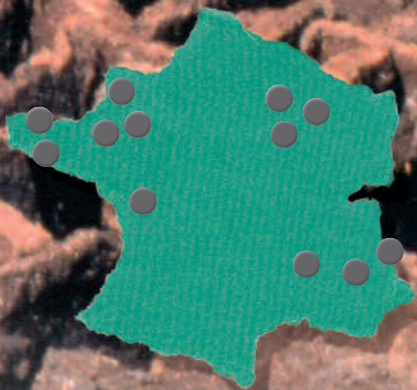




# 1- Les sols des zones humides



*Un domaine fondamental et trop peu connu*

Exploitation traditionnelle de tourbe (photo J.L. Michelot)

## Problématique

Les sols des zones humides ont été relativement peu étudiés, si ce n'est sur les plans agronomique (mise en valeur agricole des terrains) ou énergétique (production de tourbe).

Il s'agit pourtant d'une thématique majeure, prise en compte dans la définition des zones humides de la loi sur l'eau ("sols gorgés d'eau"). La pédologie mérite également d'être mieux connue en raison de son contenu "indicateur" de l'histoire des milieux et de ses conséquences sur le fonctionnement écologique et/ou bio-géochimique des zones humides.

## Présentation de la recherche

La pédologie a été abordée dans deux des projets du PNRZH.

Le projet TYFON a concerné de petites zones humides de fond de vallée du Massif Armoricain. Les recherches pédologiques ont complété et enrichi les études relatives au fonctionnement hydraulique et biogéochimique.

Le projet tourbières a étudié 10 sites répartis dans plusieurs régions. Sur chaque site, ont été réalisés des sondages pédologiques (de 3 à 65 par site). La recherche a porté sur la typologie des sols, leur relation avec la végétation et surtout sur les relations entre sols et fonctionnement hydrologique de la tourbière.

Le fonctionnement hydrologique de ces zones humides a été présenté dans le cahier "eau" du PNRZH.

## Caractères généraux des sols des zones humides

### DES SOLS MARQUES PAR LA PRESENCE DE L'EAU

Les sols des zones humides sont caractérisés par une saturation en eau temporaire ou permanente, qui freine les échanges gazeux entre le sol et l'atmosphère. Il peut en résulter un déficit plus ou moins prolongé en oxygène qui modifie l'activité biologique du sol et ralentit la minéralisation de la matière organique. La microflore anaérobie du sol puise son énergie dans la réduction d'éléments tels que le fer et le manganèse. L'alternance de périodes saturées et de périodes non saturées est à l'origine des phénomènes d'oxydo-réduction qui caractérisent les sols hydromorphes. La dynamique du fer en fonction de l'état d'oxydo-réduction du milieu marque en effet la morphologie du sol et constitue un indicateur du régime hydrique du sol. Le fer (III) oxydé est insoluble tandis que le fer (II) réduit est mobile. Il en résulte qu'une anoxie temporaire se traduit morphologiquement dans le sol par la présence de taches claires appauvries en fer et de taches et pellicules rouilles enrichies en fer (III). Un engorgement et une anoxie permanente confèrent au sol une teinte bleu due à la présence de fer (II) en solution, cette couleur se modifiant en présence de l'oxygène de l'air.

### PLUSIEURS GRANDS TYPES DE SOLS

Les zones humides présentent une grande variabilité de sols, différenciée en particulier par leur fonctionnement hydrique. On peut schématiquement distinguer :

## SOLS HYDROMORPHES MINÉRAUX

Les sols hydromorphes comprennent deux grands types d'horizon en fonction de la durée des périodes de saturation et d'anoxie :

- les horizons à anoxie temporaire, appelés " rédoxiques " (anciennement pseudogley), sont caractérisés par la présence de taches claires et de taches et pellicules rouille ;
- les horizons à anoxie permanente, appelés " réductiques " (anciennement gley), sont caractérisés par une couleur bleue ou gris bleu, qui change rapidement lors d'une exposition à l'air. Ceci permet de les distinguer des teintes grises ou bleues dues à la roche mère (lithochromie), qui restent stables en présence d'air.

