysage de zone humide tient par définition dans la coexistence de la terre et de l'eau. Et c'est la vision simultanée de la terre et de l'eau qui fait la valeur de ce paysage.

Quels sites sont remarquables ? cela est très relatif :

- grands sites : Camargue, Mont Saint Michel, cascades du Hérisson etc
- paysage « ordinaire » marqué (marais poitevin...)

Aspects négatifs

- Certains paysages sont **ressentis négativement** (vasières...)

Enjeux

L'attrait paysager entraîne un attrait touristique parfois important (cf. fonction 2.9). La beauté des paysages peut aussi avoir une valeur sociale importante en apportant un bien-être aux habitants.

État des connaissances

Type de zone humide

- ❖ Type 2 : Baies et estuaires moyens-plats (*)
Vasières (-)
- ❖ Type 3 : Marais et lagunes côtiers (*)
- ❖ Type 4 : Marais saumâtres aménagés (-)
- ❖ Type 5 : Ripisylves (*)
Vasières (-)
- ❖ Type 6 : Prairies humides
Forêts alluviales (*)
Bras morts et secondaires (*)
Marais alluviaux

- ❖ Type 7 : Grèves et bancs d'alluvions
Berges végétalisées (*)
Berges nues
Marais
Prairies humides
Tourbières (*)
Milieux fontinaux (*)
Petites zones humides de fond de vallée (*)
- ❖ Type 8 : Étangs (*)
- ❖ Type 9 : Bordures de plans d'eau
- ❖ Type 10 : Marais
Prairies humides
- ❖ Type 11 : Mares et étangs isolés (*)
- ❖ Type 12 : Marais aménagés dans un but agricole (-)
- ❖ Type 13 : Carrières réaménagées
Carrières en exploitation (-)

Exemples

Indicateurs

Menaces

- Drainage
- Remblais
- Création de retenues collinaires
- Abandon
- Enfrichement
- L'équilibre entre l'eau et la terre reste fragile, le **solide prenant facilement le dessus sur le liquide**, faisant ainsi disparaître le paysage typique des zones humides.

Besoins de gestion

- Les **activités humaines sont souvent essentielles** pour la survie d'une zone humide, pour que l'eau soit reconnue, valorisée, mise en scène dans les pratiques et pour que sa présence soit aisément perceptible. L'évolution du paysage des marais, quelles que soient les formes d'utilisation, dépend étroitement de la capacité que l'on aura à reconnaître ou à révéler ses valeurs à travers la présence et l'action de l'homme, qui les font vivre et exister.

Bibliographie

(10)	(11)	(14)	(19)	(24)
(26)	(39)	(41)	(43)	(46)
(52)	(55)	(57)	(59)	

3. Fonctions sociales

3.7. Identité locale

Définition

La présence d'une zone humide est associée à la vie et à l'histoire personnelle des habitants locaux. De plus, elle peut être liée à une activité ou une coutume locale, ressentie comme un patrimoine culturel local à préserver (cf. fonction 3.8).

Fonctionnement

Une zone humide comme un étang, un marais, une tourbière peut être à l'origine d'un attachement local particulier pour ce lieu (souvenirs d'enfance avec les activités liées à ces milieux comme la pêche, la baignade...). Le cinéma a souvent utilisé les zones humides et cet attachement comme fond de films (*Ridicule* de Patrice Leconte, 1996, *Les enfants du marais* de Jean Becker, 1998) (27).

Des études sociologiques sur les mares ont montré que ces espaces étaient souvent associés à l'enfance dans l'esprit du public.

Bien des pratiques liées aux zones humides sont tombées en désuétude mais le capital folklorique demeure. Les cultures engendrées par les marais vivent encore ou se meurent, doucement embaumées, mais parfois ressuscitent : leur mémoire connaît aujourd'hui un engouement remarquable manifesté par l'essor des écomusées, des fêtes folkloriques et autres manifestations qui exaltent le souvenir des sociétés locales.

Aspects négatifs

- Les zones humides n'ont **pas toujours une image positive** aux yeux de leurs riverains.
- L'ambivalence physique des zones humides, ni tout à fait aquatiques, ni tout à fait sèches, leur ont valu d'être perçus comme **milieu fantastique, théâtre d'une vie mystique importante**. En effet tout au long de l'histoire les zones humides étaient réputées être le domicile des dragons (comme Rouen, Troyes, Paris ou Poitiers), de créatures fantastiques telles que les fées, les sirènes ou les ondines, des peuples morts formés des âmes du purgatoire ou des damnés, être la source de la combustion, de la corruption (histoire d'Iseult dans le *Roman de Tristan* où le marais représente la corruption des chairs par la maladie et la mort et de l'ordre social par le désordre amoureux) et du venin que représente la lèpre, être des lieux sataniques, portes des enfers ou encore être la source des miasmes responsables des grandes épidémies.

Enjeux

L'enjeu de la préservation des zones humides de ce point de vue est essentiellement social : la zone humide peut être une source de bien-être du fait de la nostalgie positive qu'elle peut éveiller chez les gens ou une source de fierté du fait de l'existence de certaines pratiques « ancestrales ».

