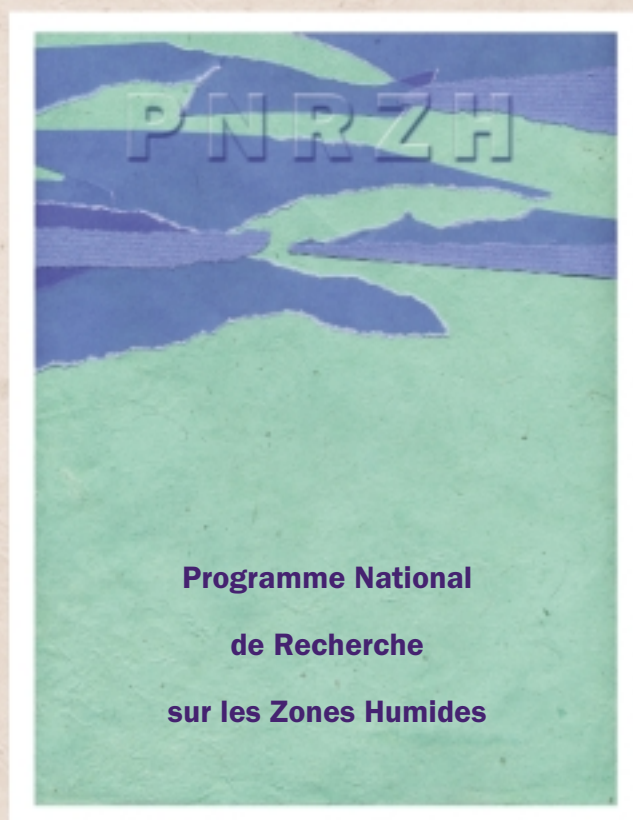




Caractérisation des zones humides

Le groupe de suivi

GENEVIÈVE BARNAUD

(Muséum National d'Histoire Naturelle,
Présidente du Conseil scientifique du PNRZH)

VÉRONIQUE BARRE

(Ministère de l'Ecologie
et du Développement Durable, DEEE,
responsable du PNRZH)

MARIE-FRANCOISE BAZERQUE

(Ministère de l'Ecologie
et du Développement Durable, DE)

LAURE CALLENS

(Forum des Marais atlantiques/Pôle relais Marais
littoraux atlantiques)

JEAN-CLAUDE FARDEAU

(Conseil scientifique du PNRZH)

PHILIPPE GOETGHEBEUR,

Agence de l'eau Rhin-Meuse

PATRICK GRILLAS

(Conseil scientifique PNRZH)

LAURENCE HUBERT-MOY

(Université de Rennes)

DOMINIQUE TESSEYRE

(Agence de l'eau Adour-Garonne)

ISABELLE VIAL

(Ministère de l'Ecologie
et du Développement Durable, DE)

PHILIPPE WENG

(BRGM, coordination du PNRZH)

MARIE-CLAUDE XIMENES

(Institut Français de l'Environnement)

La rédaction de ce cahier a été menée en liaison
étroite avec tous les chercheurs concernés :
validations des textes, fourniture d'illustrations,
mise à jour des connaissances.

La réalisation du cahier

Rédaction : JEAN-LOUIS MICHELOT,
Consultant en environnement

Mise en forme : BÉATRICE SAUREL

Les partenaires financiers du PNRZH

Agences de l'eau

Ministère de l'écologie et du développement durable

Ministère de l'agriculture, de l'alimentation,
de la pêche et de la ruralité

Ministère de l'Équipement, des transports,
du logement, du tourisme et de la mer.

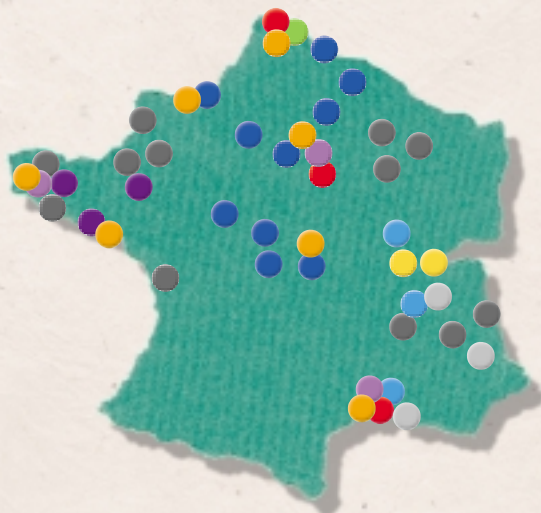
BRGM

Ce cahier est disponible auprès de VÉRONIQUE BARRE : veronique.barre@ecologie.gouv.fr
MEDD - D4E - SRP 20, avenue de Segur 75302 Paris 07SP

Caractérisation des zones humides

Introduction

p4



p 11

1- Les sols des zones humides

Un domaine fondamental et trop peu connu

p 18

2- Les renoncules

Indicateurs biologiques de l'hydromorphie des sols

p 21

3- L'avifaune

Un moyen de caractérisation des zones humides

p 26

4- Les mares

Inventaire et typologie

p 32

5- Typologie fonctionnelle

Application aux petites zones humides
de fond de vallée

p 37

6- Les anciens bras fluviaux

Une méthode de diagnostic fonctionnel

p 43

7- L'histoire des zones humides

Une clef pour comprendre le présent

p 49

8- la prospective

Une démarche pour aborder le futur
des zones humides

p 54

9- La télédétection

Des outils multiples pour mieux connaître
les zones humides

p 63

10- Les systèmes d'information géographiques

Structurer et valoriser des données
spatiales diversifiées



Glossaire

p68

Sources d'information

p70



Introduction

Le recensement et la caractérisation des zones humides recouvrent toute une série d'opérations qui s'inscrivent dans un contexte, scientifique, opérationnel et législatif (figure en fin de fiche). Leurs attendus peuvent susciter de vives controverses, compte tenu des enjeux économiques liés à l'identification de zones humides en propriétés privées dans certains pays. La nécessité de hiérarchiser les interventions de conservation ou de restauration oblige également à mieux connaître le "capital zones humides". De longue date, les naturalistes ont réalisé des inventaires, des descriptions plus ou moins exhaustives, des classifications et typologies, des délimitations et des cartographies... Ces activités avaient pour objectif central de cerner le patrimoine "zones humides" dans toute sa diversité, option accentuée au milieu du XX^e s. pour faire face à la destruction et dégradation accélérées des marais et marécages.