## SOLS HYDROMORPHES ORGANIQUES : TOURBES ET HISTOSOLS

La formation de tourbe (tourbification) intervient à l'occasion d'un excédent d'eau, avec des eaux calmes et peu fluctuantes. Deux situations principales peuvent être notées :

- lame d'eau douce libre peu épaisse au-dessus du sol, favorisant l'implantation de plantes hygrophiles ;
- plan d'eau progressivement colonisé par un radeau végétal.

La tourbification est facilitée par des basses températures qui limitent l'activité microbienne.

Les massifs de tourbe les plus épais se sont formés grâce à un relèvement du niveau de la nappe ; ainsi, l'épais massif de tourbe du marais de Lavours provient du relèvement historique du profil du Rhône.

## SOLS ALLUVIAUX

Ils sont souvent marqués par l'existence de fortes fluctuations du niveau de la nappe, par la circulation des eaux souterraines et les apports importants en matières minérales lors des crues. Ces sols ne connaissent pas de phénomènes de réduction parce qu'ils sont oxygénés (du fait du battement de la nappe et/ou de son renouvellement rapide) ; la matière organique est peu abondante car elle se minéralise rapidement.

## SOLS DES ZONES HUMIDES LITTORALES

Constitués de matériaux très fins issus des alluvions marines ou fluvio-marines, à très basse altitude, ils subissent à l'état naturel l'influence d'une nappe phréatique proche de la surface, dont les fluctuations sont liées aux rythmes des marées. Ils peuvent être marqués par la présence de sels (horizons salique ou sodique). Les activités humaines les ont souvent transformés et dessalés (endiguement stoppant les intrusions marines, évacuation des eaux excédentaires...)

## LES SOLS, ÉLÉMENTS DE CARACTÉRISATION DES ZONES HUMIDES

Les sols peuvent contribuer à la caractérisation des zones humides et de leur histoire dans la mesure où ils intègrent, sur un long terme, les conditions écologiques (géologie, climat, hydrologie). Il est ainsi possible d'évaluer à partir de l'observation du sol la durée d'engorgement en eau d'un espace. Cet outil doit toutefois être utilisé avec prudence, parce qu'il prend peu en compte les évolutions récentes ; ainsi, le sol d'une zone humide asséchée peut conserver durablement des traces d'hydromorphie.

L'analyse des sols peut être utilisée pour identifier les zones humides potentielles. Ainsi, un espace sans végétation hygrophile ni inondation régulière, mais avec des sols hydromorphes, pourrait faire l'objet d'une restauration en milieu humide.

*Les sols des zones humides de fonds de vallée*

Dans le Massif Armoricain, les substrats géologiques, granites et schistes sont peu perméables ; les nappes phréatiques sont superficielles. Les zones humides de fonds de vallée résultent de l'affleurement de ces nappes qui vont transformer par leur présence plus ou moins prolongée les sols qui se développent dans la couverture limoneuse ou dans des matériaux colluvio-alluviaux.

En l'absence de nappe, les sols de la couverture limoneuse sont :

- des luvisols caractérisés par un lessivage modéré de l'argile qui conduit à la différenciation verticale d'un horizon organo-minéral labouré (L), d'un horizon éluvial (E) lessivé en argile, d'un horizon illuvial (BT) enrichi en argile et d'un horizon d'altération du substrat (C) ;
- des alocrisols caractérisés par un horizon structural aluminique (S al) ;
- des colluviosols qui se distinguent par un horizon structural jeune (SJ).

En présence d'une nappe temporaire, le luvisol se transforme en luvisol redoxisol marqué par la redistribution du fer en taches et pellicules rouille au sein des différents horizons Lg / Eg / BTg / Cg.

