Zones humides

Crédits photos CA 56

Les zones humides bretonnes insérées dans le paysage agricole : une partie des zones humides inventoriées en France

A- Définition des zones humides

Contrairement aux haies qui sont des structures linéaires bordant les champs, les zones humides représentent des **surfaces**. Plus ou moins étendues, ce sont des écosystèmes complexes, en partie transformés par les activités humaines et souvent à l'interface entre les milieux aquatiques et terrestres.

Les définitions des zones humides qu'elles soient scientifiques ou juridiques sont multiples et regroupent des milieux très différents (salés ou non, artificiels ou naturels), avec une constante qui les réunit tous : ce sont des milieux dont la dynamique est conditionnée par la présence temporaire ou permanente d'eau en surface.

Les zones humides ont récemment connu un regain d'intérêt avec la prise de conscience de leur utilité tant comme réserves de biodiversité que par leur rôle de milieu épurateur. Elle s'est traduite par la volonté d'inventorier les zones humides et de mettre en place des actions visant leur conservation ou réhabilitation.

La définition adoptée par la loi sur l'eau (1992) prend en compte cette vaste gamme de situations : « *On entend par zone humide les terrains exploités ou non, habituellement* ***inondés ou gorgés d'eau*** *douce, salée ou saumâtre de façon* ***permanente ou temporaire*** *; la* ***végétation****, quand elle existe, y est dominée par des plantes hygrophiles pendant au moins une partie de l'année.* »

Plusieurs typologies ont été proposées pour prendre en compte cette diversité[1]. Notre objectif ici n'est pas de les détailler car seule une partie de ces typologies s'applique aux zones humides rencontrées en Bretagne.

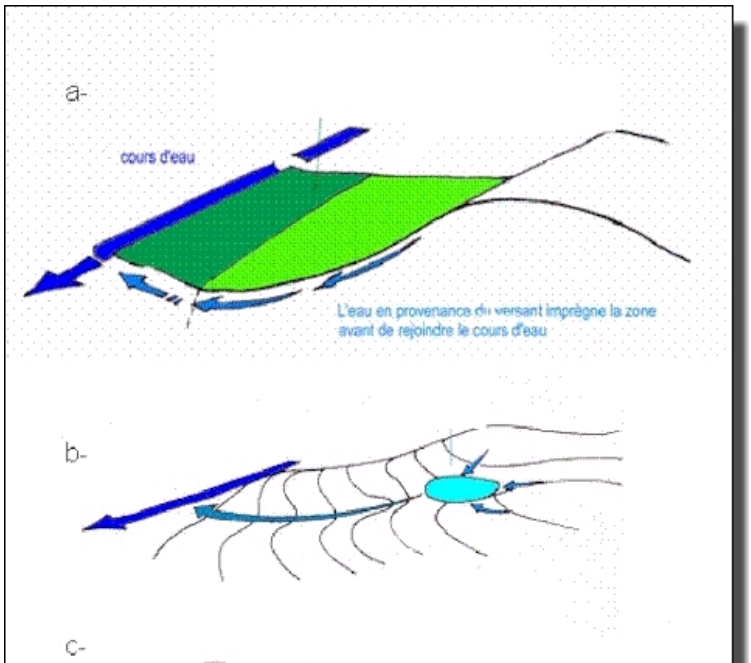
B- La spécificité des petites zones humides bretonnes : faire partie des surfaces agricoles

La spécificité des zones humides bretonnes, si on en exclut mares, marais et étangs, est d'être intégrée dans les exploitations agricoles. Elles sont souvent oubliées des inventaires nationaux du fait de leur petite taille et de leur disposition en patchwork dans le paysage alors qu'elles représentent jusqu'à 15 % de la surface d'un bassin versant.

Ces milieux se situent dans des parties basses sur des parcelles qui sont à certains moments de l'année impraticables par l'agriculteur car engorgées en eau. Ils sont souvent considérés par les agriculteurs comme une charge d'entretien sans contrepartie de revenus. Une partie a donc été drainée pour contourner cet inconvénient[2].

C- Localisation des zones humides et occupation du sol

1- Les trois types de zones humides et leur localisation dans un bassin versant



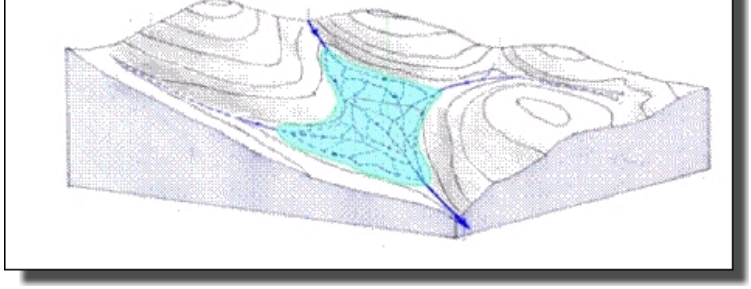


Figure 1 : Les différents types de zones humides selon leur localisation dans le bassin versant et la proximité du cours d'eau. a- zone humide longitudinale le long du cours d'eau, b- zone humide de résurgence, c- zone humide amont avant la formation du cours d'eau. (W. Messier-Poche, ADASEA 22).

On distingue trois types de zones humides selon leur localisation dans le bassin versant, (figure 1) :
- celles situées le long des cours d'eau (ce sont les plus connues, figure 1a),
- celles localisées dans le versant et qui sont liées à des phénomènes de résurgence de nappe (elles sont alors éloignées du ruisseau et proche de la nappe, figure 1b),
- et enfin, celles situées en amont des cours d'eau et qui constituent une zone source préalable à la formation du cours d'eau. Elles correspondent à des zones plates (donc sans moteur d'écoulement) et/ou à des zones où le sol est peu perméable (figure 1c) et sont souvent localisées sur un plateau.

La proximité du cours d'eau n'est donc pas un critère discriminant pour localiser toutes les zones humides.

2- La place de la zone humide dans l'exploitation

La présence de zones humides dans un parcellaire représente une contrainte pour le fonctionnement de l'exploitation agricole puisque l'excès d'eau, limite la mécanisation peut décaler la succession des opérations culturales et donc réduit la production.

Cette contrainte pèse différemment selon :
- la durée d'inondation (parcelle non accessible pendant une durée plus ou moins longue),
- la portion de parcelle occupée par la zone humide (la totalité, 50 %, un tiers de la parcelle est humide)
- le nombre de parcelles de l'exploitation situées en zone humide,
- leur distance au siège d'exploitation (qui conditionne le fonctionnement global de l'exploitation),
- la répartition des types de production sur le territoire (qui permet ou non l'utilisation de ces zones par une partie des agriculteurs),
- la sensibilité de l'agriculteur-exploitant.

3- Quatre occupations du sol possibles

Figure 2 : une zone humide non cultivée (prairie), un détail de zone humide cultivée où la céréale n'a pas poussée, une zone humide drainée et cultivée et le type de critères de description présents (photos P.E. Sarriquet, P. Merot).

Selon l'usage passé et présent d'une parcelle, on peut ainsi, définir quatre types de zones humides en termes d'occupation du sol (figure 2):
1- les parcelles humides non cultivées :
- valorisées par pâture et/ou fauche (cas des producteurs laitiers),
- laissées à l'abandon, en déprise,
- faisant l'objet d'un plan de gestion spécifique du fait de l'intérêt patrimonial de leur végétation (ZNIEFF, Natura 2000).
2- les parcelles humides cultivées (bien que le rendement soit aléatoire selon les années),
3- les parcelles humides plantées favorisant l'assèchement et permettant la production de bois (peupleraies, Epicéas de Sitka …),
4- les parcelles humides qui ont été drainées et sont cultivées. Ces dernières peuvent être considérées comme des zones humides *potentielles* puisque le sol n'est plus saturé en eau. Elles sont plus difficiles à identifier (pas d'eau affleurant en hiver) alors que la proximité de la nappe les rend particulièrement sensibles à la pollution.

Avec l'évolution récente des systèmes de production (spécialisation des ateliers, entrée du maïs dans la ration alimentaire, agrandissement des exploitations et/ou volonté de diminuer la charge totale de travail), il semble que les proportions de zones humides délaissées augmentent fortement. Les agriculteurs passent de moins en moins de temps sur ces terrains peu rentables et il se pose la question de leur entretien.

D- Conditions de présence et d'identification d'une zone humide

La présence d'eau dans la zone humide est un paramètre fluctuant au cours du temps et qui ne peut donc pas être retenu comme seul critère de diagnostic. C'est donc le croisement de plusieurs indicateurs qui permet d'attester ou non la présence d'une zone humide. Ce sont :
- la saturation en eau (variable),
- une végétation spécifique,
- l'hydromorphie du sol,

1- La saturation en eau

La saturation en eau du sol est un paramètre nécessaire mais insuffisant du fait de son caractère fluctuant. C'est en revanche, un élément que peut fournir l'agriculteur pour établir une première localisation des zones humides sur une exploitation agricole ou confirmer un diagnostic.

2- L'hydromorphie du sol et sa coloration spécifique résultante

L'hydromorphie se développe dans les sols engorgés en eau. C'est un critère de description majeur car il est pérenne et facile à déterminer. Le sol d'une zone humide asséchée présentera en effet des caractères d'hydromorphie.

Selon que la saturation est temporaire ou permanente, et selon la profondeur limite d'apparition de l'engorgement en eau, on distingue :
- les sols rédoxiques ou **redoxisols** (anciennement pseudogleys, sols temporairement réduits),
- les sols réductiques ou **réductisols** (anciennement gley, sols réduits de façon permanente),
- les sols tourbeux ou **histosols** avec développement d'horizons organiques peu décomposés.

La dynamique du fer marque les deux premiers et leur donne des signes distinctifs particuliers. Lorsque la saturation est permanente, l'oxygène disparaît et le sol prend une couleur gris bleue qui change rapidement lorsqu'il est exposé à l'air. Si la saturation est temporaire, l'alternance de conditions oxygénées et d'anoxie entraîne la formation de taches rouilles caractéristiques.

La tourbe se forme sous certaines conditions :
- saturation permanente du sol jusqu'aux horizons très superficiels riches en matière organique,
- températures basses limitant l'activité microbienne,
- acidité.

3- Une végétation spécifique

Une végétation spécifique se développe si la zone humide n'est pas cultivée. Elle varie selon :
- la durée de la saturation en eau des horizons superficiels de sols (et la disponibilité résultante en oxygène du milieu),
- la richesse en nutriments du milieu (trophie).