À l'heure de la mise en évidence des fonctions et valeurs des écosystèmes et de l'analyse des changements globaux, la connaissance de la ressource en milieux humides à différentes échelles spatiales, du régional au mondial, revient sur la scène scientifique. En effet, les possibilités d'affiner et de standardiser les inventaires, le choix des paramètres d'identification, des classifications, se révèlent être des étapes préalables aux comparaisons, donc aux extrapolations et aux généralisations des résultats obtenus sur des sites particuliers, et donc incontournables à tout avancement significatif des problématiques sur le rôle de ces écosystèmes. Par exemple, l'appréciation des fonctions (hydrologique, biogéochimique, biodiversité) des zones humides dans un bassin versant implique la connaissance de leur localisation, leur type de fonctionnement et leurs modes d'interactions avec leur environnement. Réciproquement, le retour d'intérêt de la communauté scientifique pour ces sujets contribue à un renouvellement des idées et méthodes, propice aux actions de conservation et de gestion, de plus en plus encadrées politiquement.

DÉFINIR ET CARACTÉRISER LES ZONES HUMIDES POUR APPLIQUER LES LOIS

Deux dispositifs législatifs français, comportant chacun une définition des zones humides, concernent le devenir de ces milieux. Plus récemment, la directive-cadre européenne sur l'eau, transposée en droit français par la loi 2004-338 du 21 avril 2004, prend également en compte les zones humides au travers du rôle qu'elles peuvent jouer pour l'atteinte du bon

état écologique des cours d'eau, des plans d'eau et des milieux littoraux. Dans ces contextes, les mesures de politiques générales ou réglementaires nécessitent de préciser dans un premier temps où se trouvent ces milieux et la manière de les caractériser.

La Convention de Ramsar, ratifiée par la France en 1986 [J.O. 26/02/87], comprend à son article 1, une définition d'ampleur mondiale et très large. "Les zones humides sont des étendues de marais, de fagnes, de tourbières ou d'eaux naturelles ou artificielles, permanentes ou temporaires, où l'eau est stagnante ou courante, douce, saumâtre ou salée, y compris des étendues d'eau marine dont la profondeur à marée basse n'excède pas six mètres". Cet énoncé sert à mettre en œuvre les divers engagements en faveur des zones humides (plan d'action nationaux, sites Ramsar, ...). Apparemment facile à utiliser, il pose certains problèmes notamment par l'inclusion, dans la classification, de types comme des récifs coralliens ou systèmes karstiques et autres systèmes hydrologiques souterrains.

La loi sur l'eau de 1992 a pour objet une gestion équilibrée de la ressource en eau en assurant la préservation des écosystèmes aquatiques et des zones humides. L'article 2 spécifie "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" [J.O. 04/01/92]. Mis à part les interventions prévues dans le cadre des SDAGE, il est à noter que des décrets de la nomenclature sur l'eau, en application de l'article 10, stipulent les conditions d'autorisation administrative pour les installations et activités susceptibles de présenter des dangers, entre autres pour la qualité ou la diversité du milieu aquatique, zones humides comprises. Il s'agit de l'assèchement, de la réalisation de réseaux de drainage, de la création d'étang et plan d'eau, du remblaiement (décret 99-736 modifiant les décrets 93-742 et 93-743, JO, 29/08/99). Pour traiter les demandes d'autorisation ou les litiges sur le terrain, les besoins en cartes et méthodes validées de caractérisation se font plus pressants.

La directive européenne 2000/60/CE du 23 octobre 2000 du Parlement et du Conseil établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau (DCE), transposée en droit français par la loi 2004-338 du 21 avril, ouvre d'autres perspectives. En effet, elle spécifie qu'il faut



" prévenir toute dégradation supplémentaire, préserver et améliorer l'état des écosystèmes aquatiques ainsi que, en ce qui concerne leurs besoins en eau, celui des écosystèmes terrestres et des zones humides ". Un document-guide européen sur les zones humides précise leur rôle notamment dans les plans de gestion et les programmes de mesures (actions, au sens de la DCE). Il indique que les zones humides offrent un panel d'actions important permettant de contribuer à la réalisation des objectifs environnementaux de la DCE. Leur multi-fonctionnalité est rappelée, ainsi que le fait qu'il y a tout intérêt à disposer de zones humides fonctionnelles présentant une bonne situation pour arriver à respecter les exigences de la DCE.

Le volet " zones humides ", de la loi du 24 février 2005, relative au développement des territoires ruraux propose un certain nombre de mesures :

- la précision de la définition " loi sur l'eau " des zones humides au travers de critères qui feront l'objet d'un décret et permettront de les délimiter pour l'application de la police de l'eau ;
- dans le cadre de programmes d'actions, la possibilité d'interdire certaines pratiques contraires (y compris pour l'occupation des sols) et d'encourager les interventions bénéfiques ;
- l'amélioration et la diversification de la maîtrise d'ouvrage ;
- l'exonération totale ou partielle de la taxe sur le foncier non bâti (TFNB) pour certaines zones humides, sous réserve d'un engagement de gestion qui leur soit favorable.

CARACTÉRISER LES MILIEUX POUR AIDER LEUR GESTION

Les marais et les marécages ont été parmi les tout premiers milieux à bénéficier d'opérations de gestion et de restauration dans un objectif de conservation. Aussi, les gestionnaires, dans un souci de plus grande efficacité, sont intéressés par les possibilités de transfert des résultats de travaux scientifiques, en particulier pour ce qui concerne les critères d'identification, les indicateurs de santé des populations, communautés et écosystèmes, les techniques cartographiques couplées aux bases de données. La mise à disposition de typologies adaptées signifie également un gain de temps grâce aux opportunités de transferts de méthodes d'ingénierie écologique. Quant aux protecteurs de la nature, ils souhaitent plutôt garantir la conservation des différents types de marais en tenant compte de leurs caractéristiques biogéographiques et recherchent des indices synthétiques pour évaluer leurs actions.