Les marais deviennent aujourd'hui des « lieux de mémoire » (Pierre Nora, in (43)) qui répondent à un double désir des Français : l'enracinement et l'évasion. Les hommes et la nature héritée conjuguent leurs projets dans une ferveur respectueuse d'un patrimoine tout neuf, qui a parfois un parfum presque religieux.

État des connaissances

Type de zone humide

- ❖ Type 3 : Marais et lagunes côtiers (*)
- ❖ Type 4 : Marais saumâtres aménagés
- ❖ Type 6 : Prairies alluviales
Forêts alluviales
Bras morts et secondaires
Marais alluviaux (*)
- ❖ Type 7 : Marais (*)
Tourbières (*)
Milieux fontinaux (*)
- ❖ Type 8 : Étangs (*)
- ❖ Type 10 : Marais (*)
- ❖ Type 11 : Mares et étangs isolés (*)
- ❖ Type 12 : Marais aménagés dans un but agricole
- ❖ Type 13 : Carrières en exploitation (-)

Exemples

- Beaufort (Isère) : il existe un projet pour conserver un usage de cressiculture aujourd'hui en voie de disparition.
- Chautagne (Savoie) : il y a une véritable volonté locale de certains riverains de retrouver le marais d'autrefois où la vue portait loin, et aujourd'hui largement planté de peupliers.
- Vernaison (Rhône) : le projet de relèvement du débit réservé et de remise en eau des lônes est en partie fondé sur des bases identitaires (retrouver le paysage de l'enfance des porteurs de projets, ou du livre « les pirates du Rhône » de Clavel).
- Camargue : les espèces sauvages comme le flamant rose ou les élevages d'espèces domestiques comme taureaux pour la tauromachie (depuis 1850) et les chevaux sont des éléments indissociables des zones humides de la Camargue et ancrés dans l'esprit et le cœur des habitants de la région.

- « *Le marais, c'est un monde entier sur la terre, monde différent, qui a sa vie propre, ses habitants sédentaires et ses voyageurs de passage, ses voix, ses bruits et son mystère surtout. Rien n'est plus troublant, plus inquiétant, plus effrayant parfois qu'un marécage. Pourquoi cette peur qui plane sur ces plaines basses couvertes d'eau ? Sont-ce les vagues rumeurs des roseaux, les étranges feux follets, le silence profond qui les enveloppe dans les nuits calmes ou bien les brumes bizarres qui traînent sur les joncs comme des robes de mortes ou bien encore l'imperceptible clapotement, si léger, si doux, plus terrifiant que le canon des hommes ou le tonnerre du ciel, qui fait ressembler les marais à un pays de rêve, à des pays redoutables cachant un secret inconnaisable et dangereux ? Non. Autre chose s'en dégage, un autre mystère plus profond, plus grave, flotte dans les brouillards épais, le mystère même de la création peut-être ! Car n'est-ce pas dans l'eau stagnante et fangeuse, dans la lourde humidité des terres mouillées sous la chaleur du soleil, sue remua, que vibra, que s'ouvrit au jour le premier germe de la vie ?* » Guy de Maupassant, « Amour », *Le Horla* (43).
- Il ne reste parfois du passé que des architectures flamboyantes qui surgissent des étendues plates et monotones. Par exemple, les marais de Brouage, dominés par la tour de Brou, ensèrent la ville forteresse, témoin de l'épopée du sel et des amours malheureux de Marie Mancini pour le futur Louis XIV. Sur les hauteurs des marais mouillés près de Niort, l'abbaye en ruines de Maillezais règne sur l'histoire du golfe des Pictons. Dans un invisible dialogue religieux, le clocher de l'église des Saintes-Marie-de-la-Mer rencontre celui de l'abbaye du Mont-Saint-Michel, mais aussi ceux des milliers d'églises qui depuis les hauts-pays dominant les régions de marais (43).

Indicateurs

Menaces

Besoins de gestion

Bibliographie

(10)	(29)	(39)	(43)	(48)
(52)	(57)			

3. Fonctions sociales

3.8. Patrimoine culturel

Définition

Les zones humides et leurs conditions particulières ont forcé les populations à adapter leurs modes de vie et notamment à créer des cultures qui font aujourd'hui partie de l'identité (cf. fonction 3.7) et du patrimoine culturel local

Fonctionnement

Les zones humides ont souvent été délaissées par les sociétés humaines du fait des désagréments qu'elles comportaient (milieux instables, maladies, moustiques). Ces espaces libres ont donc été le refuge de populations qui étaient mal considérées dans la société comme les Morins du nord de la Gaule qui ont fui l'invasion et l'esclavage de César dans les marais ou les premiers Vénitiens qui ont abandonné la terre ferme pour les îlots vaseux de la lagune. La forte productivité de ces milieux en a fait également des milieux attractifs pour les populations vivant dans ou autour des marais. Sans aller jusqu'aux aborigènes d'Australie qui utilisent les « bilabongs », on peut citer des exemples nationaux :

- le foin des marais constituait autrefois une grande richesse, complémentaire des productions agricoles des coteaux (travaux de Bravard sur la Chautagne) ;
- la pêche pouvait également représenter une ressource importante (exemple d'un enfant qui a vendu pour le « prix d'une vache » en loches capturées dans les sources de Beaurepaire il y a quelques décennies).