Lorsque l'engorgement en eau et l'anoxie sont prolongés, en bas de versant, le luvisol redoxisol se transforme en luvisol redoxisol dégradé. Dans ce dernier, l'horizon éluvial rédoxique (Eg) s'appauvrit en argile et en fer pour donner un horizon éluvial albique (Ea) blanc, massif et très peu perméable ; l'horizon illuvial rédoxique (BTg) se

transforme en un horizon illuvial rédoxique et dégradé (BTgd) caractérisé par un réseau de bandes verticales, grises bordées d'une gaine rouille, appauvries en argile et en fer. En présence d'une nappe d'eau temporaire, le colluviosol devient un colluviosol rédoxique, l'horizon structural jeune (Sj) se transformant en horizon structural jeune rédoxique (Sjg) marqué par des taches claires et des taches et pellicules rouilles.

En présence d'une nappe d'eau permanente et anoxique, il y a alors formation d'un horizon réductique, voire le développement d'un horizon histique (tourbe).

## Les sols des tourbières

### LES SOLS LES PLUS ORGANIQUES DE LA PLANÈTE

On appelle traditionnellement "tourbe" l'ensemble des matériaux constituant une tourbière.

En fait, sur l'épaisseur d'une tourbière profonde, il est nécessaire de distinguer un niveau supérieur, que l'on peut qualifier de sol ; des relations avec la végétation y existent grâce aux racines et aux remontées capillaires d'eau. Par contre les niveaux profonds du massif ne font pas partie du sol de la tourbière.

Il est préférable de parler d'histosol d'un point de vue pédologique, et d'utiliser le mot de "tourbe" de façon plus générale, pour désigner le matériau lui-même. La tourbe est définie par un taux de carbone supérieur à 30 %.



Echantillon d'histosol fibrique herbacé (Sangsurière, 50)

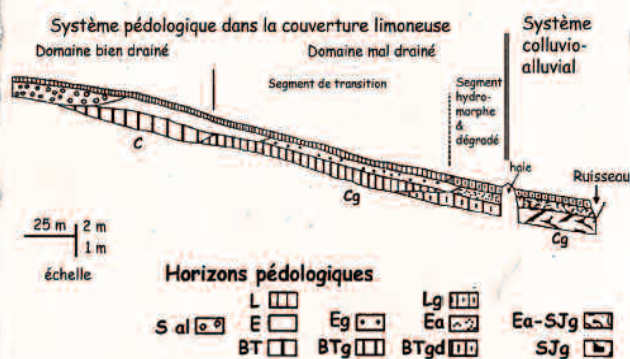
### UNE TYPOLOGIE BASÉE SUR LES USAGES DE LA TOURBE

Les tourbiers (extracteurs) distinguent trois types de tourbes, caractérisés par un degré croissant de décomposition des végétaux :

- la tourbe blonde résulte de la transformation de sphagnes : très forte acidité, grande porosité ;
- la tourbe brune provient de débris ligneux ; la dégradation des végétaux est plus poussée que dans la précédente ;
- la tourbe noire est marquée par la présence importante de particules minérales ou organiques fines.

Cette typologie sépare des types de matériaux aux usages économiques différents. Elle reste intéressante en termes de description du matériau.

### REPARTITION DES HORIZONS LE LONG D'UN VERSANT



La répartition, dans l'espace, des sols hydromorphes dans les fonds de vallée de l'ouest armoricain dépend de trois facteurs :

**FORME DE VERSANT** : la proportion de sols hydromorphes augmente lorsque l'on passe d'une forme convexe (profil en bosse) à une forme concave (profil en creux) ;

**TYPE DE SUBSTRAT** : la proportion de sols hydromorphes croît lorsque l'on passe des granites aux schistes puis aux micaschistes ;

**TECTONIQUE RECENTE** : les sols hydromorphes sont plus étendus dans les secteurs de grandes épaisseurs d'altérites, qui correspondent aux blocs tectoniques en voie d'affaissement.

Un modèle prédictif sur le développement des sols hydromorphes a été établi à partir d'un modèle numérique de terrain (aire drainée, dénivelée, pente par rapport au cours d'eau).