De nombreux partenaires sont donc directement concernés par ces questions d'inventaire et de caractérisation des zones humides. Si leurs objectifs immédiats diffèrent, sur le fond leurs préoccupations se recoupent. Les résultats obtenus sur ces différents axes de travail durant le PNRZH montrent que des contributions importantes, ou originales, ont été apportées sur la manière d'aborder avec plus de certitude les travaux visant à la connaissance des zones humides en vue de leur gestion conservatoire. Pendant le programme, un groupe thématique transversal intitulé "Approches spatiales", animé par François Cuq[†] puis Laurence Hubert-Moy, a fonctionné dans le but de faciliter les échanges entre équipes et de faire émerger des bases méthodologiques communes (voir références bibliographiques en fin de cahier). Il a facilité la synthèse des acquis dans ces domaines.

UNE GRANDE DIVERSITÉ DE ZONES HUMIDES

Des tourbières de haute montagne aux lagunes méditerranéennes, des marais de Guyane aux mares des cours de ferme, les zones humides traitées par les projets du PNRZH présentent une diversité considérable. Elles répondent toutes aux critères de la loi sur l'eau dont la définition met en exergue au moins quatre mots-clés illustrant la spécificité de ces milieux. Les trois premiers sont explicites, il s'agit de la référence à la présence d'eau (inondé), d'un sol (gorgé d'eau), d'une végétation (plantes hygrophiles), le quatrième étant quelque peu implicite. Il s'agit de la composante temps, tant en termes de durée que de fréquence, les trois caractéristiques précédentes étant variables, en un site donné, à des rythmes annuel ou pluriannuel, mais aussi journalier ou saisonnier. Quant à l'action potentielle de l'homme sur ces zones, elle se trouve également retenue dans la définition (terrain exploité ou non). C'est pourquoi tout diagnostic d'un site, et *a fortiori* toute décision concernant sa gestion, impose, au minimum, de caractériser des paramètres représentatifs de l'ensemble des mots-clés.

Les chercheurs du PNRZH se sont donc employés, aux moyens d'outils adéquats, à caractériser les propriétés, le fonctionnement et les fonctions, éventuellement antagonistes, des zones humides étudiées. La recherche puis la mise en évidence d'invariants dans quelques sites rendent alors possible la conception de typologies descriptives ou fonctionnelles pour des catégories de zones humides aux propriétés voisines. Pour certains milieux humides, par exemple les mares ou les tourbières, des définitions ont été proposées par les équipes de recherche afin de mettre en avant les singularités de leur objet d'étude.

UN ACCÈS À DES OUTILS EFFICACES POUR COLLECTER ET ANALYSER DE MULTIPLES DONNÉES

Pour les zones humides, comme pour tout autre écosystème, il importe d'abord de capter de l'information, puis de la traiter. Les chercheurs ont dû adapter des méthodes générales au cas des zones humides dont les propriétés varient fréquemment en un site donné, ce qui oblige à établir des chroniques pour chaque caractère analysé. Ils ont utilisé les outils d'observation classiques déjà connus, mais aussi de plus performants, comme la télédétection. Ils ont su faire évoluer des méthodes de traitements des données collectées, modifier des indicateurs biologiques et/ou physiques d'usage assez courant, mais surtout exploiter les potentialités des systèmes d'information géographique (SIG). La télédétection regroupe de nombreux outils en constante évolution. Les travaux du PNRZH ont illustré l'intérêt de l'utilisation de certaines techniques (imagerie multispectrale ou hyperspectrale, données thermiques ou radars...), à de nombreux stades des études : inventaires, délimitation, caractérisation... Ils ont aussi rappelé toute la complexité de ces méthodes relativement nouvelles, dont l'interprétation doit toujours être validée avec une " vérité terrain ". Différents indicateurs ont été mis au point pour caractériser l'état et/ou le fonctionnement des zones humides. Ils peuvent reposer sur la seule présence de certaines espèces caractéristiques (renoncles des prairies humides) ou comprendre des traitements plus complexes des communautés vivantes (oiseaux, végétation des bras fluviaux). L'utilisation d'espèces comme indicateurs est souvent judicieuse, mais mérite des précautions. En effet, si la présence d'espèces indicatrices, et surtout de groupes d'espèces, peut être significative, aucune conclusion ne peut être tirée de leur absence. Les indicateurs sont généralement conçus dans une situation géographique précise ; leur utilisation dans d'autres contextes impose, au minimum, une validation préalable de leur pertinence.

Les Systèmes d'Information Géographique sont les outils de stockage, d'organisation puis de traitements des données. Il importe de les construire de manière à faciliter le croisement des informations. Ils s'avèrent alors très utiles à l'inventaire puis à la délimitation des zones humides, au suivi de l'évolution spatio-temporelle des sites et enfin à la mise en œuvre d'outils d'aide à la décision.

INVENTAIRE ET DESCRIPTION DES ZONES HUMIDES

Les mares ont longtemps été négligées des scientifiques et des gestionnaires bien que leur nombre et leurs fonctions (écologiques, paysagères, agricoles, ...) en fassent dans certaines régions des sites importants. Leur petite taille et leur dissémination dans le paysage rendent difficile leur inventaire exhaustif. Après avoir testé plusieurs méthodes d'examen des milieux, les chercheurs du PNRZH ont établi une méthode d'inventaire fondée sur l'analyse cartographique, mais aussi sur la prospection systématique du terrain dans certains contextes (bocagers, forestiers). Cette approche a été complétée par la construction d'une typologie des mares à pratiquer en deux étapes. Durant la première phase, la mare est décrite par rapport à son environnement géographique et son rôle sociétal. Au cours de la seconde phase, elle se trouve intégrée dans une typologie patrimoniale plus utile aux acteurs, les types étant déterminés par les enjeux de gestion qu'ils représentent.

Des travaux sur les sols tourbeux ont permis de mieux comprendre la répartition des horizons pédologiques et donc certaines de leurs propriétés. Ils apportent une aide à l'étude de ce compartiment des écosystèmes et favorisent la compréhension de son fonctionnement hydrologique.