De plus le mode d'entretien influence ces deux paramètres :
- le type de gestion modifie la trophie du milieu (la fauche exporte de l'azote, le pâturage en restitue … etc),
- les dates et la fréquence d'entretien favorisent certaines espèces par la propagation ou non des graines,
- le manque d'entretien entraîne une colonisation végétale spécifique, notamment le développement de ligneux qui modifient profondément les caractéristiques de la zone : impact visuel par enfrichement du paysage, évolution du matériel de gestion utilisé, difficulté de pénétration et donc d'entretien …

4- Qualification d'une zone humide

Type de zone humide	Végétation spécifique	Hydromorphie du sol	Position dans le paysage
Non cultivée	+++	+++	+++
Plantée d'arbres	+++ (?)	+++	+++
Cultivée	+	+++	+++
Drainée et cultivée	-	+++	+++

Tableau 1 : Critères à retenir pour qualifier une zone humide selon le type considéré.

Pour qualifier la zone humide, seuls certains critères sont à retenir selon le type considéré (Tableau 1).
Les zones humides non cultivées ou plantées seront décrites par :
- une végétation spécifique hygrophile et /ou hydrophile,
- l'hydromorphie du sol,

Les zones humides cultivées seront en partie décrites par la végétation (présence d'annuelles hydrophiles) et caractérisées par l'hydromorphie du sol.
Les zones humides cultivées et drainées seront principalement décrites par l'hydromorphie présente dans le sol et dans quelques cas, par la présence résiduelle d'espèces spécifiques.

E- Dynamique de l'eau dans les zones humides

1- Fonctionnement d'une zone humide de bas fond

Les zones humides sont des étendues planes ou qui se situent dans des dépressions topographiques. Vers où convergent et stagnent des flux d'eau de différentes origines. Ce sont des milieux saturés en eau, généralement du mois de décembre au mois de mars, du fait de la présence d'une nappe à faible profondeur alimentée par les eaux de versant l'hiver. Le reste de l'année, le niveau de cette nappe est variable, restant proche de la surface ou descendant à quelques mètres de profondeur selon les dynamiques locales.

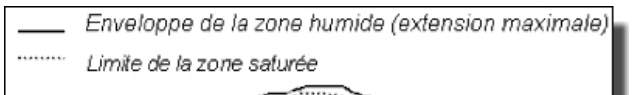
La dynamique de l'eau a été particulièrement étudiée dans les zones humides de bas fond. Les flux qui alimentent ces zones à proximité des cours d'eau (revoir **type 1a**, figure 1) proviennent des principaux réservoirs suivants :
1- la nappe superficielle du versant, qui se forme lors des précipitations hivernales,
2- la nappe profonde,
3- et l'eau du cours d'eau en période de crue.
Du fait de la saturation en eau, la zone humide peut être un lieu de ruissellement.

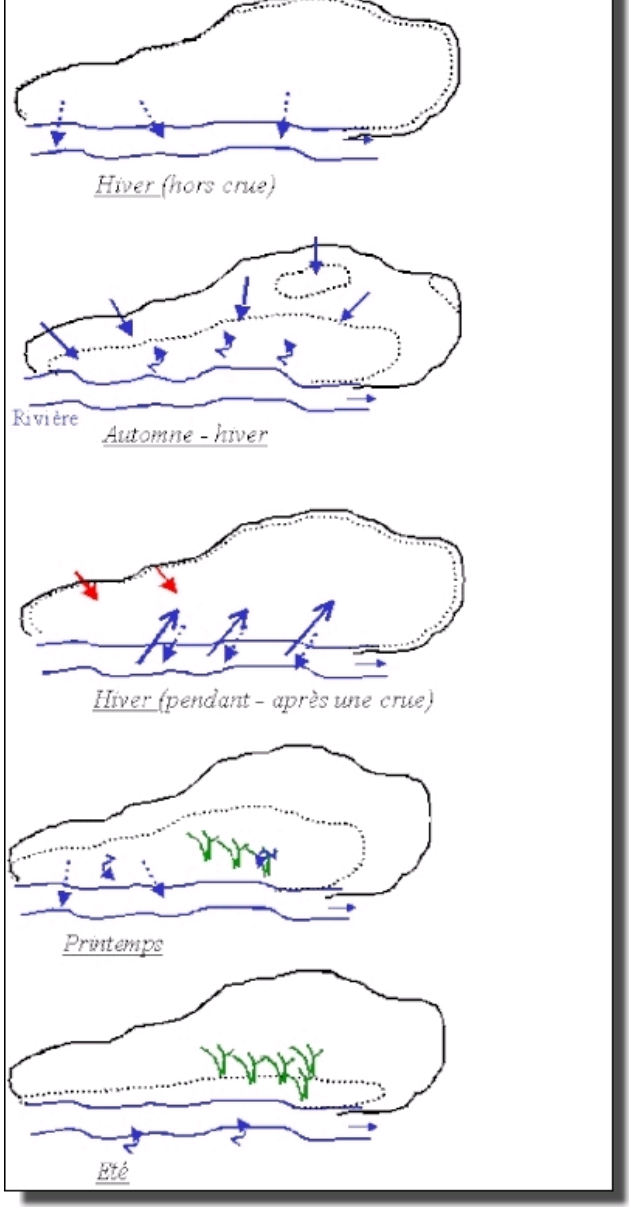
Au cours du temps, ces différents réservoirs contribuent à l'extension spatiale de la zone humide (figure 3).

Pendant l'automne (qui correspond au début de période des pluies), la zone humide stocke de l'eau venant du versant et s'étend. Elle est constituée d'un patchwork de petites zones plus ou moins connectées en surface.

Puis en hiver quand sa capacité de stockage est atteinte et que le sol est gorgé d'eau en surface, elle déborde. La zone humide transfère alors l'eau excédentaire vers le ruisseau et est aussi parfois alimentée temporairement par l'eau des crues.

Au printemps, la nappe baisse (fin de période des pluies, reprise de la végétation) et la zone saturée se contracte. Son extension spatiale en surface est minimale en été.





2- En hiver, quand la capacité de stockage est atteinte :

transfert ---->

3 - Eau des crues : sur une période brève stockage longitudinal, puis déstockage

Possibilités d'épisodes de ruissellement

4 - Fin de période des pluies : reprise de la végétation - baisse de la nappe

5 - Eté : seule la nappe profonde alimente le ruisseau et la zone humide

Figure 3 : Evolution de la saturation en eau à la surface du sol de la zone humide en fonction des saisons (et du cumul de pluies associé).

Le fonctionnement des autres types de zones humides (**types 1b et 1c, figure 1**) est moins connu, la nappe jouant vraisemblablement un rôle prépondérant dans leur dynamique.

La partie saturée de ces 3 types de zones humides est donc localisée à une profondeur plus ou moins importante selon la saison (dès la surface ou à quelques dizaines de centimètres de profondeur). La zone humide est parfois sèche en surface ce qui pousse les agriculteurs à la mettre en culture. C'est notamment le cas des zones humides de résurgence situées dans des parcelles agricoles dans le versant (« mouillères »). Ces zones différentes de par leur localisation des zones humides de bas fond sont mal localisées dans les bassins versants.

2- Hétérogénéités dans la zone humide

Le premier type d'hétérogénéité de la zone humide a été évoqué et est **temporel** : l'extension de la zone saturée varie selon la saison (figure 3).

La deuxième hétérogénéité est **spatiale**. Au sein même de la zone saturée, coexiste des micro-zones aux caractéristiques sensiblement différentes du fait :
- des micro-variations de la topographie au sein de la zone humide (zones de creux et de relief, zones de pente),
- de la continuité ou non de la présence en eau (existence de zones toujours inondées, saturées temporairement, chenaux d'écoulements privilégiés).

Du fait de cette hétérogénéité, il faudra souvent subdiviser la zone humide en petites sous-unités notamment pour leur attribuer des fonctions. A titre d'exemple, dans les zones où la dénitrification peut se produire, un îlot surélevé sera plus facilement exondé et ne pourra alors pas dénitrifier (nécessité d'une saturation durable pour que ce phénomène se produise).

3- Types de facteurs influençant l'alimentation de la zone humide

L'alimentation en eau de la zone humide est soumise à trois grands types de facteurs :
Les facteurs liés à la géomorphologie du bassin versant et à son occupation :
- la nature de la roche mère qui rend le substrat plus ou moins poreux et perméable, et influence la vitesse de circulation de l'eau dans la nappe,
- la présence ou l'absence de voies de circulation préférentielle que peut prendre l'eau tant en profondeur qu'en surface (degré d'embocagement, présence de courts-circuits tels que les fossés …)
Les facteurs climatiques : selon les années, la fréquence et l'intensité des précipitations seront différemment réparties dans le temps et le cumul de pluies notamment pendant l'hiver sera plus ou moins important.

C'est le croisement de ces facteurs qui engendrera la recharge de la nappe et par conséquent l'extension de la zone humide une année donnée.

Dans le cas des bordures de cours d'eau, l'extension de la zone d'affleurement de nappe est limitée par la présence d'un talus ou une rupture de pente.

F- Délimitation conceptuelle des zones humides

Pour associer une surface, un mode d'entretien, une subvention à une zone humide, il est nécessaire de la délimiter. L'eau y étant présente de façon fluctuante, cette délimitation est malaisée. Une typologie a donc été proposée (figure 4).

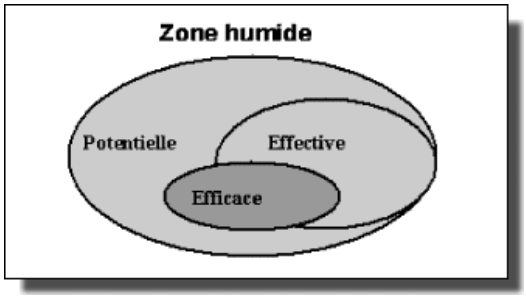


Figure 4 : Définition des 3 contours d'une zone humide.

Selon l'objectif recherché et l'échelle d'approche (inventaire sur une exploitation agricole, sur un bassin versant), les zones humides sont classées comme potentielles, effectives et efficaces (figure 4).

Ces niveaux d'identification des zones humides permettent de rendent compte de la diversité des situations de terrain et peuvent être utilisés comme un outil de dialogue entre agriculteurs, collectivités locales, syndicat de bassin ou écologistes pour :
- prendre conscience de l'étendue des zones humides sur un territoire,
- permettre de définir des objectifs de conservation, voir de réhabilitation ou d'aménagement concertés.