Ces pratiques perdurent parfois encore aujourd'hui, ou se traduisent par des traces visibles dans le paysage (exemples) :

- paysage des marais et plaines fauchées (val de Saône, etc).
- saules têtards
- arbres plantés en limites de parcelles
- petits ouvrages hydrauliques (vannes, seuils...)

Cette identité culturelle locale (cf. fonction 3.7) est aujourd'hui un atout majeur de ces zones humides favorisant le tourisme et les actions de protection visant à préserver ces pratiques originales et tout le patrimoine culturel associé.

A la suite de Rousseau, le romantique engage avec la nature une communion spirituelle. Les espaces « sauvages » sont très recherchés et morte ou vive, la présence de l'eau n'est pas indifférente, l'élément étant investi du pouvoir de faire rêver. Contrairement aux lacs, les marais et étangs sont assez inaptes à soutenir des tumultes passionnels ou des mouvements ascensionnels de l'âme. Ils ont donc toujours été associés à l'automne pour faire écho à la langueur, évoquer la mort et entraîner l'esprit dans des abîmes de mélancolie. Ils deviennent à ce titre un paysage romantique typique pris en considération dans l'art des jardins : les eaux *mortes*, composante intime des paysages de stérilité, répondent à l'affliction du cœur romantique en lui offrant le spectacle non moins affligeant d'une société en souffrance. Les zones humides ou aquatiques participent ainsi également à la culture nationale. Le romantisme est ainsi marqué par les lacs alpins (Le lac du Bourget et Lamartine). En peinture, l'impressionnisme doit beaucoup aux *Nymphéas* de Monet.

Aspects négatifs

Enjeux

En plus de l'enjeu social relatif à l'identité locale (cf. fonction 3.7), le patrimoine culturel relatif à une zone humide présente un attrait touristique, source économique importante (cf. fonction 2.9).

État des connaissances

Type de zone humide

- ❖ Type 2 : Baies et estuaires moyens-plats (*)
- ❖ Type 3 : Marais et lagunes côtiers
- ❖ Type 4 : Marais saumâtres aménagés (*)
- ❖ Type 5 : Ripisylves
- ❖ Type 6 : Prairies humides
Forêts alluviales
Bras morts et secondaires
Marais alluviaux (*)
Grèves et bancs d'alluvions
- ❖ Type 7 : Marais (*)
Prairies humides
Tourbières (*)
Milieux fontinaux (*)
Petites zones humides de fond de vallée
- ❖ Type 8 : Étangs (*)
- ❖ Type 9 : Bordures de plans d'eau
- ❖ Type 10 : Marais (*)
Prairies humides
- ❖ Type 11 : Mares et étangs isolés (*)
- ❖ Type 12 : Marais aménagés dans un but agricole
- ❖ Type 13 : Carrières en exploitation (-)

Exemples

- En Camargue, où le pèlerinage des Saintes-Maries-de-la-Mer rassemble chaque année les gitans du monde entier, l'identité du marais, à la fois terroir et exotisme, n'est pas dissociable pour les touristes de la vie des manadiers, des courses de taureaux et des soirées gitanes (43).
- Une enquête menée auprès de propriétaires de parcelles boisées riveraines de cours d'eau en été 1993 a démontré une perception patrimoniale différente de la rivière et de

ses abords en fonction de la région. En effet alors que sur les rivières Ain et Ardèche les propriétaires ont plutôt une vision positive de la rivière, les voient comme des alliées, les propriétaires riverains des rivières Giffre et Ubaye voient ces dernières comme des ennemis à combattre et à dompter. Dans le premier cas les propriétaires semblent donc mieux accepter l'idée d'une gestion écologique des cours d'eau (notamment avec la notion d'érosion naturelle des berges) alors que les seconds sont farouchement opposés à la liberté de la rivière (ils refusent l'érosion des berges, les inondations et prônent la protection des berges, l'endiguement...). Ces différences de points de vue sont les résultats d'héritages culturels différents : pour l'Ain et l'Ardèche les propriétaires sont habitués et adaptés aux divagations de leurs rivières alors que pour le Giffre et l'Ubaye les propriétaires sont habitués à la domination de la rivière. Ces résultats montrent la variabilité des possibilités de gestion plus naturelle des cours d'eau : dans certains cas ces méthodes seront très bien acceptées et relativement aisées à mettre en œuvre alors que dans d'autres, la mise en place de tels modes de gestion nécessiteront des concertations et discussions préalables (35).