LA CARACTÉRISATION COMME AIDE AU DIAGNOSTIC

À côté des démarches hydrologiques présentées dans le premier cahier du PNRZH, portant sur les zones humides et l'eau, certains chercheurs se sont employés, par l'utilisation d'indicateurs biologiques, à différencier ces milieux :

- une technique d'identification du degré d'hydromorphie de prairies humides, basée sur la reconnaissance de deux espèces de renoncles, est d'ores et déjà utilisée dans de nombreux inventaires ;
- une méthode de diagnostic fonctionnel des anciens bras fluviaux a été développée. Des analyses des communautés végétales permettent de déterminer, dans ces milieux, la trophie et l'importance des perturbations dues aux crues. Ce diagnostic sert à estimer la pérennité des bras et leur potentialité de restauration ;
- une méthode d'évaluation des sites à partir des données sur leur avifaune a été proposée. L'intérêt des peuplements



d'oiseaux est jugé en regard du statut régional des espèces présentes, et analysé sur le plan de leur évolution, de leur répartition et de leurs effectifs.

VERS UNE TYPOLOGIE FONCTIONNELLE GÉNÉRALISABLE

La démarche de classification, appliquée dans de nombreux domaines, consiste à mettre en évidence des invariants dans certaines situations qui autorisent les regroupements en catégories ou types. En principe, la conception d'une typologie est fortement influencée par l'objectif visé. La multitude des systèmes existants pour les zones humides, de précision inégale, de nature descriptive ou fonctionnelle, n'est donc guère surprenante. Parmi les plus généraux utilisés en France, citons la typologie des SDAGE, la nomenclature CORINE Biotope, la classification de Ramsar. Les fonctions des zones humides sont, on le rappelle, nombreuses. Entre autres, on peut citer, sans que cette liste soit exhaustive, celles qui influencent l'hydrologie en assurant la rétention ou la restitution d'eau, la biogéochimie à l'origine de l'épuration de l'eau ou la biodiversité par la fourniture d'habitats à la flore et à la faune. On admet aussi l'existence de valeurs par le biais d'activités sociétales très diverses comme l'extraction de sources d'énergie, les productions piscicoles ou céréalières, et désormais l'éducation aux principes écologiques et d'éco-loisirs. À la différence d'infrastructures artificielles, les zones humides sont pluri-fonctionnelles, c'est-à-dire aptes à remplir simultanément plusieurs rôles (épuration, rétention d'eau, avifaune, etc.). Pour autant, elles ne permettent pas l'expression de toutes les fonctions car certaines sont antagonistes. Par exemple, une capacité importante vis-à-vis de la sédimentation s'oppose aux possibilités de décharge et recharge des nappes ou de fourniture d'un habitat optimal pour certaines espèces de poissons. Lorsque l'on dispose des outils appropriés pour mesurer les fonctions, il est alors intéressant de les analyser pour extraire les traits dominants permettant d'établir une ou des typologie(s) particulière(s). L'idéal consistant à concevoir des systèmes emboîtés qui s'intègrent facilement à une typologie fonctionnelle générale.

L'examen des **petites zones humides** de fond de vallée du Massif Armoricaïn a abouti à la séparation de 3 catégories d'état de zone humide, importants quant à leur devenir.

La zone humide effective se rapporte aux surfaces couvertes d'une végétation hygrophile ou montrant toute autre caractéristique indéniable de l'existence d'une humidité significative. La zone humide potentielle est l'enveloppe des espaces, plus ou moins aménagés, où l'hydromorphie du sol permettrait le retour d'une végétation hygrophile, une fois son hydrologie réhabilitée. La zone humide efficace correspond à la zone assurant une fonction donnée.

Cette distinction constitue une base de réflexion intéressante valable pour tous les types de zones humides. Elle fournit également des guides pour définir des priorités en matière de conservation, voire de restauration des sites, dès lors que les fonctions à développer, entretenir, réduire ou supprimer sont précisées.

UN IMPÉRATIF : REPLACER LES ZONES HUMIDES DANS LEUR CONTEXTE SPATIO-TEMPOREL

Les travaux du PNRZH ont montré qu'il était indispensable d'étudier toute zone humide avec une impotante perspective spatiale et temporelle.

LE CONTEXTE SPATIAL

Il s'agit naturellement de tenir compte des circulations d'eau et de matières (bassin-versant, " espace de fonctionnalité "), largement présentées dans le cahier " eau " du PNRZH. Il faut également s'intéresser à l'occupation des sols autour de la zone humide, aspect fondamental, par exemple dans le cas des mares ou des fonds de vallées. Pour aborder la gestion d'une zone humide, comme l'indiquent les démarches de prospective, il ne suffit pas de s'intéresser à l' " **espace de problème** " qu'elle représente, mais il faut surtout s'interroger sur, et décrire avec précision, les " **espaces de solutions** " où résident les facteurs déterminants localement, depuis les orientations de la Politique Agricole Commune en Europe jusqu'au siège de l'exploitation agricole.

LE CONTEXTE TEMPOREL

Au cours des siècles, les zones humides ont connu, et connaîtront encore, des changements considérables, liés tant à des facteurs naturels qu'aux actions de l'homme sur les milieux. L'analyse du passé montre que les caractéristiques des zones humides que nous connaissons aujourd'hui résultent pour beaucoup des effets d'activités humaines.

Les espaces hydromorphes ont été modifiés pour permettre des usages tels l'exploitation du sel, la pêche, l'agriculture, la défense militaire, Dans bien des cas, la recherche d'une rentabilité immédiate maximale des terres et/ou l'évolution des techniques et des pratiques ont entraîné la disparition pure et simple de la végétation naturelle. La régression des prairies naturelles dans la vallée de la Seine, tendance maintenue malgré la mise en place des Contrats Territoriaux d'Exploitation puis des contrats d'Agriculture Durable conçus pour aider les agriculteurs en situation agricole peu productive, illustre ce constat.