1- Les zones humides potentielles

A défaut d'une mesure réelle, les zones où la probabilité d'identifier une zone humide est forte sont appelées zones humides potentielles. Ce sont donc :
- des zones qui ont été assainies ou comblées et où ne subsistent que des critères permanents d'identification tels que les traces d'hydromorphie,
- des zones identifiées par la cartographie des sols hydromorphes,
- des zones établies à partir de modèles prédictifs topographiques (ces modèles permettent de localiser théoriquement les zones humides en croisant pluviométrie, pente du versant et aire drainée). Les zones humides de résurgence et de plateau sont ignorées de part le mode de calcul, l'hétérogénéité des substrats étant impossible à prendre en compte.

En d'autres termes, les zones humides potentielles ainsi obtenues définissent une **enveloppe** grossière et approximative de présence des zones humides.

2- Les zones humides effectives

Les zones humides effectives sont les zones qui sont humides encore aujourd'hui et où la nappe affleure à la surface en hiver. Elles correspondent à la totalité des zones humides potentielles (cas des milieux naturels) ou à une partie (cas de zones humides ayant subit des aménagements tels que drainage, comblement).

La télédétection a permis de les identifier sur quelques bassins versants bretons mais des phases de calibration sont encore nécessaires pour que cette méthode soit généralisable. Le plus souvent, elles sont décrites par des inventaires de terrain.

3- Les zones humides efficaces

L'efficacité d'une zone humide est reliée à une fonction (paysagère, épuratoire, refuge de biodiversité…) ou à un objectif à atteindre par rapport à une fonction. Elle concerne généralement une sous-unité de la zone humide potentielle ou effective.

4 - Deux échelles d'approche pour établir un diagnostic sur une zone humide

Pour définir les zones humides (type de zones, étendue, longueur du pourtour, lien avec les autres parcelles) et proposer des actions, plusieurs échelles de caractérisation sont nécessaires.

• A l'échelle locale :
- la description en tant que telle de la zone humide : composition végétale, mode de gestion, détection de la saturation ou de l'hydromorphie du sol, présence de sous-unités au sein de la zone,
- la description de la zone humide dans son environnement immédiat : limite de la présence d'eau, limites de la parcelle (présence d'un talus, empiètement de la culture sur la zone humide), description des parcelles adjacentes (cultures, pente …), système de production associé, limites de propriété.

• A l'échelle du bassin versant
- Délimitation des zones humides sur l'ensemble du bassin versant,
- Description de leur place et de leurs fonctions dans le bassin versant : prise en compte du contexte physique et agricole, de la surface de bassin versant qui l'alimente, de sa connexion avec l'amont puis avec le ruisseau, des structures qui peuvent la court-circuiter.

[1] Typologies de CORINE Biotope, Ramsar, SDAGE … ou des typologies fonctionnelles locales (typologie des zones humides en Bretagne, recherche de bioindicateurs. B. Clément, 1986).

[2] Environ 115 000 ha sont drainés en Bretagne (chiffres Agreste 2000).

Critères descriptifs

A- Critères descriptifs de la zone humide

Rappelons que nous avons identifié 4 types de zone humide :
1- non cultivée (entretenue ou non),
2- cultivée,
3- plantée,
4- drainée et cultivée (zone humide potentielle).

1- Critères pérennes de description à l'échelle locale

Critères pérennes« zone humide »		Classes de distinction
Sol : hydromorphie et matière organique		
Hydromorphie	Détection	Dès la surface, autour de 30 cm, > 50 cm
	Présence et importance des taches rouilles d'oxydo-réduction	Saturation temporaire
	Présence de gley ou de tourbe	Saturation permanente
Matière organique	Epaisseur de la couche de matière organique	Inondation
Profondeur du sol		0-30 cm, 30-50 cm, > 50 cm
Délimitation de sous-unités dans la zone		
Présence de zones de dépression		Oui / non schéma ?
Présence d'îlots surélevés		Oui / non schéma ?
Présence de couloirs de circulation préférentielle		Oui / non schéma ?

2- Critères temporaires de description à l'échelle locale

Critères « zone humide »		Classes de distinction
Hydrodynamique		
Profondeur de la nappe en été		*Nappe visible ou non*
Durée des inondations hivernales		*< 4 mois, 4-6 mois, > 6 mois*
Composition végétale		
Dominante de végétation		Herbacée, ligneuse*, plantations
Liste des espèces		
Nombre d'espèces		
Abondance		
Type de milieu selon végétation		Oligotrophe, mésoptrophe, eutrophe
Gestion de la végétation		Oui / non
Si oui	Mode d'entretien	Fauche (avec ou sans exportation**), Fauche et pâturage
	Fertilisation	Pâture, minérale, nb d'UGB

**La présence ou l'entretien plus ou moins important de la strate arbustive et arborée définit le prélèvement d'eau mais aussi l'ensoleillement et la diversité floristique.*
*** souvent déterminable par la présence ou non de matière organique accumulée*

3- Critères descriptifs de la zone humide dans son environnement immédiat et par rapport au bassin versant

Critères « environnement immédiat »		Classes de distinction
Longueur d'interface versant-zone humide		*En mètres*
Proportion de la parcelle en zone humide		1/3, 1/2, 2/3 et plus,
Empiètement de la culture adjacente sur la zone humide		Oui/non
Limites de la parcelle		Rupture de pente, zone plate
Aménagements ceinturant la parcelle		Non (contact direct avec une culture) / oui (fossé aveugle, talus continu)
Court circuits		Fossé vers cours d'eau, talus discontinu
Présence d'un cours d'eau à proximité et connexion		
Cours d'eau		Oui / non
Si oui :	répertorié IGN ?	Oui / non
	Distance de la zone humide au cours d'eau	En mètres
	Type de contact en surface entre zone humide et cours d'eau	Bourrelet, berge dégradée
	Largeur du lit	< 2 m, > 2m*
	Nature du lit	Recalibré, avec méandres
	Type d'écoulement	Diffus, fort
	Pâturage sur la parcelle	
Si oui	Type de contact en surface entre zone humide et cours d'eau	Abreuvoirs par accès direct, piétinements,/ clôtures
	Surpâturage	Oui / non
Présence de drains		Oui / non

Si oui :	Ecartement approximatif	
	Type d'écoulement	Intermittent, continu
	Exutoire du drain	Fossé circulant, cours d'eau
	Culture/rotation sur la parcelle	Cultures / prairies
Description de la parcelle en amont		
Occupation du sol		Cultures / prairie, rotation si connue ..
Pente de la parcelle		0-2 % - 3-5 %- > 5 %
Autre pente locale		Oui / non
Longueur de la parcelle amont		< 50 m, de 50 à 150 m, > 150 m

** la largeur du lit est une approche locale de l'ordre du cours d'eau*

Critères « bassin versant »		Classes de distinction
Situation dans le versant		
Type de zone humide	/ topographie	De résurgence, le long d'un cours d'eau, en amont d'un cours d'eau
	/ Forme	Large / étroite, convergente/ divergente
Distance à la crête **		
% de bassin intercepté		0 - 20 % - 40 % ?
Type de versant		
Longueur		
Forme du versant		En V, en L, en U
Pente générale		0-2 % - 3-5 %- > 5 %

** la distance à la crête peut donner une idée de la surface d'alimentation de la zone*

B- Conditions de levée des critères : période, usagers, mémoire

Les zones humides peuvent être décrites différemment selon que les critères sont :
- temporaires, c'est à dire fonction du cumul de pluies depuis le début de l'année hydrologique (septembre),
- pérennes ou permanents, valables pour plusieurs années et globalement invariants d'un inventaire à l'autre,
- issus de la mémoire collective, et à collecter auprès de personnes âgées.

1- Période de levée des critères

Dans le cas des zones humides, les critères non pérennes sont au cours de l'hiver :
- la présence d'eau dont l'extension dans l'espace varie selon les années (pluvieuses ou sèches). La zone aura une extension maximum au cours des périodes pluvieuses, généralement vers janvier-février,
- la flore présente. L'analyse floristique effectuée entre le printemps et l'été permet de faciliter la reconnaissance des espèces par leur floraison.

2- Usagers concernés

Les usagers des zones humides situées en milieu agricoles sont multiples. Ce sont en premier lieu, les personnes qui les utilisent -c'est à dire principalement les exploitants agricoles- mais également les personnes jouissant du paysage (habitants, touristes), ou l'utilisant pour leur loisirs (chemins pédestres, circuits VTT, chasse, pêche …). Ces usagers ne poursuivent pas les mêmes objectifs.

3- Le rôle de la mémoire locale pour la levée des critères

Certaines zones humides ont une valeur patrimoniale forte (flore et faune). La mémoire collective et l'utilisation actuelle de ces zones peut aider à les localiser et à mettre en avant leur importance pour la collectivité.

4- Documents utiles pour la levée des critères (tableau 2)

• à l'échelle du bassin versant

Les Cartes IGN (série bleue, 1/25000ème) : elles permettent de se repérer dans l'espace et de mettre à disposition un support de notation des observations de terrain. Elles permettent de localiser une partie et une partie seulement du réseau hydrographique (et la potentialité de zones humides à leur proximité).

Les Plans cadastraux (1/2000ème) : ils fournissent principalement les limites et la taille de parcelles. Ils ne permettent pas d'identifier tout ou partie des zones humides.

Les Photographies aériennes : Elles permettent dans certains cas de distinguer le parcours des cours d'eau et de faire une localisation *a priori* des zones humides qui pourraient se situer à proximité du fait d'une occupation privilégiée en prairies. Elles ne sont pas toujours récentes. Elles donnent une idée générale de la densité bocagère de fond de vallée qui dans le passé ceinturaient les zones humides de bas fond.

Orthophotoplans : ce sont des photos aériennes numérisées et dont les déformations (liées à la prise photographique en altitude) ont été corrigées.

Cartes des sols (1/25000ème) **:** elles permettent de localiser les sols hydromorphes mais ces cartes ne sont pas toujours réalisées sur le territoire considéré.

Télédétection : une méthode basée sur la télédétection est actuellement en cours de mise au point pour délimiter les zones humides à l'échelle du bassin versant à l'aide de différents capteurs de l'humidité (bandes infra rouges, images CASI). Cette méthode a été testée sur le bassin versant du Rozambo, sous bassin versant du Yar (22) par le laboratoire de géographie COSTEL de l'Université de Rennes 2.