- Les habitations typiques des marais, estuaires et deltas présentent une étonnante ressemblance à travers la France (et même l'Europe). Que ce soient les huttes ou cabanes poitevines, les bourrines vendéennes, les chaumières brièrannes, les mas camarguais, les mazières picardes ou flamandes, ce sont tous des bâtisses basses, tournées le dos au vent, à toit de chaume ou de tuiles ; à la mine terreuse ou éclatante de lait de chaux, « *tout à fait semblables à des morceaux de sucre* » (Giono), toujours soignées et fleuries. Ces milieux sont dépourvus de pierre mais fournissent l'essentiel : le torchis est une boue mêlée à de la paille de roseau, la *bourre*, les murs sont solides comme des talus la toiture de chaumes ou de roseau, la *rouche*, feutrée est énorme, plongeante et déborde largement. « *Accroupie sous la pluie, ramassée sur sont tertre, la bourrine tendait au déluge ses murs en talus bâtis de cette vase molle mêlée de paille qu'on nomme la bourre, son toit de roseaux glissant comme la plume des canards. L'eau s'égouttait tout autour en martelant l'aire, alimentant des rigoles qui nourrissaient le réseau de plus en plus serré de flaques. Aussi pitoyable sous l'ondée nocturne qu'une poussière vouée à l'engloutissement, la maison ne représente qu'un refuge dérisoire. Mais sous son couvert veillaient la lampe et l'espoir, le feu et celui qui l'arracha jadis d'une main tremblante à la matière pour la dompter* », Marc Elder, *La Bourrine*. Ces habitats épousent au plus près les traits de la terre ferme : écarts étirés le long des levées, villages en couronne sur les bords des « îles », témoins des anciens golfes marins, chaque rue ou sentier menant à l'étendue du marais et à l'eau. Les maisons sont reliées aux conches par une cale, le quaireux. Aujourd'hui les marais sont convoités et envahis d'habitations nouvelles et deviennent de plus en plus de vastes « parcs de campagne » dont l'urbanisation n'est pas toujours bien maîtrisée. Les hommes des marais tronchaient la tourbe, coupaient les roseaux, tressaient le jonc, pêchaient grenouilles et sangsues, pratiques anciennes liées au terroir, mais métiers perdus de nos jours. Dans la Brière la confection de couronnes de mariage en fleurs d'oranger séchées n'est plus qu'un souvenir commémoré dans un musée. Ils sont toujours pêcheurs et chasseurs, éleveurs de poissons ou de coquillages, de canards ou d'oies, de chevaux ou de taureaux de combat, maraîchers ou riziculteurs, bergers ou gardians, paludiers, manadiers... des métiers à part dans l'économie du pays, qui soulignent la singularité des marais (43).
- Les marais Pontins se sont imposés comme l'archétype des paysages chers aux romantiques et ont inspiré nombre d'artistes. Leur pénible traversée est le cadre d'un

cruel « passage à vide » que traverse Corinne, l'héroïne du roman de Mme de Staël : les marais exercent tout le pouvoir d'anéantissement dont ils sont forts pour accabler l'héroïne, qui doit lutter contre l'attraction du vide, contre la tentation puissante du « passage » dans ces lieux qui l'invitent à un sommeil fatal. Image de la désespérance, ils sont malsains et perfides, pestilentiels et mortels, peuplés de bêtes plus qu'à moitié sauvages et d'hommes malades (43).

Indicateurs

- *Nombre et état des éléments d'intérêt* par enquête auprès des DIREN, des DRAC, des associations de protection de la nature, données de terrain (pour le patrimoine construit)
- *Types de protection juridique*

Menaces

- Le patrimoine culturel tend à disparaître du fait du **vieillessement de la population** (perte des savoirs traditionnels), et de **l'évolution de la végétation** (embroussaillage, assèchement...).
- Les marécages étant des refuges pour les proscrits de la société, leurs habitants et leurs usages furent très vite suspects au regard des pouvoirs publics, pour des raisons **d'hygiène, de sécurité ou de confort**, qui n'ont alors eu de cesse de **faire disparaître ces lieux jugés insalubres et dangereux**.

Besoins de gestion

- **Collecte des témoignages** sur les pratiques et savoirs anciens
- **Entretien du patrimoine** (saules têtards, ouvrages hydrauliques, etc)

Bibliographie

(2)	(7)	(11)	(14)	(24)
(35)	(39)	(43)	(52)	(57)
(58)				

3. Fonctions sociales

3.9. Image de marque des agglomérations et des entreprises

Définition

L'environnement constitue un élément important dans l'image des villes, susceptibles de favoriser l'implantation d'entreprises ou de quartiers d'habitations. La nature est utilisée comme slogan publicitaire dans certains produits tels que les eaux minérales. Certaines agglomérations mènent des politiques ambitieuses pour donner à l'image des villes un caractère plus naturel et participer à l'identité même de l'agglomération.

Fonctionnement

Cette fonction est notamment remplie par les zones humides qui bénéficient d'une assez forte publicité aujourd'hui : les zones humides sont le symbole de la nature en danger et à protéger. Si une agglomération ou une entreprise s'engage dans cette protection et le met en avant auprès du public, elle peut en retirer une valorisation de son image de marque (construction de STEP par exemple).

Aspects négatifs

- Les zones humides comme les marais ou les tourbières peuvent encore avoir une **mauvaise image de marque** du fait de leur aspect inaccessible ou des images socio-culturelles véhiculées par les films ou autres histoires (le Marais des Morts du *Seigneur des Anneaux* de J.R.R. Tolkien par exemple).