Dans quelques cas, les fonctions des zones humides sont progressivement reconnues et valorisées. Leur appropriation par les sociétés locales fait que l'on passe de " l'artificialisation de la nature " à " la naturalisation de l'artifice " (concepts proposés à propos de la restauration écologique des zones humides créées par affaissement de cavités minières dans le nord de la France). Le diagnostic pertinent d'une zone humide, en vue d'une gestion raisonnée, passe donc par la compréhension de son histoire.

S'il est essentiel de rechercher dans le passé l'explication des situations actuelles, il est tout indispensable de se projeter dans l'avenir pour imaginer les futurs possibles des sites. Cette approche prospective, encore peu développée, peut aider les gestionnaires à fonder leurs choix sur une conscience des dynamiques en cours.

PERSPECTIVES : ENCORE DE FORTS BESOINS D'AMÉLIORATION DES MÉTHODES

Les zones humides sont des espaces changeants, ce qui rend leur analyse complexe et les choix de gestion délicats. Les options de protection et de gestion doivent résulter de diagnostics pertinents, intégrant le fonctionnement des habitats et l'appréciation de la valeur fonctionnelle des sites. Le recours aux typologies permet de mieux comprendre les sites et de faciliter les comparaisons ; les indicateurs constituent des outils pour la caractérisation, mais aussi pour le suivi et la nécessaire évaluation des actions entreprises.

Si les travaux du PNRZH ont apporté des éclairages dans ces domaines, l'acquisition de connaissances n'en est pas pour autant arrêtée et mérite, sur certains thèmes, d'être amplifiée dans différentes directions. Les sujets à approfondir restent nombreux, citons par exemple :

- les définitions des zones humides et de leurs différents types demandent à être précisées, à l'aide de critères les plus

objectifs possibles. Cette clarification faciliterait par exemple l'application de la loi sur l'eau et la consolidation des inventaires régionaux. Pour autant, il n'est ni vraiment possible ni même souhaitable de chercher à créer des définitions supplémentaires, qui se superposeraient d'ailleurs avec les définitions officielles qui existent aujourd'hui. En réalité, il est nécessaire de bien définir les objectifs que l'on souhaite atteindre (inventaire, recherche scientifique, conservation...), et de formuler des définitions adaptées à ces objectifs ;

- les indicateurs de caractérisation des zones humides (indicateur d'état, d'intégrité, d'évolution...) méritent d'être multipliés et validés pour constituer des outils applicables aux différents types de zones humides ;

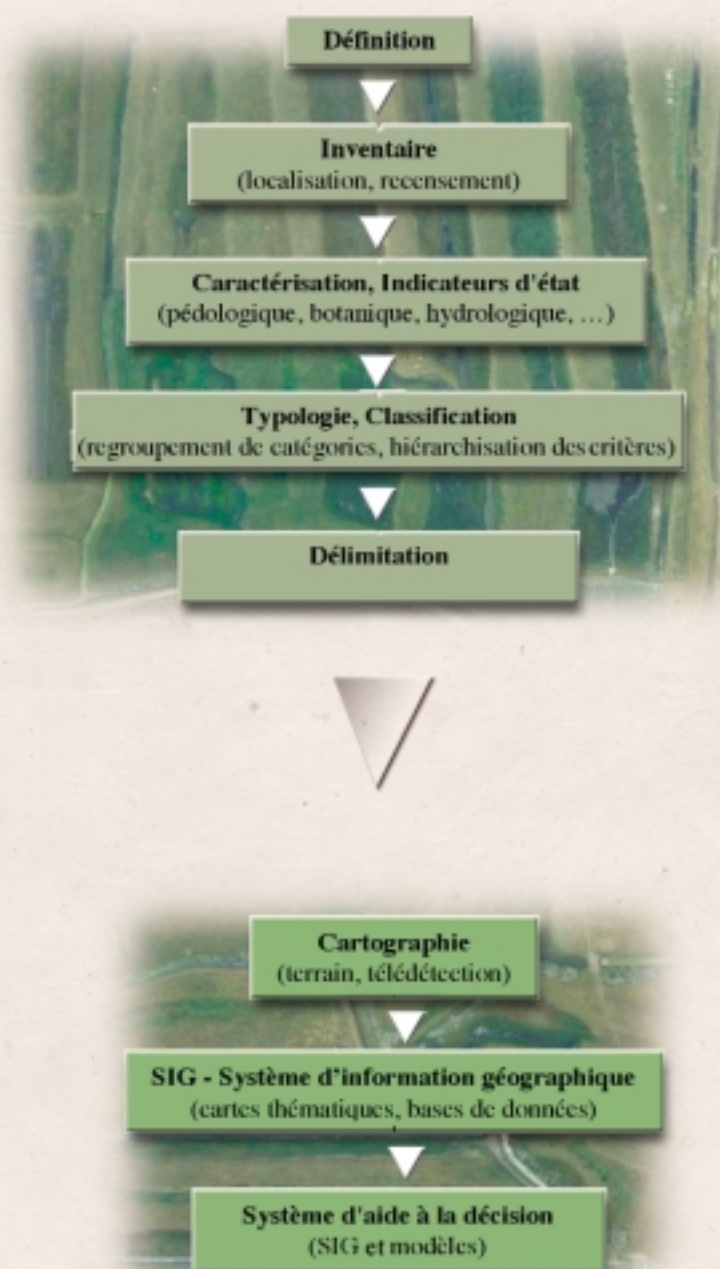
- la mise en œuvre des innovations technologiques de la télédétection et des Systèmes d'Information Géographique doit faire l'objet d'expérimentations, de façon à offrir aux praticiens des outils performants, accessibles et adaptés aux problématiques propres aux zones humides.

Une gestion durable et efficace des zones humides implique une professionnalisation et une rationalisation des approches, nécessitant le recours à des méthodes rigoureuses et validées scientifiquement. Pour autant, la diversité des zones humides et des facteurs qui les influencent exige une grande souplesse dans le choix des méthodes d'étude, nécessairement éloignée d'une normalisation absolue.