Modèles numériques de terrain (MNT) : Le modèle numérique de terrain est une représentation mathématique du relief par un fichier informatique contenant des altitudes. Pour une maille de 20 mètres (elle peut être inférieure ou supérieure), la distance entre 2 points du maillage ainsi créé est de l'ordre de 20 mètres dans les zones planes, plus faible en cas de dénivelé important.
Le MNT permet d'établir facilement des courbes de niveau, et de connaître l'altitude de chaque point du territoire avec une précision de l'ordre de 20-30 cm.

Les données dérivées du MNT sont :
- des cartes des pentes (angle que fait le plan moyen d'un versant avec le plan horizontal),
- des cartes des courbures qui permettent de représenter les formes de la surface (versants concaves ou convexes, vallées encaissées ou crêtes).
- des cartes des aires drainées cumulées. Celles-ci sont obtenues en simulant le trajet qu'emprunterait une goutte d'eau à la surface du MNT.

Le MNT permet une cartographie rapide et peu coûteuse des secteurs pouvant être classés en zones humides

potentielles.

• à l'échelle de la zone humide
Méthode de caractérisation des sols : la « méthode tarière » appliquée aux sols du Massif Armoricain (1998) permet notamment de caractériser les sols selon leur hydromorphie et leur profondeur.

Guides de botanique : ils permettent d'aider à la reconnaissance des espèces présentes. Cependant, la détermination précise de la flore peut être mal aisée pour des non-spécialistes.

Méthode basée sur les HGMU :
(Hydrogeomorphic Unit ou unités hydrogéomorphologiques) :
Une méthode en cours de validation a été développée par B. Clément (UMR Ecobio, Université de Rennes I) pour caractériser et délimiter les zones humides selon le type de végétation présente (valeur indicatrice des communautés végétales) et les unités hydrogéomorphologiques (repérage de la présence d'eau, des différences de pente au sein de la zone). Cette méthode est aujourd'hui utilisée dans un but d'acquisition de connaissances scientifiques. Pour cette raison, la méthode en l'état est assez longue à mettre en place sur un territoire (nombre important de relevés, analyse totale des espèces présentes …), ses simplifications ne sont pas encore validées.

Tableau 2 : Documents utiles à la levée des critères de description des zones humides

Type de documents	Visualisation	Disponibilité	Coût	Points négatifs
Carte IGN 1/25000ème	Repérage dans l'espace, pentes et longueur de versants	Achat en magasin non spécialisé	Peu onéreux	Pas à jour, échelle peu précise
Cadastre 1/2000ème	limites et taille de parcelles	cadastre	Payant (9 euros/ feuille)	
Photo aérienne	Talus de ceinture possible à identifier	IGN	Coût modéré	Pas d'information sur le relief
chronologie de photos	Evolution du paysage			
Ortho-photoplan	Identique à photo aérienne mais distances et dimensions exactes et données numérisées	IGN	élevé	Etre formé pour utiliser les données numérisées, pas d'information sur le relief
Carte de pédologie des sols	Sols	Pas toujours disponible pour le territoire considéré	Peu élevé	Difficulté d'interprétation possible pour les non spécialistes
Guides de botaniques	Flore	Achat en magasin, bibliothèques	Peu élevé	Difficulté de reconnaissance pour les non spécialistes

Les fonctions associées aux zones humides

Des fonctions assurant la protection de la ressource en eau (eau potable et équilibre écologique des cours d'eau)

A- hydrologiques : qui permettent la régulation des ressources en eau (étalement des crues l'hiver, soutien d'étiage l'été)
- stockage latéral de l'eau des versants,
- stockage longitudinal de l'eau du cours d'eau
- transfert des flux de surface (ruissellement, exfiltration) et des flux de nappe (nappe du versant et nappe profonde)

B- d'épuration de polluants
- épuration des nitrates par dénitrification (transfert à travers le sol de la zone humide vers la rivière)
- épuration des nitrates par absorption par les végétaux (transfert à travers le sol de la zone humide vers la rivière)
- rétention et dégradation des produits phytosanitaires et des métaux lourds dans le sol (sédimentation en surface principalement)

C- de protection (lorsque les pratiques sont adaptées)
- protection de la berge
- de dilution des polluants par effet de bilan
- zone possible de sédimentation des eaux de ruissellement et de dépôt de polluants (transfert de surface de la zone humide vers la rivière)

Des fonctions environnementales autres que qualité de l'eau
- réserves de biodiversité (faune, flore)

Des fonctions assurant une production économique
- production de bois d'œuvre (zone humide plantée)
- production de litière (valeur fourragère médiocre)
- zone de pâturage extensif

Des fonctions contribuant à l'amélioration du cadre de vie
- diversité biologique (intérêt patrimonial, espèces rares, faune et flore)
- hétérogénéité du paysage
- réserve de gibier de chasse
- production de roseaux
- frayères à poissons (ex. brochet)

Remarques générales :
- Contrairement aux bordures de champ qui sont des structures linéaires de faible superficie par rapport aux parcelles environnantes, les zones humides occupent tout ou partie des parcelles agricoles et représentent donc des surfaces et des longueurs de contact avec le versant importantes .
- La difficulté d'attribuer des fonctions à une zone humide réside dans la prise en compte de l'hétérogénéité de l'engorgement en eau. Les différentes fonctions et processus décrits plus loin ne pourront donc -dans la plupart des cas- s'appliquer qu'à une sous-partie de la zone humide.
- Dans les zones humides non cultivées, la gamme de végétation présente offre déjà des indices intéressants pour discriminer telle ou telle fonction.

A- Fonctions hydrologiques : stockage latéral et longitudinal de l'eau et transfert

1- Principe (Figure 5)

• Les zones humides (de bas fond) sont caractérisées par la présence d'une nappe à faible profondeur, peu fluctuante et observée de façon saisonnière généralement de décembre à mars pou une année climatique moyenne.
• Elles sont situées dans des zones plates et basses topographiquement et récoltent les flux d'eau qui convergent vers elles dont les quantités varient selon :
- la taille du bassin versant d'alimentation,
- le cumul de pluies à une date donnée.
• Ces milieux sont des zones de stockage notamment en période de recharge de la nappe (début de saison pluvieuse) mais leur capacité de stockage est faible du fait de la présence d'horizons peu perméables à faible profondeur.
Elles assurent donc aussi une fonction de transfert dans le versant soit à l'échelle de la crue pour les écoulements rapides tels que ruissellement, exfiltration ou écoulement superficiel de la nappe de versant, soit à une échelle intra-annuelle, pour les écoulements plus lents comme ceux de la nappe profonde.

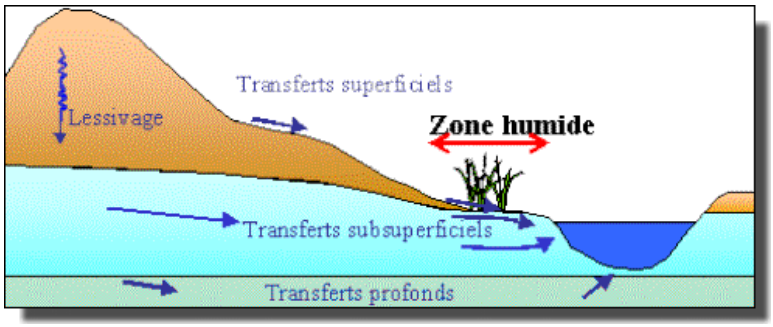


Figure 5 : Les différents réservoirs d'alimentation des zones humides.

• Selon la contribution relative de ces différents écoulements, la zone humide contrôle plus ou moins les flux d'eau et de polluants qui y transite. Il faut noter que la période de recharge de nappe correspond aussi au risque maximum de lessivage de nitrate. En crue, les volumes transitant dans la zone humide dépendront de la porosité du sol et de sa conductivité hydraulique. Hors crue ce sont les temps de résidence de l'eau dans la zone humide qui permettront la régulation des flux polluants.
• Selon l'ordre de Strahler du bassin versant, l'interaction cours d'eau-zone humide (lorsqu'ils sont connectés) est différente. Au delà de l'ordre 3, c'est l'écoulement dans la rivière qui va en grande partie contrôler le fonctionnement de la zone humide (figure 6). Les petits cours d'eau (ordre 1 à 3) influencent peu la zone humide.

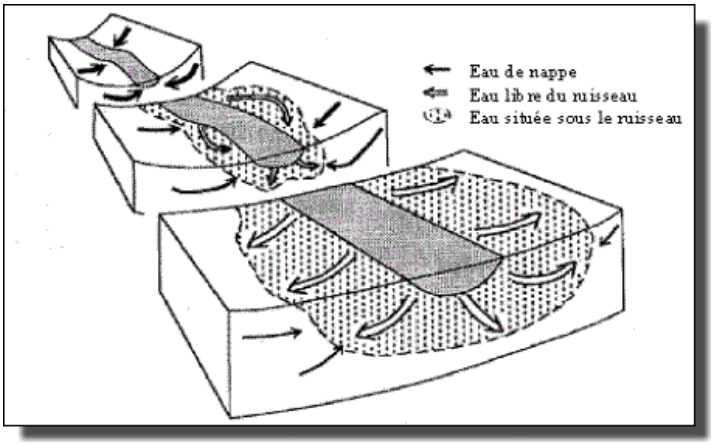


Figure 6 : Représentation schématique de la zone d'interaction entre le cours d'eau et la zone humide selon l'ordre du bassin versant. Extrait de Hill (1997).

2- Résultats

Remarque préalable :
- Le fonctionnement hydrologique des zones humides en Bretagne a été analysé soit en étudiant différentes zones humides de bas fonds, soit en modélisant sur l'ensemble d'un bassin versant l'extension de la zone saturée en surface au cours de l'année, selon une pluviométrie moyennée.
- Deux aspects ont été particulièrement abordés : 1- la compréhension des mécanismes hydrologiques au sein de la zone humide qui permet d'évaluer ses potentialités de dénitrification, 2- la problématique de la délimitation de ces milieux.
- Seules les zones humides en bordure des cours d'eau (ripariennes) ont été étudiées.
- Ceci ne signifie pas que les résultats qui seront présentés ici ne sont pas applicables aux deux autres types de zones humides que nous avons identifié (de résurgence et de source) mais avec certaines précautions.

• ***Etudes de cas locales : zones humides à proximité des cours d'eau***
Caractériser l'origine des flux d'eau entrant dans les zones humides, leurs volumes et leurs variations au cours des saisons a permis de mettre en évidence :

- **la participation de quatre réservoirs principaux à l'alimentation de la zone humide**, comme l'illustre schématiquement la figure 7.