Enjeux

L'enjeu est à la fois social (les gens apprécient l'idée que la ville où ils habitent ou l'entreprise dans laquelle ils travaillent par exemple soient respectueuses de l'environnement) et économique. Cette « bonne image écologique » peut permettre à une ville d'attirer de nouveaux habitants ou touristes (cf. fonction 2.9) et à une entreprise de nouveaux clients pour qui la protection de l'environnement est un critère de sélection.

État des connaissances

Type de zone humide

- ❖ Type 2 : Baies et estuaires moyens-plats (*)
Vasières
- ❖ Type 3 : Marais et lagunes côtiers (*)

- ❖ Type 4 : Marais saumâtres aménagés (-)
- ❖ Type 5 : Ripisylves (*)
Vasières
- ❖ Type 6 : Prairies humides
Forêts alluviales (*)
Bras morts et secondaires (*)
Marais alluviaux (*)
Grèves et bancs d'alluvions
Berges végétalisées
Berges nues
- ❖ Type 7 : Marais (*)
Prairies humides
Tourbières (*)
Milieux fontinaux
Petites zones humides de fond de vallée
- ❖ Type 8 : Étangs (*)
- ❖ Type 9 : Bordures de plans d'eau
- ❖ Type 10 : Marais (*)
Prairies humides
- ❖ Type 11 : Mares et étangs isolés (*)
- ❖ Type 12 : Marais aménagés dans un but agricole (-)
- ❖ Type 13 : Carrières réaménagées
Carrières en exploitation (-)

Exemples

- Le slogan de la ville du Mans (« Le Mans, une sacrée Nature ! ») est directement basé sur l'existence du parc de l'Arche de la Nature (7).
- Le marais de Brouage (ouest de la France) constitue un élément d'appel touristique complémentaire du patrimoine architectural. Ce marais fait partie du patrimoine local mais est une source de tourisme par l'attrait créé par cette « nature sauvage » (18).

Indicateurs

- *Opinion des visiteurs* à propos des espaces naturels (enquête)
- *Enquête auprès des entreprises régionales et des élus locaux*

Menaces

Besoins de gestion

Bibliographie

(7)

(59)

3. Fonctions sociales

3.10. Rôle du cadre de vie sur la santé

Définition

Différentes études épidémiologiques ont montré qu'un cadre de vie agréable incluant des espaces verts dont des zones humides était très favorable à une bonne santé. Certains parcs accueillent d'ailleurs des centres sanitaires spécialisés (psychiatrie, gériatrie). Toutes les activités sportives et de détente sont intéressantes en terme de santé publique, en particulier pour certains publics (troisième âge).

Fonctionnement

Aspects négatifs

- Les zones humides sont des espaces très favorables à la biodiversité, non seulement pour les plantes, les oiseaux ou les poissons mais également pour des espèces présentant des inconvénients au confort et à la santé humaine comme **les moustiques**. En effet ces milieux sont très favorables au développement de populations de moustiques (développement des larves en milieu aquatique). En plus du désagrément évident de la présence massive de moustiques, ces derniers peuvent être les **vecteurs de maladies** ayant eu dans l'histoire des conséquences dramatiques (épidémies de paludisme).

- Depuis l'Antiquité les marais, mares et marécages ont une très mauvaise réputation et ont souvent été **associés au mal**. Cela est dû à la **dangerosité des marais** : présence d'eau stagnante et de sols instables. La présence de feux follets à certaines occasions a en outre été à l'origine d'une mythologie autour de la mort, de la sorcellerie, donnant une très mauvaise image des lieux. Jusqu'à la fin du 19^{ème} siècle les épidémies de maladies liées à la présence d'eau stagnante (malaria...) étaient attribuées à l'air « putride et nauséabond » des marais eux-même. La méconnaissance de la nature de la maladie et de sa transmission ne doit pas occulter le fait que les régions de zones humides ont été victimes d'épidémies (jusqu'au milieu du 20^{ème} siècle en Corse). Toutes ces régions partageaient la triste réputation de pays retardés et insalubres. Ce problème de salubrité a pendant longtemps été la cause de l'assèchement et la disparition volontaire des zones humides. Cependant au 19^{ème} siècle il existait, notamment dans le monde rural, des personnes qui insistaient sur l'importance des zones humides et des inondations pour l'agriculture (production de fourrage, fertilisation des prairies cultivables...). Cet enjeu mettra en avant une opposition entre les citadins et les agriculteurs. La peur de l'eau stagnante et le souci de la santé collective désignent le marais comme la source de tous les maux. L'argument de salubrité publique pèsera donc lourd dans la destruction des marais et des arguments d'ordre agro-économique seront également avancés pour se débarrasser des terres humides considérées comme improductives (fréquente inaccessibilité, contraintes d'utilisation dues à la submersion pouvant durer les ¾ de l'année, peu d'appétence de certaines plantes comme le carex, le roseau, le jonc...).

- La méconnaissance passée des causes et des vecteurs des maladies responsables de grandes épidémies ont été à l'origine du mouvement hygiéniste dès l'Ancien Régime. Ce mouvement a rapidement considéré les zones humides comme la source des miasmes qui ont causé ces

maladies. Sous leur impulsion, les zones humides ont donc subi des drainages, des comblements, des endiguements et tous les aménagements capables de faire disparaître ces lieux « nauséabonds », pour protéger l'intégrité sanitaire du corps humain.