La géophysique peut constituer un outil intéressant, car il apparaît que la résistivité apparente est corrélée à l'humidité de surface et à l'épaisseur de la couverture limoneuse. Cette approche peut aider la décision en matière de plan d'échantillonnage des sols sur le terrain.

## UNE TYPOLOGIE DESCRIPTIVE DE LA STRUCTURE VERTICALE DE LA TOURBIERE

Deux niveaux superposés sont souvent distingués sur les hauts-marais :

- l'acrotelm, constituant l'interface avec la surface : zone de battement de la nappe, faible tassement, présence d'oxygène, possibilité d'exploitation du milieu par les racines, teneur très élevée en eau...
- le catotelm : très tassé, teneurs plus faibles en eau et en oxygène, inactif chimiquement.

Cette distinction, valable, doit être considérée comme théorique ; dans la réalité, la structuration verticale des tourbières est nettement plus complexe.

Certaines tourbières présentent une structure pédologique uniforme, mais d'autres connaissent une superposition de

nombreuses couches aux caractéristiques différentes, en particulier en matière hydrique.

Les massifs épais de tourbe connaissent généralement une forte hétérogénéité verticale, liée à l'histoire du milieu : périodes d'assèchement, incendies, inondations...

## UNE TYPOLOGIE DES NIVEAUX DE TOURBES

L'étude pédologique des histosols est particulière en ce sens qu'il n'existe pas d'horizons bien définis, mais des niveaux qui ne sont pas forcément interconnectés et reliés à la végétation.

Pour répondre à cette situation, les chercheurs ont conçu une typologie des niveaux de tourbes (voir tableau ci-dessous).

**TYPOLOGIE DES NIVEAUX DE TOURBE**

Types	classes	Indice Von Post	condres	Taux de Carbone	Indice pyrophosphate
Mt Niveaux non tourbeux	Sables organiques avec fibres ou réseaux rac.	Impossible	> 90%	> 5	impossible
	Formation réductique organique	Impossible	> 95%	> 5	Impossible
	Limon tourbeux, sables tourbeux	Impossible	> 80%	> 10	Impossible
	Tourbe limoneuse ou sableuse	Impossible	> 60%	> 20	Impossible
Hs Tourbe saprique	Tourbe saprique avec macro-restes végétaux		> 40%	> 30	Très variable
	Tourbe saprique avec qq fibres reconnaissables	9	> 25	> 40	> 10
	Tourbe saprique avec du minéral	10	> 40	> 30	> 10
	Tourbe saprique sans aucun élément visible	10	> 25	> 40	> 10
Hm Tourbe mésique	Tourbe mésique avec particules minérales		> 30	> 30	Très Variable
	Tourbe mésique racinaire	6/8	> 10	> 40	> 10 et < 25
	Tourbe mésique avec restes herbacés, mousses	6/8	> 15	> 40	
	Tourbe mésique indifférenciée	6/8	> 12	> 30	
Hf Tourbe fibrique	Tourbe fibrique à rhizomes, et de radeaux	4/6	5-25	> 45	Peu Variable
	Tourbe fibrique à sphaignes	1/4	< 10	> 50	> 7 et < 10
	Tourbe fibrique à sphaignes et éricacées	1/5	< 10	> 45	
	Tourbe fibrique à Eriophorum	2/4	> 10	> 45	
Mli Tourbe liquide	Tourbe fibrique à bois	3 / 6	> 10	> 45	
	Boue organique sédimentaire + ou - remaniée	8/10	> 20		
	Boue organique avec MR de bois et de racines	5/6			
	Niveau eau assez clair	2/3			

L'analyse de l'organisation de ces niveaux permet d'identifier plusieurs familles d'histosols :