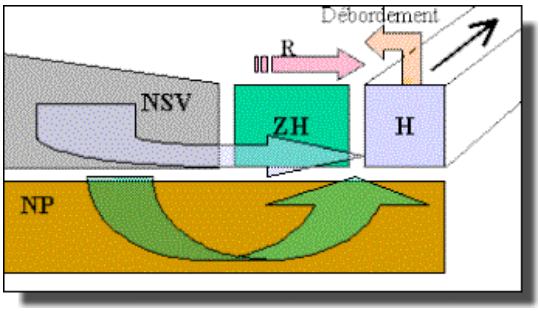


Figure 7 : Schématisation des 4 réservoirs alimentant la zone humide en bordure de cours d'eau (ZH) : ruissellement (eau de pluie) (R), nappe superficielle de versant (NSV), nappe profonde (NP), réseau hydrographique (H). Extrait de Durand et al., 2000.
Remarque : Les autres types de zones humides ne sont pas alimentés par le réseau hydrographique. Cette figure illustre donc l'évolution de la zone saturée au cours du temps pour les zones humides de bas fond les plus étudiées.

- l'influence locale d'aménagements anciens
Des études précises sur une zone humide dont le cours d'eau attenant a été déplacé et recalibré montrent aussi que l'ancien lit d'un ruisseau recalibré joue le rôle de récupérateur des flux hydriques (sorte de drain). Ce bras mort reste en effet le point topographique le plus bas vers lequel convergent les flux.
Ceci montre l'importance des aménagements passés dans la zone humide qui influencent encore son fonctionnement présent.

- les volumes d'eau qui transitent par la zone humide varient au cours de l'année et dépendent du niveau d'hygrométrie général du bassin versant.
Une étude réalisée sur Pleine Fougères (figure 8) montre que :
• La contribution de la nappe profonde est relativement stable au cours du temps et représente environ 37 % du flux total annuel.
• Une partie de l'eau provenant de la nappe superficielle de versant ne passe pas par le sol de la zone humide (déjà inondée) au printemps. Dans cette étude, cela représenterait de 0 à 44 % du flux selon la saison.
• La zone humide alimente la rivière surtout à l'automne, au moment de la recharge de la nappe profonde, sa contribution au flux total pouvant alors atteindre 85 %.

Au final, on peut donc grossièrement différencier deux périodes :
• la période des hautes eaux (mois d'octobre-novembre à juin) période pendant laquelle la rivière est essentiellement alimentée par la nappe de versant (0-4 m), et un peu par la nappe profonde.
• la saison sèche (juillet à septembre) : la rivière est alors alimentée par la nappe profonde essentiellement (> 4 m), et très peu par la nappe de versant.

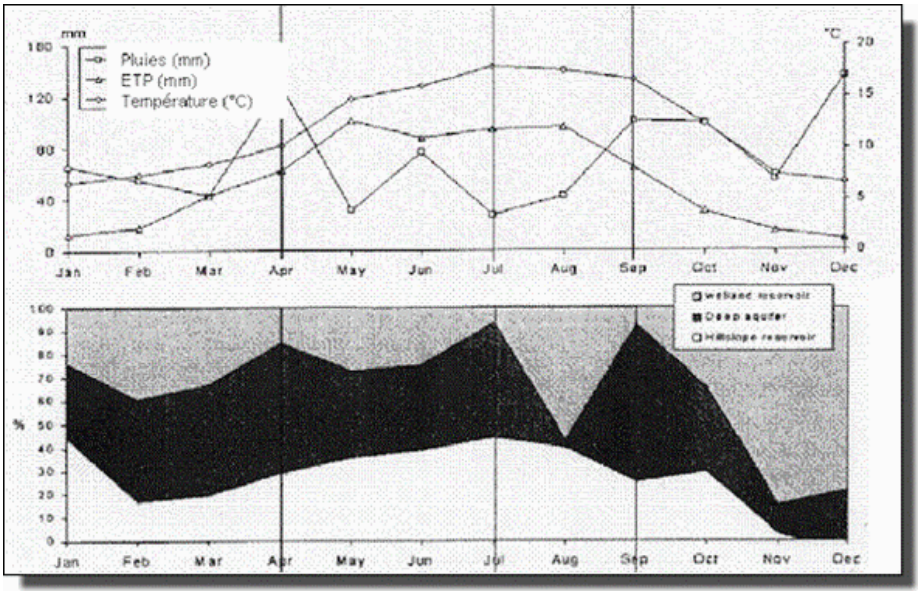
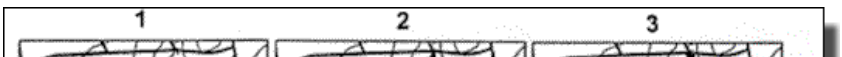


Figure 8 : a- Contribution respective des trois réservoirs alimentant la rivière à proximité d'une zone humide (Pleine Fougères, 35). Les flux sont exprimés en proportion du débit de la rivière et ont été calculés sur une base mensuelle. Deep aquifer : nappe profonde ; wetland reservoir : zone humide ; hillslope reservoir : nappe superficielle du versant. b- Evolution pour la même période des précipitations, évapotranspiration et température. Extrait de Clément, 2001.

La délimitation précise de ces deux périodes dépend chaque année de la date de reprise des pluies. Plus celle ci est tôt dans l'année (début de l'automne), plus la contribution de la nappe superficielle sera précoce. A l'opposé, si la reprise des pluies est tardive, la contribution de la nappe profonde sera étalée sur une plus grande période.

• Modélisation du fonctionnement hydrologique des zones humides
La modélisation permet de localiser les zones humides et leur extension dans le temps par une approche automatique. La méthode utilisée actuellement est basée sur un indice topographique qui est calculé à partir de la topographie du bassin versant et la pluviométrie ce qui permet de localiser une partie des surface en zone humide (figure 9).
C'est une méthode encore à améliorer mais qui devrait permettre prochainement de localiser plus facilement les zones humides sur de grands territoires. En l'état actuel de son développement, elle demande cependant la maîtrise des outils de modélisation.



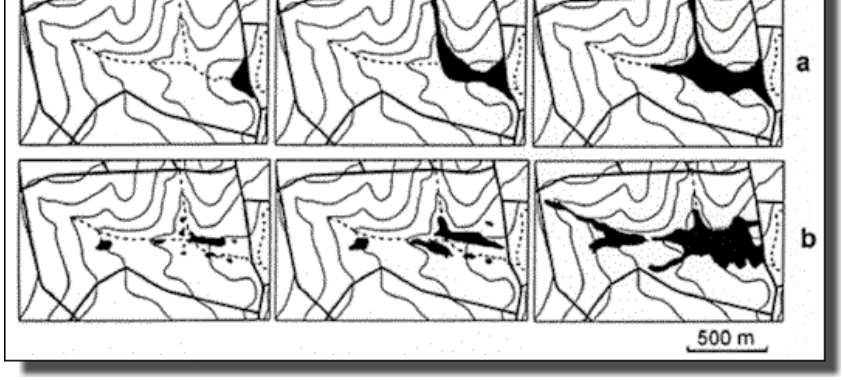


Figure 9 : Localisation des zones saturées de bas fond (type a, figure 45) à trois dates (1 2 3) et pour trois états hydriques différents sur le bassin de Kervidy Naizin. a- par simulation via un modèle hydrologique basé sur la topographie, b- par des observations de terrain

3- Récapitulatif des processus hydrologiques associés aux zones humides

Tableau 3 : Les processus élémentaires hydrologiques associés à la zone humide.

Processus élémentaire	Origine du processus	Période d'observation
Stockage latéral d'eau venant du versant	Continuité hydrologique avec le versant	début de période des pluies
Transfert d'eau vers l'aval ou le ruisseau	Capacité de stockage de la zone humide dépassée	- hors pluie lorsque cumul des pluies a été suffisant, - pendant la pluie
Stockage longitudinal :	Eau des crues	Période de crue (hiver)

B- Fonction d'épuration des polluants

1- Epuration des nitrates par dénitrification hétérotrophe (transfert à travers le sol de la zone humide vers la rivière)

a- Principe

L'eau qui alimente la zone humide provient des versants et de la nappe profonde, deux réservoirs qui sont chargés en nitrate du fait de la relative faible profondeur de la nappe en Bretagne (massif ancien sur socle) et de l'intensification de l'agriculture en Bretagne. Les zones humides sont des espaces où l'eau réside un certain temps à faible profondeur ce qui permet la mise en place de conditions physico-chimiques particulières favorables à la dénitrification.

Les conditions à remplir pour qu'elle se produise sont (selon leur ordre d'importance):
- la richesse en nitrate du milieu,
- la présence de matière organique facilement dégradable,
- l'absence d'oxygène (elle est acquise après une saturation en eau peu renouvelée d'environ 5 jours),
- le développement de microorganismes spécifiques à la dénitrification,
- une température > 4°C,
- un pH plutôt acide.

Ces conditions dépendent de facteurs liés au milieu et de la saison mais aussi des conditions micro-locales ce qui rend leur quantification difficile (forte variabilité dans l'espace). La figure 10 illustre les gammes où les paramètres du milieu sont favorables.

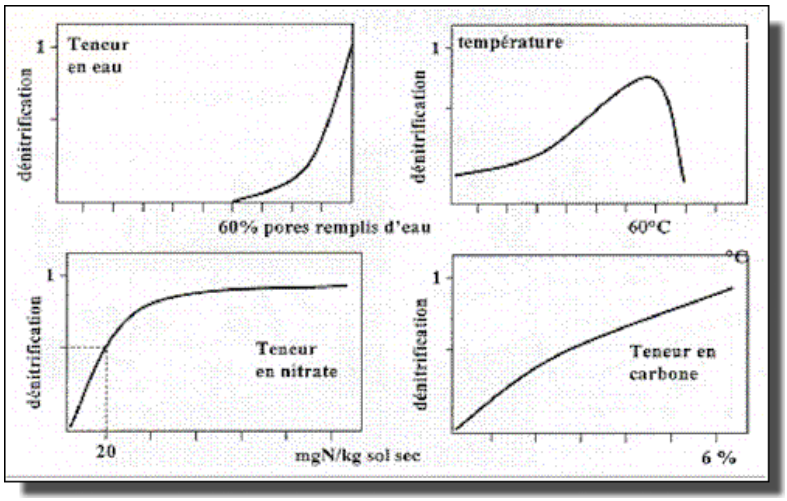


Figure 10 : Conditions favorables à la dénitrification

b- Résultats

Remarques préalables :
- Les dynamiques d'épuration en nitrate dans les zones humides ont été étudiées sur plusieurs sites

bretons présentant des fonctionnements hydrologiques hétérogènes, et avec des méthodes et des objectifs différents ce qui :
- rend parfois difficile les comparaisons,
- permet cependant de mettre en évidence quelques grands principes pour délimiter les zones potentiellement dénitrifiantes, sachant que la variabilité intra et inter zones humides reste importante et qu'aujourd'hui seules des études poussées permettent de réellement quantifier les flux qui peuvent être épurés.
• Il est également établi qu'il existe des zones humides où la fonction de dénitrification ne peut pas se produire car ce sont des milieux pauvres en nitrate (ou milieux oligotrophes) tels que les prés maigres, les landes. Leur conservation est alors plutôt à relier à leur forte valeur patrimoniale.
• Enfin, il existe un autre type de dénitrification (dit autotrophe, à opposer à la dénitrification hétérotrophe présentée ici) qui se produit dans certaines roches mères fissurés où la pyrite, composante minérale de la roche, permet le processus de dénitrification dans la nappe profonde. Cette nappe lorsqu'elle alimente la zone humide peut alors être très pauvre en nitrate et assurer une dilution de la pollution azotée. Si ces mécanismes existent, ils ne sont pas aujourd'hui quantifiés.