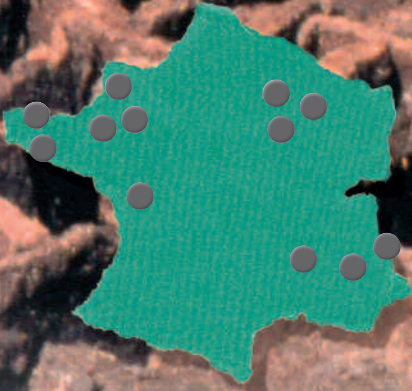
Geneviève Barnaud,
présidente du conseil scientifique du PNRZH

Marie Claude Ximénès,
responsable de l'observatoire national des zones humides

**SCHÉMATISATION DE L'ENCHAÎNEMENT
DES PRINCIPALES ÉTAPES CONDUISANT DE LA DÉFINITION À LA GESTION
INTÉGRÉE DES INFORMATIONS
SUR LES ZONES HUMIDES.**



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 :

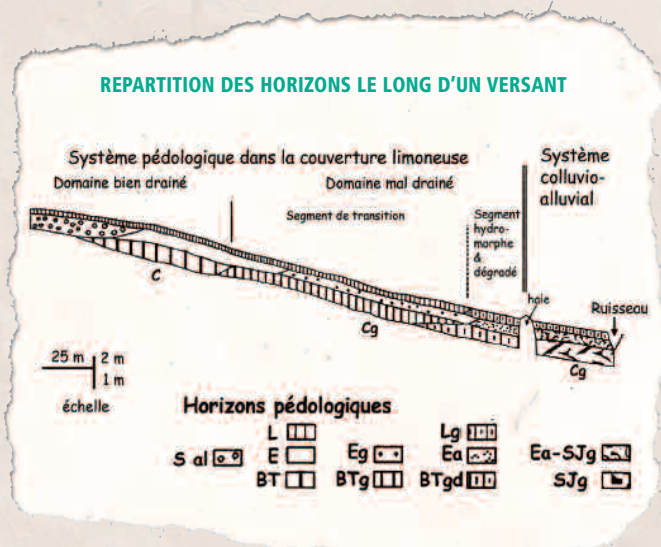
- des luvisols caractérisés par un lessivage modéré de l'argile qui conduit à la différenciation verticale d'un horizon organo-minéral labouré (L), d'un horizon éluvial (E) lessivé en argile, d'un horizon illuvial (BT) enrichi en argile et d'un horizon d'altération du substrat (C) ;
- des alocrisols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



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.

Les sols des tourbières

LES SOLS LES PLUS ORGANIQUES DE LA PLANETE

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 %.



photo A. Laplace-Dolonde

Echantillon d'histosol fibrique herbacé (Sangsurière, 50)

UNE TYPOLOGIE BASEE 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 sphaignes : 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.

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

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,

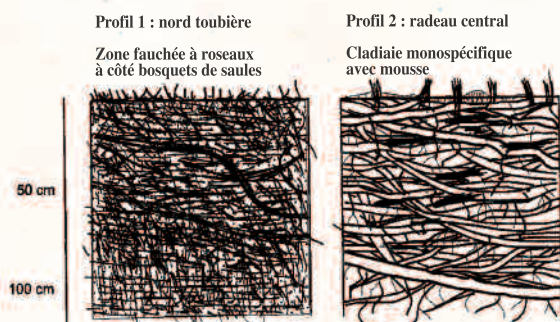
H. sapriques : > 60 cm, niveaux Hs prédominants (entre 40 et 120 cm) sur tourbe,

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) :



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-Dolonde

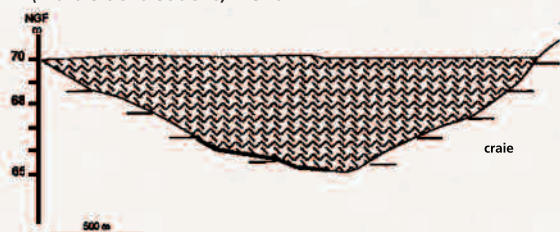


Histosol saprique sur tourbe sableuse (logné, 44)

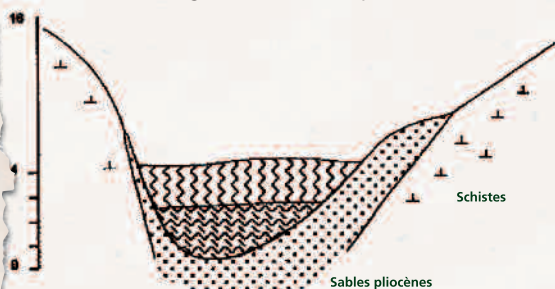
photo A. Laplace-Dolonde

COUPES TRANSVERSALES DANS DIFFERENTES TOURBIERES

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



Tourbière de Ligné (Loire Atlantique)



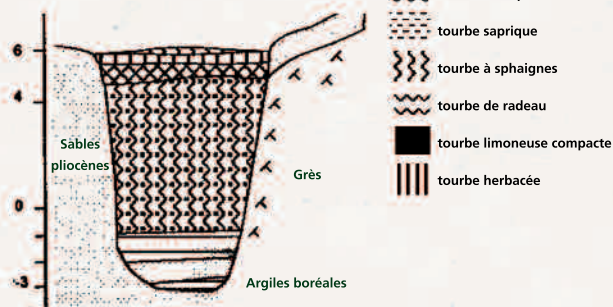
Etang du Grand Lemps (Isère)



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

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.

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

2- Les renoncules

indicateurs biologiques de l'hydromorphie des sols

Problématique

Préserver et gérer les zones humides implique de les identifier et de les délimiter. Ce travail peut être lourd et complexe : analyse des sols, étude fine de la végétation. Il s'avère nécessaire de disposer de méthodes plus légères, mobilisables tout au long de l'année et utilisables par des personnes non expertes. Le PNRZH a permis la conception d'un outil fondé sur des indicateurs végétaux reflétant le fonctionnement écologique des prairies alluviales.

Présentation des quatre espèces utilisées

Le projet de recherche sur l'espace fluvial ligérien a inclus une identification des unités écologiques fonctionnelles. Ce travail pluridisciplinaire (phyto-écologie, géomorphologie, télédétection) intéressait trois sites diversifiés : Bec d'Allier – Marzy, Îles de Soulangy et Dornant.