**H. leptiques** : < 60 cm avec niveaux H

(Hf, Hm, ou Hs) sur substrat minéral,

**H. fibriques** : > 60 cm, niveaux Hf prédominants (entre 40 et 120 cm), sur tourbe,

**H. mésiques** : > 60 cm, niveaux Hm prédominants (entre 40 et 120 cm), sur tourbe,

**H. sapriques** : > 60 cm, niveaux Hs prédominants (entre 40 et 120 cm) sur tourbe,

**H. composites** : > 60 cm, superpositions de niveaux Hf, Hm, Hs sur tourbe,

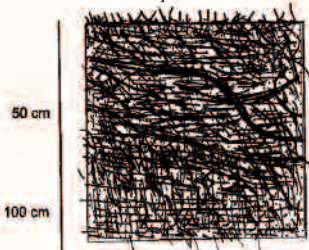
**H. recouverts** : > 60 cm, comportent un ou des niveaux terreux (de 10 à 40 cm) sur niveaux H épais, sur tourbe,

**H. flottants** : > 60 cm, comporte un niveau de radeau (Hf ou Hm) reposant sur un niveau d'eau libre apparaissant entre 40 et 120 cm, lui-même reposant sur des niveaux Mli et H.

#### DEUX EXEMPLES DE SOLS AU GRAND LEMPS (ISERE) :

Profil 1 : nord tourbière

Zone fauchée à roseaux à côté bosquets de saules



Profil 2 : radeau central

Cladiale monospécifique avec mousse



#### LA CAMPAGNE PEDOLOGIQUE

L'étude d'une tourbière doit être conduite avec des modalités variables selon les caractéristiques du site (diversité, épaisseur du massif tourbeux).

Dans les tourbières profondes, il convient d'organiser deux plans de sondages, l'un lâche pour les couches profondes et l'autre plus serré pour celles inférieures à 2 mètres.

Il est possible de dresser la liste des observations à réaliser pour chaque niveau de sol :

0. cortège végétal et topographie (butte, gouille...) à l'endroit du sondage.

1. couleur : varie du beige au noir, avec des reflets souvent rougeâtres, parfois violacés.

2. odeur : humus forestier, humus prairie, sans odeur, très odorant...

3. compacité : varie du " sans consistance ", mou, cohérent, au " compact ", voire " très compact ".

4. organisation des structures végétales : plutôt horizontale ou verticale, impression d'inorganisation, présence de grumeaux...

5. test Von Post (dégradation de la matière organique).

Il consiste à presser une poignée de tourbe dans sa main, et à analyser visuellement le résultat selon une grille de référence. L'indice varie de 1 à 10 et mesure la dégradation ; il est parfois impossible de réaliser ce test.

6. teneur en fibres : saprique (> 10%), mésique (entre 10 et 40%), fibrique (> 40%).

7. nature des fibres et des macrorestes : tiges, brindilles, racines ; il est possible de faire des hypothèses de composition : bois, éricacées, cypéracées, roseaux, sphaignes...

8. impression d'humidité et de température : sec, frais, peu humide, froid...

9. présence ou non d'une nappe d'eau : noter au fur et à mesure pour identifier les superpositions de nappes ; noter le niveau d'eau par rapport à la surface.

10. présence de matière minérale : granulométrie, forme, abondance...

Au laboratoire, plusieurs analyses peuvent apporter des informations complémentaires :

- taux de cendres après brûlage,
- taux de fibres (refus de tamis de 200 microns),
- teneur de la matière organique,
- indice pyrophosphate qui renseigne sur la " qualité " de la matière organique,
- teneur en eau, calculée à partir de la différence pondérale entre un échantillon brut et un échantillon séché,
- taux de saturation en eau estimée à partir de la teneur en eau et de la capacité totale de rétention de l'eau.

Les informations à tirer dépendent de la position dans le profil des échantillons examinés.

Les observations 1, 5, 6, 7, permettent de voir le matériel parental du sol et sa dégradation. Les points 2, 8, 9, indiquent l'état d'hydromorphie. Par exemple, la présence de H2S est révélateur d'un confinement. Les observations 3, 4, 10 montrent les relations entre les différents niveaux.