Enjeux

État des connaissances

Type de zone humide

- ❖ Type 2 : Baies et estuaires moyens-plats
Vasières (-)
- ❖ Type 3 : Marais et lagunes côtiers (*/-)
- ❖ Type 4 : Marais saumâtres aménagés (*/-)
- ❖ Type 5 : Ripisylves (*)
Vasières (-)
- ❖ Type 6 : Prairies humides
Forêts alluviales (*)
Bras morts et secondaires
Marais alluviaux (*/-)
Grèves et bancs d'alluvions
Berges végétalisées
Berges nues
- ❖ Type 7 : Marais (*/-)
Prairies humides
Tourbières (*/-)
Milieux fontinaux
Petites zones humides de fond de vallée
- ❖ Type 8 : Étangs (*/-)
- ❖ Type 9 : Bordures de plans d'eau
- ❖ Type 10 : Marais (*/-)
Prairies humides
- ❖ Type 11 : Mares et étangs isolés (*/-)
- ❖ Type 12 : Marais aménagés dans un but agricole (*/-)
- ❖ Type 13 : Carrières réaménagées
Carrières en exploitation (-)

Exemples

Indicateurs

- *Etudes épidémiologiques* à plus large échelle

Menaces

Besoins de gestion

Bibliographie

(2)

(7)

(19)

(43)

3. Fonctions sociales

3.11. Recherche scientifique

Définition

Fonctionnement

Aspects négatifs

Enjeux

État des connaissances

Type de zone humide

Exemples

Indicateurs

- *Nombre d'articles scientifiques publiés*

Menaces

Besoins de gestion

Bibliographie

(7) (47)

4. Milieu naturel support d'activités

4. Milieu naturel support d'activité

4.1. Production énergétique

Définition

Fonctionnement

Aspects négatifs

Enjeux

État des connaissances

Type de zone humide

Exemples

Indicateurs

Menaces

Besoins de gestion

Bibliographie

(46)

4. Milieu naturel support d'activité

4.2. Transport d'énergie

Définition

Fonctionnement

Aspects négatifs

Enjeux

État des connaissances

Type de zone humide

Exemples

Indicateurs

Menaces

Besoins de gestion

Bibliographie

4. Milieu naturel support d'activité

4.3. Voie de communication

Définition

Fonctionnement

Aspects négatifs

Enjeux

État des connaissances

Type de zone humide

- ❖ Type 1 : Baies et estuaires moyens-plats (*)
- ❖ Type 3 : Marais et lagunes côtiers (*)
- ❖ Type 6 : Bras morts et secondaires
- ❖ Type 9 : Bordures de plans d'eau
- ❖ Type 13 : Carrières réaménagées

Exemples

Indicateurs

Menaces

Besoins de gestion

Bibliographie

(29)

4. Milieu naturel support d'activité

4.4. Télécommunications

Définition

Fonctionnement

Aspects négatifs

Enjeux

État des connaissances

Type de zone humide

Exemples

Indicateurs

Menaces

Besoins de gestion

Bibliographie



Bibliographie

- (1) **Institut d'Ecologie Appliquée**, *Avis d'expert sur les fonctions et la qualité des zones humides*, Agence de l'Eau Loire Bretagne, mars 1997.
- (2) **Fustec, Lefeuvre et coll.**, *Fonctions et valeurs des zones humides*, Dunod, 2000.
- (3) **Société d'Ingénierie pour l'Eau et l'Environnement**, *Etude des fonctionnalités des milieux aquatiques, document de synthèse*, Agence de l'Eau Adour – Garonne, août 1996.
- (4) **FRAPNA Haute-Savoie et ASTERS**, *Inventaire des zones humides de Haute-Savoie utilisées pour gérer les eaux pluviales*, septembre 2004.
- (5) **Agences de l'Eau**, *Agir pour les zones humides : les zones humides et la ressource en eau, guide technique*, février 2000.
- (6) **Skinner et Zalewski**, *Fonctions et valeurs des zones humides méditerranéennes*, MedWet / Tour du Valat – n°2, 1995.
- (7) **Fedenatur**, *La place des espaces naturels périurbains pour une ville durable*, Commission Européenne, DG Environnement, janvier 2004.
- (8) **Piégay, Pautou et Ruffinoni**, *Les forêts riveraines des cours d'eau : écologie, fonctions et gestion*, Institut pour le Développement Forestier, 2003.
- (9) **Michelot, Simon et Gaden**, *Etude de mise en valeur des zones humides, rapport final*, Contrat de Rivières du sud-ouest lémanique, janvier 2005.
- (10) **Michelot, Gaden, Simon et Ecosphère**, *Inventaire préliminaire des zones humides et aquatiques du département du Rhône – Présentation des types de zones humides*, Conseil Général du Rhône, juillet 2005.
- (11) **Barnaud, Le Bloch et Lombardi**, *Dossier d'information : Entre terre et eau, agir pour les zones humides*, Ministère de l'Environnement, décembre 1996.
- (12) **Laurans, Cattan et Dubien**, *Les services rendus par les zones humides à la gestion des eaux : évaluations économiques pour le bassin Seine-Normandie*, Agence de l'Eau Seine-Normandie, 1996.
- (13) **Ecosphère et Laboratoire de Géologie Appliquée, Université Pierre & Marie Curie**, *Etude des zones humides du littoral normand*, Agence de l'Eau Seine-Normandie, avril 2000.
- (14) **Commission Technique Zones Humides du bassin Rhône-Méditerranée-Corse**, *Agir pour les zones humides en RMC : Fonctionnement des zones humides – Première synthèse des indicateurs pertinents*, Bassin Rhône-Méditerranée-Corse, guide technique SDAGE n°5, mai 2001.
- (15) **Commission Technique Zones Humides du bassin Rhône-Méditerranée-Corse**, *Agir pour les zones humides : boîte à outils inventaires – fascicule I : du tronc commun à la cartographie*, guide technique SDAGE n°6, novembre 2001.
- (16) **Michelot**, *Les zones humides et l'eau*, Cahier thématique du PNRZH, août 2004.
- (17) **Michelot**, *Caractérisation des zones humides*, Cahier thématique du PNRZH, mai 2005.
- (18) **Michelot**, *Gestion des zones humides*, Cahier thématique du PNRZH, janvier 2006.
- (19) **Comité interministériel de l'évaluation des politiques publiques, Premier Ministre – Commissariat général du Plan**, *Les zones humides – rapport d'évaluation*, la Documentation Française, septembre 1994.
- (20) **Dasnias**, *Aménagement écologique des carrières en eau – Guide pratique*, Muséum National d'Histoire Naturelle, septembre 2002.