Les travaux en phytoécologie, portant sur les relations entre le sol et la végétation ont été consolidés grâce à des recherches réalisées en dehors du PNRZH, dans d'autres systèmes prairiaux liés à des cours d'eau.

Quatre renoncules communes et indicatrices

Grâce à ces travaux de phytoécologie, des groupes d'espèces indicatrices du gradient hydrique des sols ont été identifiés. En effet, les renoncules flammette (*Ranunculus flammula*), rampante (*Ranunculus repens*), âcre (*Ranunculus acris*) et bulbeuse (*Ranunculus bulbosus*) montrent des distributions préférentielles

prairie alluviale (photo F. Chambaud)

vis-à-vis de l'intensité de l'engorgement des sols.

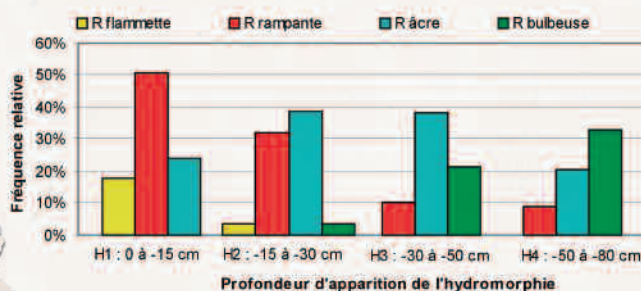
Un travail approfondi, ciblé spécifiquement sur la distribution de ces quatre espèces et leur présence dans les prairies, conduit à la proposition d'un outil de diagnostic validé statistiquement.

La valeur indicatrice de ces espèces a été établie sur l'analyse de plus de 300 relevés phyto-écologiques des prairies alluviales, avec des :

- relevés phytosociologiques ;
- profils pédologiques (bêche et tarière jusqu'à -1m) : texture de surface et de profondeur, pH en surface, trace d'hydromorphie et profondeur d'apparition, présence ou non d'horizon hydromorphe...

Ces données traitées statistiquement, montrent que la présence de ces renoncules et leurs profils écologiques sont significativement liés à l'intensité de l'hydromorphie des sols.

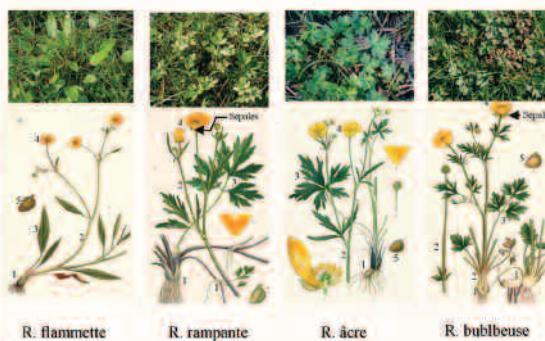
DISTRIBUTION DES QUATRE ESPECES EN FONCTION DE LA PROFONDEUR D'APPARITION DES PHENOMENES D'HYDROMORPHIE



Ces espèces indicatrices sont communes et identifiables toute l'année aussi bien au stade végétatif qu'en floraison (voir tableau).

PRESENTATION DES QUATRE ESPECES UTILISEES

Critères de diagnostic	R. flammette	R. rampante	R. âcre	R. bulbeuse
Souche (1)	Courte avec stolons enracinés aux nœuds		Courte	Epaisse et bulbeuse
Tige (2)	Lisse	Duveteuse		Renflée à la base
Port	Rampant		Dressé	
Feuilles (3)	Oblongues légèrement dentées	Divisées en 3 lobes dentés pétioles	Divisées en 3 à 7 lobes plus ou moins étroits	Divisées 3 lobes dentés, le lobe central pétiole
Fleurs (4)	Seules, jaune, 7 à 20 mm. Floraison mai à septembre	En grappes lâches, jaune, 2 à 3 cm. Sépales érigés contre les pétales. Floraison mai à septembre	Jaune, 1,5 à 2,5 cm, sépales érigés contre les pétales. Floraison avril à septembre	Jaune, 2 à 3 cm, pédoncule florale sillonné. Sépales tombant, appliqués contre le pédoncule floral. Floraison mars à juillet
Fruit (5)	Disposé en tête globuleuse, bec très court	Glabre, aplati, muni d'un bec grêle courbé	En tête arrondie, à bec très nettement courbé	Glabre, comprimé avec marge carénée, sillonné et bec court



Mise en oeuvre du diagnostic

D'application simple, cette méthode consiste à noter la présence, dans la prairie considérée, d'une ou plusieurs espèces de renoncules. L'absence des renoncules n'autorise pas à statuer sur le degré d'hydromorphie des sols ; ce constat est commun à la plupart des méthodes basées sur le concept d'espèce diagnostic.

Les espèces présentes permettent immédiatement de réaliser un diagnostic de la prairie en termes de niveau d'hydromorphie des sols (voir tableau ci-dessous).

Les parcelles exploitées par le pâturage ou la fauche correspondent le plus souvent à des espaces hétérogènes (par exemple, vallon juxtaposant des prairies mésophiles sur les versants et des prairies hygrophiles dans le talweg). L'outil renoncule concourt à pister et délimiter la variabilité du degré d'hydromorphie des sols, à opérer des zonages opérationnels statuant sur la présence ou non de zones humides.

Limites et perspectives

Depuis 2000, l'outil a été utilisé dans d'autres régions (Alsace-Lorraine, Auvergne, Centre, Champagne-Ardenne, Nord-Pas de Calais, Rhône-Alpes) et sur des prairies non alluviales où le diagnostic reste opérationnel. D'autres renoncules montrent une écologie dépendante de l'eau. Elles n'ont, cependant, pas été retenues soit en raison de leur rareté ou de leur confinement géographique (*Ranunculus paludosus*, *Ranunculus monspeliacus*, *Ranunculus sardous* par exemple), soit parce que l'indication fournie est triviale (renoncules aquatiques).