Sondage pédologique dans une tourbière

## DES CONSEQUENCES IMPORTANTES SUR LE FONCTIONNEMENT HYDRIQUE DES SOLS

Les propriétés physiques des niveaux de tourbes et l'ordre de leur superposition ont une influence majeure sur la circulation des eaux dans l'histosol, voire sur l'impact d'un drainage lorsque cette opération est entreprise.

L'eau est stockée dans les histosols dans différents pores. Les macropores sont les espaces entre fibres végétales ; ils sont les premiers à perdre leur eau et à se remplir après un dessèchement important. Les micropores sont situées dans le tissu végétal lui-même et entre les particules fines de matière organique et/ou minérale.

La tourbe est caractérisée par une capacité de rétention d'eau très élevée et une difficulté de restitution de l'eau retenue. Une tourbière " asséchée ", présentant une nappe à 2 mètres de la surface peut conserver un fort niveau d'humidité dans ses niveaux supérieurs. Cette particularité est liée à la nature de certaines tourbes et aux possibilités importantes de remontées capillaires. Elle permet à la végétation des tourbières de se maintenir même dans des situations d'humidité difficiles.

De façon générale, plus l'épaisseur du massif de tourbe est élevée, plus forte est sa résistance au stress hydrique.

Les réactions peuvent toutefois être très variées selon les sites. Dans certaines circonstances, l'existence de discontinuités verticales empêche les remontées capillaires, rendant les niveaux superficiels très sensibles aux variations des niveaux de nappe. Elles correspondent par exemple à des niveaux sableux ou perturbés historiquement par un drainage ancien...

Une méthode efficace de diagnostic de l'état hydrique d'un histosol consiste à mesurer le taux de saturation dans la couche superficielle du sol, en fin d'hiver.

Le taux d'humidité est calculé par différence de poids entre échantillon humide et poids après dessèchement. Un taux inférieur à 75 % traduit un assèchement excessif du milieu.

## LES PROFILS DES TOURBIERES, RESULTATS DE LEUR HISTOIRE

Chaque type de niveau de tourbe résulte d'une origine et d'une évolution spécifiques (composition floristique, développement...). La tourbe se transforme progressivement, en quelque sorte vieillit pour devenir " amorphe ", inactive chimiquement et biologiquement.

La structure verticale des tourbières peut être extrêmement variable, en fonction de l'histoire hydrologique, biogéochimique et écologique de chaque site. Certaines tourbières ont connu une grande stabilité, telle celle de Vesles et Caumont, tandis que d'autres ont eu des passés complexes.

Dans certains cas, le massif de tourbe est coupé par des niveaux non tourbeux (par exemple, sédiments apportés par les crues d'un cours d'eau voisin). A l'extrême, des tourbières évoluent vers un milieu terrestre (boisement avec sol forestier).

Dans tous les cas, l'étude de ces niveaux, associée à des analyses palynologiques, permet la reconstitution de l'histoire des paysages de la zone de la tourbière.



Histosol flottant (Grans Lempis, 38)

photo A. Laplace-Dolondé



Histosol saprique sur tourbe sableuse (logné, 44)

photo A. Laplace-Dolondé

## Limites et perspectives

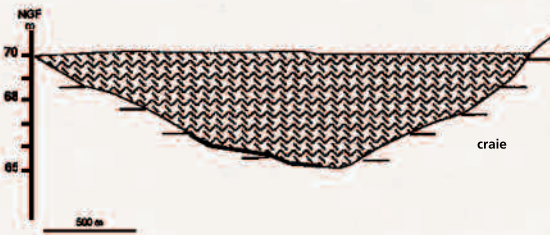
Les travaux conduits dans le cadre du PNRZH confirment la diversité des sols des zones humides dulçaquicoles. Ils montrent tout l'intérêt de s'intéresser à cet aspect, bien connu des agronomes mais trop souvent négligé par les spécialistes des milieux naturels.