Sur les zones humides où la dénitrification peut a priori se produire, les résultats acquis mettent en évidence :

- **une très forte hétérogénéité spatiale** de la dénitrification (figure 11).

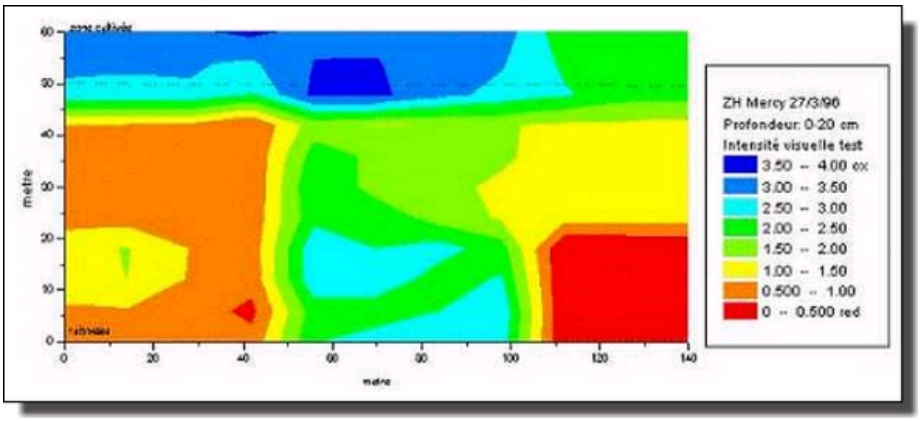


Figure 11 : Cartographie de l'état rédox (que l'on peut assimiler à l'absence d'oxygène) de l'horizon 0-20 cm du sol de la zone humide du Mercy (Bidois, 1999)

Cette hétérogénéité est le résultat de vitesses d'écoulement différentes au sein d'une zone humide qui entraîne des conditions d'oxygénation (ou de potentiel d'oxydoréduction) du sol variées, propices ou non à la dénitrification. L'abattement de la teneur en nitrate peut ainsi varier de 5 à 100 % en fonction de la période de mesure et peut être faible sur l'ensemble de la zone humide (figure 12).

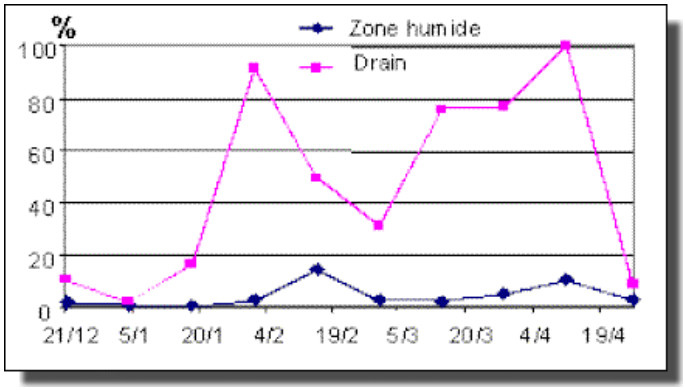


Figure 12 : Abattement en nitrates en fonction du temps par rapport à l'entrée de la zone humide sur l'ensemble de la zone humide et en un pont (Drain). Zone humide de la Rousselière (Merot, communication personnelle).

- **une localisation de l'abattement des flux dans les premiers mètres de la zone humide**, ce qui montre le rôle prépondérant de l'interface versant - zone humide. Ainsi, la teneur en nitrate peut passer de 60 mg/l à l'entrée de la zone humide à 6 mg/l en quelques mètres (figure 13).

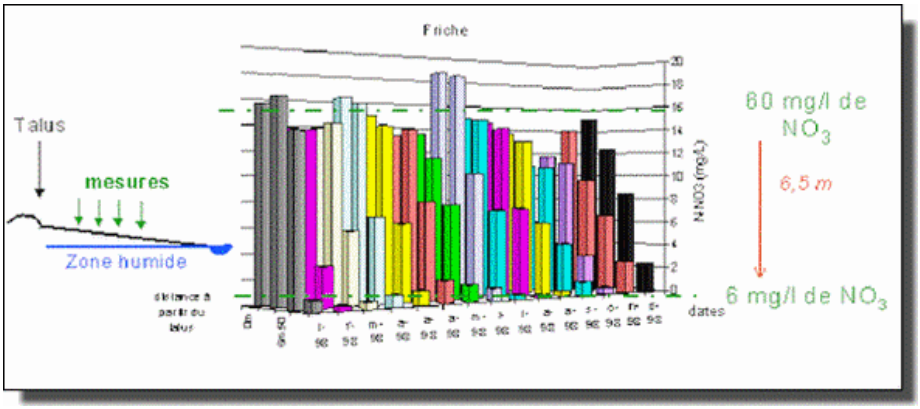


Figure 13 : Décroissance des teneurs en nitrates de la périphérie vers le centre de la zone humide (et en

surface)(Pleine Fougères, Clément, 2000).

- **une diminution de la capacité de dénitrification avec la profondeur, à relier à la teneur en matière organique du sol.**
En surface, la richesse du sol en matière organique (2 à 12 % selon les sites) permet le développement des bactéries et une dénitrification estimée deux fois plus importante qu'en profondeur quelque soit le couvert végétal présent (prairie, friche, forêt). En profondeur, les horizons sont pauvres en matière organique, la dénitrification est faible ou localisée dans des spots de dénitrification liés à des conditions micro-locales très favorables (Clément, 2001).

- **une zonation de la zone humide en termes d'efficacité de dénitrification** (figure 14)

• la zone particulière d'interface entre le versant et la zone humide : elle est riche en nitrates et matière organique (beaucoup d'intrants), la saturation est fréquente ce qui permet aux bactéries spécifiques de se développer. On l'a vu, c'est la zone active où se produit la majorité de l'épuration.

• la zone pas toujours inondée (elle englobe la première mais est moins favorable), elle n'est pas toujours inondée mais toujours humide (par remontée capillaire), ce qui favorise la minéralisation de la matière organique. Il s'y produit une alternance de conditions aérobies- non aérobies qui favorise la production de bactéries. La production d'ammonium et de nitrate est importante mais les réactions de dénitrification peuvent être incomplètes ce qui peut favoriser la production de gaz a effet de serre. *Le facteur limitant est l'aérobie à certains moments (inondations pas assez fréquentes)*

• la zone très souvent inondée (la plus basse topographiquement) : la matière organique s'y transforme en ammonium (NH_4^+), souvent en faibles quantités, mais pas en nitrate. Le *facteur limitant est le manque de nitrate* s'il n'y a pas d'apport du versant.

• la zone pas souvent inondée (surélevée): la décomposition de la matière organique est rapide mais se produit en faibles quantités. Elle est peu utilisée pour la dénitrification car la saturation en eau (et l'anaérobie) n'est pas durable.

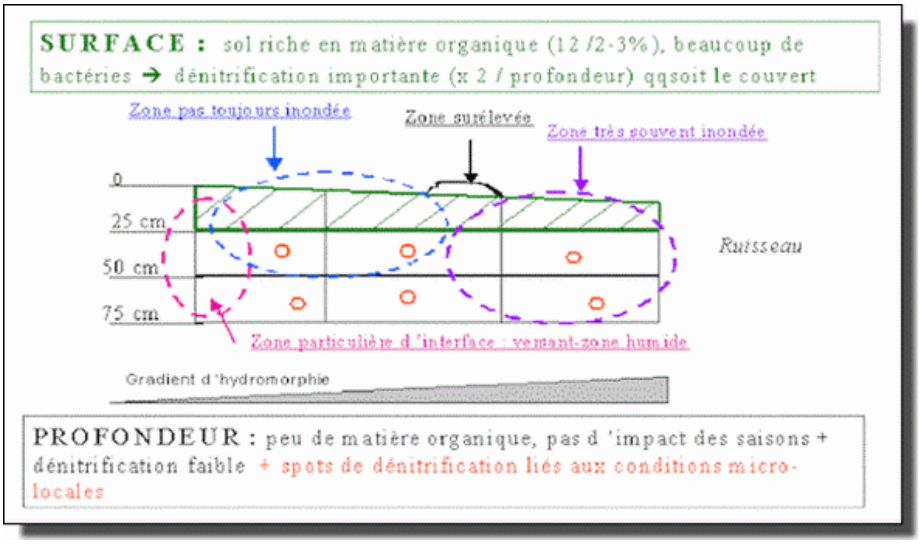


Figure 14 : Schéma récapitulatif des zonations verticale et transversale que l'on peut identifier dans une zone humide par rapport à la fonction de dénitrification. Adapté de Regimbeau, 1999 et Clément, 2001).

- **un test de caractérisation des conditions redox d'un sol pour connaître les potentialités dénitrifiantes d'une zone**.
Le cycle de l'azote et notamment la dénitrification étant fortement influencé par les conditions d'oxydoréduction du sol, un test simple a été mis au point pour délimiter les zones potentiellement dénitrifiantes (Bidois, 1999).

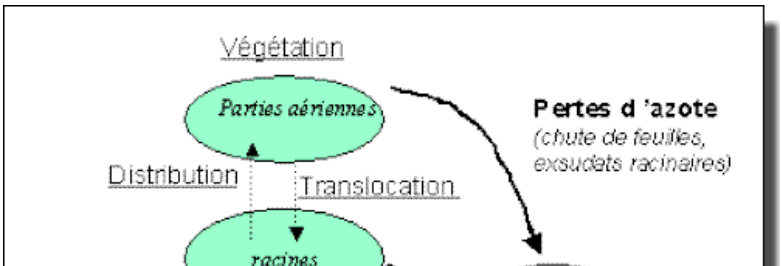
Ce test applicable sur un échantillon de sol est un indicateur coloré qui permet de révéler les zones oxydées où sont présents des nitrates et des zones très réduites sans nitrates. Sa calibration définitive devrait bientôt être achevée (étude prévue en 2004-2005).