- (21) **Ecosphère**, *Carrières et zones humides : le patrimoine écologique des zones humides issues de l'exploitation des carrières – Présentation résumée des 17 expertises écologiques*, MNHN, CNRS, Comité National de la Charte de l'Union Nationale des Producteurs de Granulats.
- (22) **Ecosphère**, *Carrières et zones humides : le patrimoine écologique des zones humides issues de l'exploitation des carrières – Analyse et synthèse des données biologiques (rapport)*, MNHN, CNRS, Comité National de la Charte de l'Union Nationale des Producteurs de Granulats.
- (23) **Ecosphère**, *Carrières et zones humides : le patrimoine écologique des zones humides issues de l'exploitation des carrières – Analyse et synthèse des données biologiques (les groupements végétaux)*, MNHN, CNRS, Comité National de la Charte de l'Union Nationale des Producteurs de Granulats.
- (24) **Ecosphère**, *Carrières et zones humides : le patrimoine écologique des zones humides issues de l'exploitation des carrières – Revue bibliographique internationale (volume I)*, MNHN, CNRS, Comité National de la Charte de l'Union Nationale des Producteurs de Granulats.
- (25) **Ecosphère**, *Carrières et zones humides : le patrimoine écologique des zones humides issues de l'exploitation des carrières – Revue bibliographique internationale (volume II)*, MNHN, CNRS, Comité National de la Charte de l'Union Nationale des Producteurs de Granulats.
- (26) **Ecosphère, Michelot, Gaden et Simon**, *Inventaire et expertise écologique des prairies humides des têtes de bassin de l'Azergues, du Soanan et de leurs affluents*, Contrat de rivière Azergues, avril 2006.
- (27) **Cizel**, *L'utilisation des zones humides par le cinéma*, in Zones Humides Infos, SNPN, n°42, 4^{ème} trimestre 2003.
- (28) **Merot**, *Typologie fonctionnelle des zones humides de fonds de vallée en vue de la régulation de la pollution diffuse : rapport de synthèse final*, PNRZH, septembre 2000.
- (29) **Riddiford, Grillas, Finlayson, Hecker, Rufino et Goldsmith**, *Suivi des zones humides méditerranéennes – Guide méthodologique*, MedWet, Pere Tomàs Vives, 1996.
- (30) **Francez**, *La dynamique du carbone dans les tourbières à Sphagnum, de la sphaigne à l'effet de serre*, Année Biol. 39 (2000) 205-270.
- (31) **Rambault**, *Délimitation des zones humides dans le val Gelon et le val Coisin par méthode tarière (Combe de Savoie), rapport de stage de fin de Maîtrise IUP Montagne*, CisM, CPNS, 2005.
- (32) **Acherar**, *Les zones humides du sud-est de la France, manuel pratique d'identification et de délimitation – volume 1 : Définitions, typologies et critères de caractérisation*, CEN Languedoc-Roussillon.
- (33) **IPSEAU**, *Gestion des vallées alluviales et inondations – Synthèse méthodologique*, Groupe d'Etude Inter-Agences, Agence de l'Eau Adour-Garonne, octobre 1996.
- (34) **IPSEAU**, *Gestion des vallées alluviales et inondations – Etude bibliographique*, Groupe d'Etude Inter-Agences, Agence de l'Eau Adour-Garonne, octobre 1996.
- (35) **GRAIE**, *Enquête auprès des propriétaires de parcelles boisées riveraines de cours d'eau – Rapport de synthèse*, Agence de l'Eau RMC, 1993.
- (36) **Joyeux**, *Typologie des zones humides riveraines du bassin de la Seine et fonctions relatives à la qualité et au régime des eaux*, Agence de l'Eau Seine-Normandie, septembre 2005.
- (37) **Real**, *Etude de l'efficacité de dispositifs enherbés*, ITCF, Agence de l'Eau Loire-Bretagne, juillet 1997.