L'approche pédologique peut constituer un élément important de l'identification des zones humides. Ainsi, elle a été intégrée au guide méthodologique pour l'inventaire des zones humides du bassin de la Vilaine, en bénéficiant des acquis du projet Tyfon. Dans les régions où les zones humides sont dispersées dans tout le territoire, et couvertes d'une végétation peu spécifique, la pédologie se révèle être une méthode efficace pour les inventorier et les caractériser. Dans l'objectif de prédire l'importance et la répartition des sols hydromorphes, les approches mathématiques et la modélisation à partir de la topographie fournissent des outils intéressants.

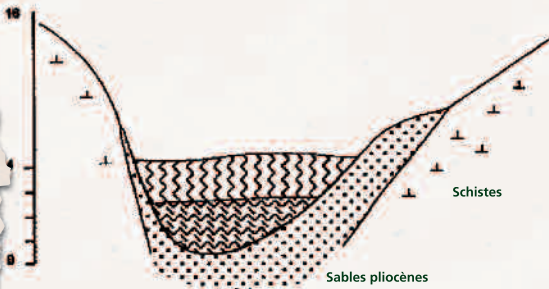
La connaissance des sols, information utile en matière de gestion, offre des opportunités pour identifier les secteurs des zones humides les plus efficaces vis-à-vis de certaines fonctions comme la dénitrification (cf. fiche 5). Enfin, elle permet l'évaluation de la résistance des zones humides aux perturbations du système hydraulique.

### COUPES TRANSVERSALES DANS DIFFERENTES TOURBIERES

Réserve naturelle de Vesles et Caumont  
(marais de la souche, Aisne)



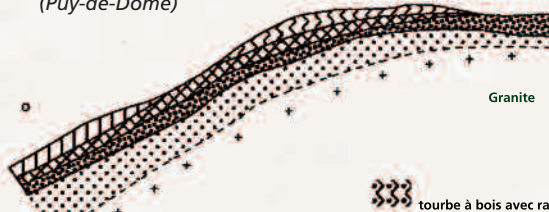
Tourbière de Logné (Loire Atlantique)



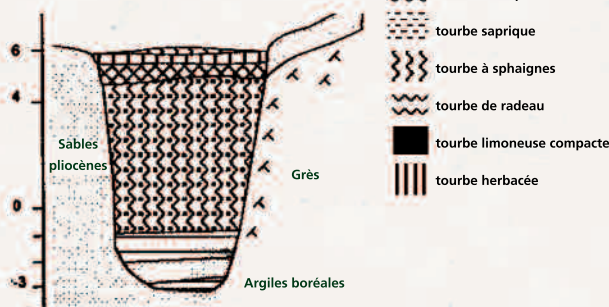
Etang du Grand Lemps (Isère)



Tourbière des Pradeaux, bassin versant nord  
(Puy-de-Dôme)



Tourbière de la Sangsurière  
(manche)



-  tourbe à bois avec racines
-  tourbe à rhizomes
-  tourbe mésique
-  tourbe saprique
-  tourbe à sphaignes
-  tourbe de radeau
-  tourbe limoneuse compacte
-  tourbe herbacée

### CONTACTS

#### TOURBIERES

Chef de projet :

Arlette Laplace-Dolonde,  
Laboratoire Rhodanien de Géographie  
de l'Environnement,  
Université Lyon II, UMR 5600,  
5, avenue Mendès France – 69676 Bron Cedex.  
Tel 04 78 77 31 06,  
Arlette.laplace-dolonde@univ-lyon2.fr

#### PETITES ZONES HUMIDES DE FOND DE VALLEE

Chef de projet :

Philippe Mérot, INRA,  
Unité mixte de Recherche INRA-ENSA.  
" Sol et Agronomie de Rennes-Quimper "  
65, rue de Saint-Brieuc, CS84215  
35042 Rennes cedex.  
Tel 02 23 48 54 22 (secrétariat 54 22),  
pmerot@rennes.inra.fr

Sciences du sol :

Pierre Curmi, INRA, USARQ,  
pierre.curmi@enesad.fr