B- Fonction d'épuration des polluants

2- Epuration des nitrates par absorption par les végétaux

a- Principe

Les végétaux pendant leur période de croissance prélèvent de l'azote sous forme de nitrate et d'ammonium dans les premiers horizons et le stockent dans les feuilles, tiges et racines. Une partie est restituée via les débris végétaux, la chute des feuilles ou les exsudats racinaires, une autre partie est conservée via le phénomène de translocation qui permet de faire migrer l'azote assimilé vers les racines ce qui permettra la reprise de croissance au printemps suivant (figure 15).



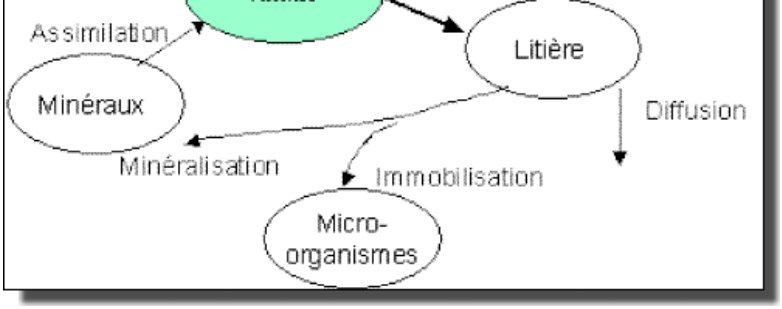


Figure 15 : Principaux processus de transformation de l'azote entre le couvert végétal de la zone humide et le sol. La décomposition est la combinaison de la diffusion, l'immobilisation par les micro-organismes et la minéralisation.

Le stockage d'azote est donc temporaire sauf si la végétation est exportée (par fauche, coupe de bois etc …). Quelques chiffres permettent de quantifier les différents compartiments de stockage.

b- Résultats

Remarques préalables :
L'objectif ici n'est pas d'entrer dans le détail des mécanismes de physiologie végétale mais plutôt d'apporter des clés de compréhension de l'impact du type de végétation et de son mode d'entretien sur la rétention de l'azote et donc la pollution azotée.

L'estimation de la production de biomasse par différents types de couverts permet d'estimer les prélèvements par la végétation. Ces résultats sont issus de l'étude d'une zone humide à Pleine Fougères (figure 16) qui présente trois types de végétation : une friche, une prairie et une forêt d'arbres en croissance.

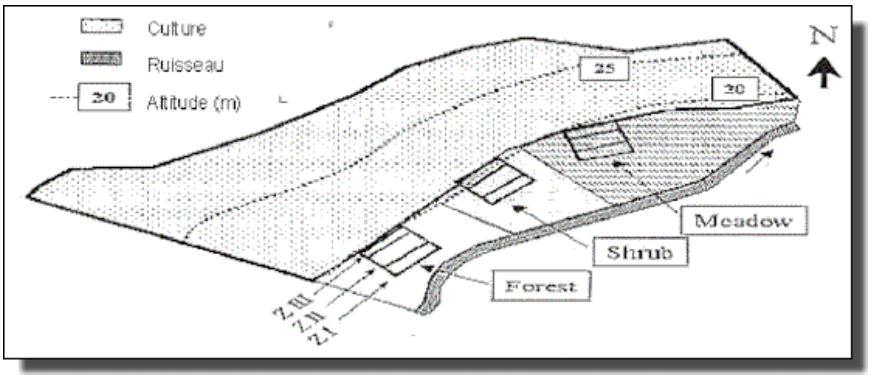


Figure 16 : Le site de Pleine Fougères (35). Z I, II, III délimitent la zonation amont- aval du site. Extrait de Clément, 2001.

Pour les trois types de zones, les différents processus intervenant dans la rétention de l'azote ont été quantifiés pour la strate herbacée, les arbres et les arbustes (Tableau 4) puis la production de la strate herbacée a été évaluée (figure 17).

Tableau 4 : Taux moyens annuels des différents processus jouant un rôle dans la rétention de l'azote sur les 3 sites d'étude.

Production primaire annuelle (kg/m^2)	Friche	Forêt	Prairie
Moyenne	1.94	0.5	0.6
Zone III	3.7	0.7	0.6
Zone II	0.7	0.45	0.6
Zone I	1.4	0.44	0.64
Assimilation d'azote annuelle	Friche	Forêt	Prairie
Moyenne (g N/ m^2) et (max)	25.2 (48)	9.0 (9.0)	9.5 (9.5)
% de N restitué au sol (litière) (g/m^2)	82 (20.4)	66 (6.3)	41 (3.9)
% de N conservé par la plante	18	33	59
Translocation annuelle	Friche	Forêt	Prairie
Moyenne (g N/ m^2)	4.6	3.0	5.8
Immobilisation	Friche	Forêt	Prairie
Moyenne (g N/ m^2)	9.6	0.6	0.8
Diffusion	Friche	Forêt	Prairie
Moyenne (g N/ m^2)	6.23	0.26	0.08
Minéralisation	Friche	Forêt	Prairie
Moyenne (g N/ m^2)	6.15	0.65	1.37

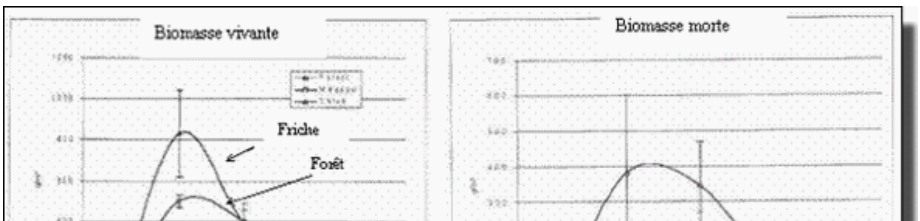


Figure 17 : Evolution de la biomasse vivante (a) et morte (b) de la strate herbacée sur les trois sites d'étude au cours de l'année. Moyenne des trois zones de chaque site et erreur standard.

Les résultats montrent que :
- la friche se démarque des autres milieux car sa strate herbacée présente la plus forte biomasse tant vivante que morte et sa production primaire est la plus importante, notamment à l'interface avec le versant où la production est plus importante encore, vraisemblablement reliée à la richesse en nitrate de cette zone.

- La présence d'un couvert végétal quel qu'il soit permet de stocker l'azote assimilé au printemps pendant plusieurs mois. Les quantités absorbées sont importantes pour la friche qui est un milieu très productif (252 kg N/ha/an en moyenne) et équivalentes pour la forêt en croissance (dans le cas étudié ici) et la prairie (97 et 91 respectivement).

- Les quantités d'azote restituées au sol (débris végétaux, chute de feuilles) sont différentes pour les 3 couverts, la friche restituant les plus fortes quantités, puis la forêt puis la prairie. Entre 75 à 90 % de la biomasse annuelle produite retourne ainsi au sol sous forme de litière, soit 41 à 82 % de l'azote assimilé. La translocation plus importante dans la prairie comparée aux deux autres couverts influence cette restitution au sol.

- La vitesse de libération de l'azote contenu dans la litière dépend ensuite du processus de décomposition, plus ou moins rapide selon les couverts : une petite partie est très vite minéralisée et diffusée dans le milieu, une autre stockée par les micro-organismes et une autre minéralisée. Cela représente globalement 100 à 150 jours de stockage supplémentaire avant qu'une partie ne devienne mobilisable –car soluble- par l'eau. En résumé, l'azote prélevé est plus rapidement remis en circulation dans la friche et la prairie et reste plus longtemps dans la forêt. Environ 17 % de l'azote de la prairie est libéré la 1ère année, 14 % pour la friche et 5 % pour la forêt.

3- Rétention et dégradation des métaux lourds et des produits phytosanitaires dans le sol (transfert à travers le sol de la zone humide vers la rivière)

Remarques préalables :
- Le devenir des métaux lourds dans les zones humides a été peu étudié en Bretagne si ce n'est via l'étude du devenir du cuivre et du zinc le long d'un transect culture- zone humide.
- Quant aux produits phytosanitaires, l'analyse en laboratoire des transformations de certains produits phytosanitaires a été réalisée dans des sols des zones humides.

a- Principe pour les métaux lourds

Le cuivre et le zinc sont des compléments alimentaires donné au bétail qui sont très peu retenus au niveau de l'animal (80-95 % rejetés dans les déjections) et qui finalement se retrouvent dans les sols et s'accumulent.

b- Résultats

● ***Etude du devenir du cuivre et du zinc le long d'un transect culture-zone humide.***
Cette étude réalisée a permis de mettre en évidence une succession de processus. Lors de la période de reprise des pluies (qui se traduit par des transferts d'eau superficiel), les deux métaux lourds étudiés migrent du versant labouré vers la zone humide où ils sont temporairement piégés. Puis lorsque la surface saturée en eau diminue, les horizons du sol s'oxygènent ce qui fait précipiter les métaux lourds sous forme d'oxydes en interaction avec le cycle du fer. Les teneurs en métaux sont alors deux fois plus fortes dans la zone humide par rapport à celle cultivée.

En revanche, lors de la période de hautes eaux suivantes, le processus de réduction peut conduire à une libération des métaux qui peuvent repasser en solution et migrer de nouveau notamment vers la rivière (figure 18).

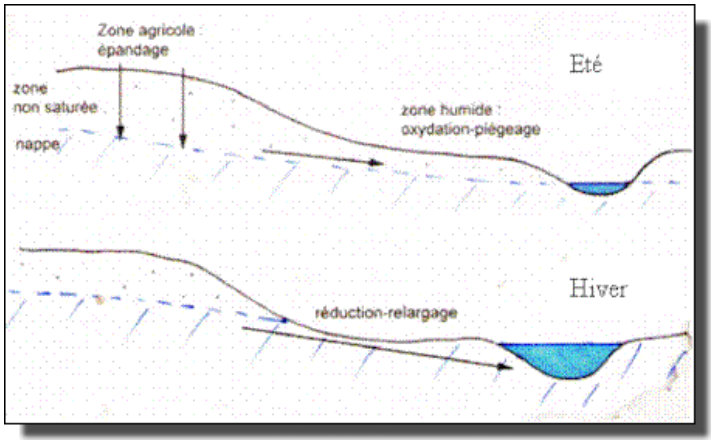


Figure 18 : Devenir des métaux lourds sur un versant en fonction de l'alternance oxydation réduction des sols.