- (38) **CNRS – Programme Interdisciplinaire de Recherches « Environnement »**, *Fonctionnement des systèmes et activités humaines : les nitrates dans les vallées fluviales*, Ministère de l'Environnement, ????.
- (39) **PNRZH**, *Les actes du colloque de restitution de Toulouse*, Plan d'Action Gouvernemental pour les zones Humides, MATE, Agences de l'Eau, BRGM, octobre 2001.
- (40) **IFARE-DFIU**, *La recherche pour comprendre et agir : acquis scientifiques et résultats de travaux de recherche dans le domaine de l'environnement*, IFARE-DFIU, 2001.
- (41) **Amoros, Petts et al.**, *Hydrosystèmes fluviaux*, Collection d'écologie 24, Masson, 1993.
- (42) **Forum des Marais Atlantiques**, *Les marais salés atlantiques : mieux connaître pour mieux gérer*, Cahier technique – Forum des Marais Atlantiques, juillet 2004.
- (43) **Donadiou et al.**, *Paysages de marais*, Jean-Pierre de Monza, octobre 1996.
- (44) **CREN**, *Plateau de Montagny : Synthèse des connaissances et bilan intermédiaire des actions mises en œuvre*, Conseil Général du Rhône, février 2002.
- (45) **Michelot**, *Plan de gestion et d'aménagement de l'espace naturel sensible de l'étang de Montjoux – Rapport diagnostique*, Conseil Général de l'Isère, octobre 2003.
- (46) **Michelot**, *Plan de gestion et d'aménagement de l'espace naturel sensible de l'étang de Montjoux – Proposition d'objectifs*, Conseil Général de l'Isère, octobre 2003.
- (47) **Duncan**, *Plan de gestion de la Tour du Valat – Petit Badon, Camargue, France, vol. II*, Station Biologique de le Tour du Valat, septembre 1986.
- (48) **Laplace-Dolonde et al.**, *Tourbières de France : Fonctionnement hydrologique et diversité typologique, approches écologiques et socio-économiques, application pour une stratégie de conservation et de gestion – vol. 1, rapport final*, PNRZH, juillet 2001.
- (49) **Anonyme**, *Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC) – Wetlands Horizontal Guidance : Horizontal Guidance Document on the Role of Wetlands in the Water Framework Directive*, Communauté Européenne, décembre 2003.
- (50) **Michelot, Gaden, Simon et Ecosphère**, *Inventaire préliminaire des zones humides et aquatiques du département du Rhône – Rapport principal*, Conseil Général du Rhône, juillet 2005.
- (51) **CEN-LR**, *Inventaire détaillé des zones humides périphériques des étangs palavasiens – Rapport d'activités intermédiaire*, SIEL, décembre 2005.
- (52) **Mosaïque Environnement**, *Inventaire des zones humides du Pays de Gex – Rapport principal*, Communauté de Communes du Pays de Gex, décembre 2005.
- (53) **Cellule d'Application en écologie**, *Inventaire des zones humides de Bourgogne – volume 2 : notice descriptive de la carte 1/100.000^{ème} des zones humides de Bourgogne*, Agences de l'Eau SN, LB et RMS, DIREN Bourgogne, avril 2002.
- (54) **Syndicat Mixte pour l'Aménagement et la Préservation du Bassin versant de la Mayral**, *Étude pour la définition d'un plan de gestion pour le marais de Livièrè – Résumé du rapport final*, Life EDEN, juin 2004.
- (55) **CREN**, *Plan de gestion 2002-2006*, Agences de l'Eau RMC, Région Rhône-Alpes, novembre 2002.
- (56) **Kao**, *Fonctionnement hydraulique des nappes superficielles de fonds de vallées en interaction avec le réseau hydrographique – Thèse de doctorat ENGREF, ENCREF, Cemagref*, janvier 2002.
- (57) **Commission Technique Zones Humides du bassin Rhône-Méditerranée-Corse**, *Agir pour les zones humides en RMC : Politique d'inventaires – objectifs et*

méthodologie, Bassin Rhône-Méditerranée-Corse, note technique SDAGE n°5, octobre 2000.

- (58) **Clément**, *Guide d'orientation méthodologique pour l'inventaire des zones humides sur le bassin de la Vilaine*, CLE SAGE Vilaine, ????
- (59) **Groupe MARES Nord-Pas de Calais**, *Les mares : des infrastructures naturelles et utiles*, ????
- (60) **IEDD**, *Mares 03 – Le journal d'information du Pôle-Relais Mares & Mouillères de France*, Pôle-Relais Mares & Mouillères, décembre 2005.