Si les mécanismes sont connus, ils sont en revanche complexes. Il est cependant certain que les zones humides jouent un rôle de piège saisonnier pour les métaux lourds mais ce rôle peut être donc temporaire ou permanent selon les caractéristiques de la zone étudiée.

● ***Etude du devenir des produits phytosanitaires dans la zone humide***
Le suivi a été réalisé en laboratoire par marquage radioactif. Du fait de la diversité des molécules de produits phytosanitaires utilisée en agriculture (rétention et persistance variable) et du peu d'études réalisées, ces résultats sont encore partiels (sol calcaire).

4- Récapitulatif sur les processus de transformation et d'épuration de polluants associés aux zones humides

L'efficacité des zones humides pour améliorer la qualité de l'eau dépend du chemin pris par l'eau, des flux qui transitent dans la zone et d'une combinaison de facteurs locaux ce qui rend souvent difficile la quantification de ces processus.

Tableau 5: Les processus élémentaires associés à l'azote et aux produits phytosanitaires dans la zone humide.

Processus élémentaire	Origine du processus	Période d'observation
AZOTE :		
Stockage de matière organique	Apports du versant, Production de biomasse par les végétaux	Eté- automne
recyclage (décomposition de la matière organique)		Pic d'activité printemps - été- automne
dénitrification		Saturation en eau durable du sol
absorption par les végétaux		Printemps- été- automne
dilution	Apport d'eau de nappe profonde dénitrifiée	Eté
dilution par effet de bilan	Zone non fertilisée	Toute l'année
PRODUITS PHYTOSANITAIRES :		
Apports dans la zone humide	Ruissellement (apports du versant) et sédimentation	Saturation des sols, pluies de forte intensité
	Transfert du versant	Reprise des pluies à l'automne
rétention	Propriétés intrinsèques de la molécule (Koc)	Durée de contact suffisante (selon produits)
dégradation		Printemps - été
MÉTAUX LOURDS :		
Précipitation sous forme d'oxydes (piégeage)	Oxygénation des horizons de sol (baisse de la nappe)	Printemps - été
Remise en solution	Réduction (anaérobie)	Saturation en eau (automne - hiver

Ce qu'il faut retenir : Les zones humides

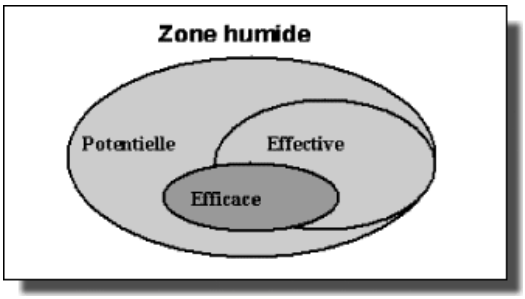
• **Les zones humides** sont le plus souvent situées le long des cours d'eau (zones humides ripariennes) : ce sont les plus connues. Il existe aussi des zones humides éloignées du ruisseau, soit localisées dans le versant, liées à des phénomènes de résurgence de nappe, soit localisées en amont dans des zones de plateau.

• Les **conditions de présence et d'identification** d'une zone humides sont :
- la topographie pour les zones humides ripariennes : elle sert à délimiter l'enveloppe des zones humides potentielles ;
- la saturation en eau
- l'hydromorphie du sol et sa coloration spécifique qui lui ait liée (tâches d'hydromorphie),
- une végétation hydrophile caractéristique qui peut comporter des espèces d'intérêt patrimonial.

Ces trois critères servent à délimiter l'enveloppe des zones humides effectives.

• **La dynamique de l'eau** dans les zones humides de bas fond est régie par les différents réservoirs (nappe superficielle et profonde, cours d'eau en crue…) qui contribuent à l'extension spatiale de la zone saturée au cours du temps. La zone humide présente souvent une forte hétérogénéité (temporelle et spatiale) : elle est ainsi le siège de courts circuits, de processus biogéochimiques localisés, qui peuvent limiter l'expression de processus d'épuration.

• **La délimitation des zones humides** est importante (entretien, surface subventionnée, etc…) mais pas simple, une typologie a été proposée et des critères de description fixés. Cette typologie peut servir de base de discussion pour la préservation ou la reconquête des zones humides.



• **Les fonctions associées** aux zones humides sont :
- la protection de la ressource en eau,
- des fonctions environnementales autres que la protection de l'eau (biodiversité,..),
- des fonctions assurant une production économique,
- des fonctions contribuant à l'amélioration du cadre de vie.

• **Les fonctions assurant la protection de la ressource en eau** :
- stockage de l'eau et transfert,
- épuration des nitrates par dénitrification hétérotrophe,
- épuration des nitrates par absorption par les végétaux,
- rétention et dégradation des métaux lourds et des produits phyto.

L'enveloppe des zones humides efficaces est relative à ces fonctions, notamment à la fonction de dénitrification qui peut être évaluée par différents critères.

Références bibliographiques

Il y a 12 référence(s) de base ... **Afficher seulement le(s) référence(s) de base ?** Ok

Aurousseau, P., Squividant, H., *1995*, Rôle environnemental et identification cartographique des sols hydromorphes de bas-fonds, Ingéniérie E.A.T., n° spécial rade de Brest, 75-85

Bernard, P., *1994*, Les zones humides. Rapport d'évaluation., Comité interministériel de l'évaluation des politiques publiques, commissariat au plan. La Documentation Française, Paris, 391 p.

CBNMC, *2001*, Conservatoire Botanique National du Massif Central : Guide d'identification simplifiée des zones humides du Limousin, DIREN, Limoges, France, 97 p.

Durand, P., Gascuel-Odoux, C.; Kao, C.; Merot, P., *2000*, Une typologie des petites zones humides ripariennes, Etude et Gestion des Sols., 7 (3), 207-218

Fustec, E., Lefeuvre, J.C., *2000*, Fonctions et valeurs des zones humides., Dunod, Paris, 426 p.

Gascuel-Odoux, C., Merot, P., Crave, A., Gineste, P., Taha, A., Zhang, Z., *1998*, Les zones contributives de fond de vallée : localisation, structure et fonctionnement hydrodynamique, Agriculture intensive et qualité des eaux, Cheverry, C., INRA Edition, Paris, 129-142

Hermant, F., *1996*, Le peuplier dans son environnement. Eléments de réflexion sur la populiculture et ses impacts ecologiques., DESS Gestion des ressources naturelles renouvelables et amélioration de la qualité de la vie, génie écologique., Université des sciences et technologies de Lille., 79 p.

Hubert-Moy, L., *1997*, Contribution de la télédétection à l'étude des zones humides, Le climat, L'eau et les Hommes, Presses Universitaires de Rennes, Rennes, 65-73

Mermet, L., Cattan, A., Jubault, P., Liederman, E., *1993*, Evaluation des politiques publiques en matière de zones humides., ASCA Commissariat général au plan / instance d'évaluation des politiques publiques en matière de zones humides, France

Merot, P., coll., *2000*, TY-FON : Typologie fonctionnelle des zones humides de fonds de vallée en vue de la régulation de la pollution diffuse, 115 p.

Muller, S., *2000*, Les prairies inondables du Nord-Est de la France, des zones humides sensibles à protéger, Programme de recherche de 1997-2000, Université de Metz, 14 p.

Walter, C., Ferrand, C., Quidu, O., Squvidant, H., Dutin, G., *2001*, Cartographie des pédopaysages de l'Ille-et-Vilaine au 1/250000. Programme 2000/2001 : Caractérisation d'unités cartographiques de sols de fonds de vallée en fonction de l'ordre des cours d'eau, ENSAR, laboratoire de Sciences du Sol, 25p

... et 11 document(s) complémentaire(s)

Bidois, J., *1999*, Aménagement de zones humides ripariennes pour la reconquête de la qualité de l'eau : expérimentation et modélisation, Thèse de l'Université de Rennes 1, Biologie, 214 p., **voir la thèse ou le résumé**

Blackwell, M.S.A., Hogan, D.V., Maltby, E., *2002*, Wetlands as regulator of pollutant transport., Agriculture, Hydrology and Water quality, Haygarth, P.M., Jarvis, S.C.,, CAB Int. Publishing, 321-339

Chaplot, V., *1998*, Organisation spatiale des sols hydromorphes de fond de vallée. Modélisation prédictive de leur distribution., Thèse de l'ENSA Rennes, Mention sciences de l'environnement, 258 p.

Clement, J.C, Pinay, G., Marmonier, P., *2002*, Seasonal dynamics of denitrification along topohydrosequences in three different riparian wetlands, Journal of Environmental quality, 31, 1025-1037

Clément, J.C., *2001*, Les zones humides de fond de vallée et la régulation des pollutions azotées diffuses., Thèse de l'Université de Rennes 1, Mention Biologie, 184 p.

Cowardin, L.M., Carter, V., Golet, F.C., Laroe, E.T., *1979*, Classification of Wetland and deepwater habitats in the United States, US Fish & Wild Service, Jamestown, 47

Curmi, P., Durand, P., Gascuel-Odoux, C., Merot, P., Walter, C., Taha, A., *1998*, Hydromorphic soils, hydrology and water quality : spatial distribution and functional modelling at different scale., Nutr. Cycl. Agroecosyst., 50, 127-142

Haycock, N.E., Burt, T.P., Goulding, K.W.T., Pinay, G., *1997*, Buffer zones : their processes and potential in water protection. The proceedings of the International Conference on buffer zones. september 1996., Quest Environmental, Hertfordshire UK, 326 p.

Hubert-Moy, L., Clément, B., Lennon, M., Houet, T., Lefeuvre, E., *2003*, Etude de zones humides à partir d'images hyperspectrales CASI : Application aux fonds de vallée du massif armoricain, Photo-Interprétation, 39, 54-65

Merot, P. Squividant, H., Aurousseau, P., Hefting, M., Burt, T., Maitre, V., Kruk, M., Butturini, A., Thenail, C., Viaud, V., *2003*, Testing a climato-topographic index for predicting wetlands distribution along an European climate gradient, Ecological Modelling, 163, 1-2, 51-71, **voir l'article ou le résumé**

Regimbeau, C., *1999*, Typologies et fonctionnement de zones humides de fonds de vallée en Ille et Vilaine (Bretagne)., Thèse de l'Université de Rennes 1, 213 p.