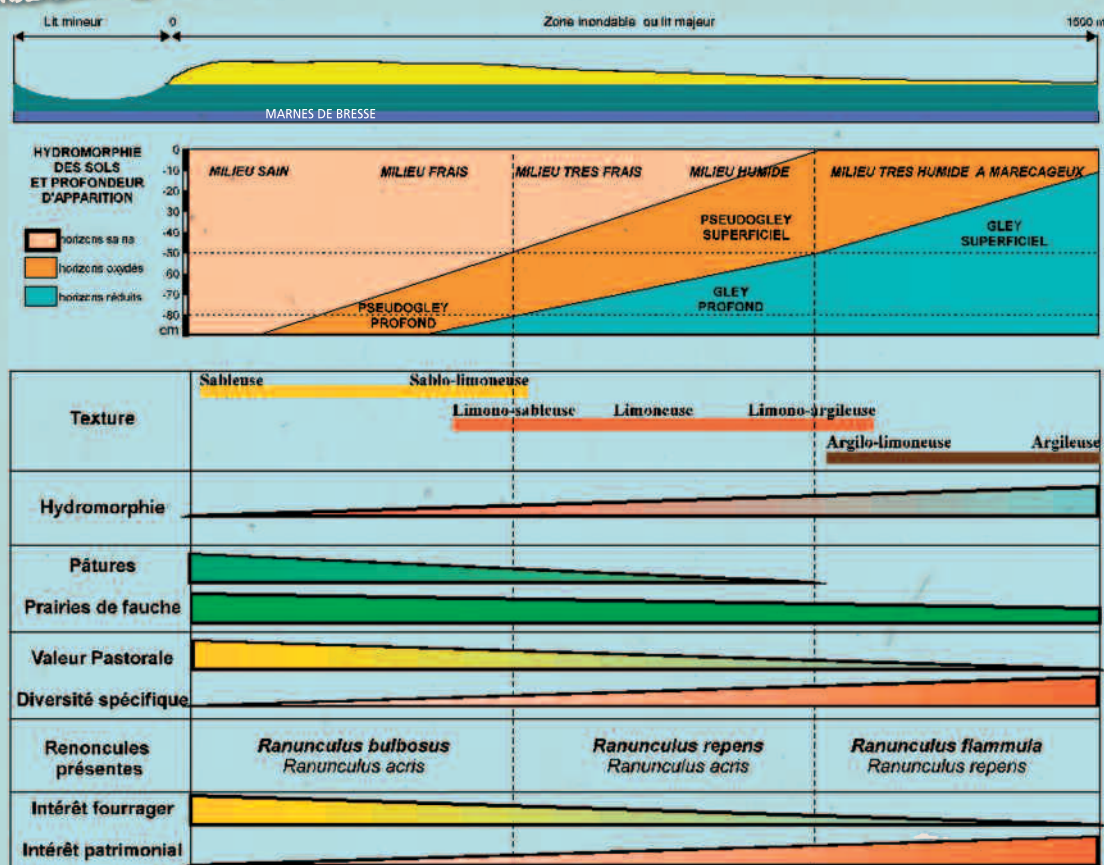
Cette méthode de diagnostic est particulièrement intéressante par sa simplicité et son efficacité. Elle est intégrée au guide pratique pour la mise en place des mesures agro-environnementales en Val de Saône.

Un travail spécifique sur les prairies du val de Saône bourguignon, mené dans la continuité du PNRZH, montre que le sol influe sur la variabilité de la valeur fourragère et de la biodiversité. La texture et l'hydromorphie des sols

ESPECES PRESENTES	TACHES DE ROUILLE	TACHES ROUILLE GLEY OU PSEUDOGLEY	MILIEUX	FLORE	BILAN
Renoncule flammette		entre 0 et -15 cm	marécageux	hygrophile	zone humide
Renoncule flammette Renoncule rampante	dès la surface	entre -15 et -30 cm	humide	mésohygrophile	
Renoncule rampante Renoncule âcre	entre -15 et -30 cm	entre -30 et -50 cm	très frais	hygrocline	
Renoncule âcre Renoncule bulbeuse	absente ou présente entre -15 et -50 cm	absente au delà de -50 cm	frais	mésophile	zone non humide
Renoncule bulbeuse	absente	absente	sec très sec	mésoxérophile xérophile	

Diagnostic du degré d'hydromorphie des sols et des zones humides à l'aide de la présence de quelques renoncules prairiales.

TABLEAU DE SYNTHESE



conditionnent largement la biodiversité des prairies et les pratiques agricoles (pâturage, fauche). Les renoncules prairiales peuvent permettre le diagnostic de l'hydromorphie des sols et contribuent à l'identification d'enjeux patrimoniaux et fourragers (voir tableau ci-dessus).

L'intérêt de cette méthode ne doit pas en masquer les limites :

- seule la présence des espèces indicatrices est interprétable. Dans ces conditions, il serait souhaitable d'augmenter le nombre d'espèces pour lesquelles on dispose d'une valeur indicatrice ;
- la valeur indicatrice des espèces est régionale ; elle devrait être estimée dans une région donnée avant utilisation. Dans le cas des renoncules, la méthode ne peut être appliquée en zone méditerranéenne, par exemple.

Il serait donc particulièrement utile que ce type d'approche se développe, de façon à définir des indicateurs adaptés à différents types de zones humides et de contextes biogéographiques.

CONTACTS

RESPONSABLE DE CETTE RECHERCHE

au sein du projet Loire :

François Chambaud,

Conseil Aménagement Espace Ingénierie,
université de Bourgogne, 6, bd Gabriel,
321000 Dijon,

tel 03 80 39, 62, 49,

chambaud@u-bourgogne.fr

Il est à noter que cette équipe a réalisé différentes publications susceptibles d'être communiquées sur demande.

3- L'Avifaune



Un moyen de caractérisation des zones humides

Canards colverts
(photo B. Saurel)

Problématique

Les zones humides possèdent souvent une avifaune remarquable, marquée par la présence d'espèces rares. Elles sont généralement l'objet d'une attention soutenue de la part des ornithologues amateurs ou professionnels.

Il s'avère intéressant de quantifier cette valeur et de l'utiliser en matière de caractérisation des zones humides.

Présentation de la recherche

Les vallées de la Scarpe et de l'Escaut possèdent de nombreuses zones humides, créées à la suite d'affaissements miniers. Ces sites ont fait l'objet de nombreuses recherches dans le cadre du PNRZH. Leur fonctionnement hydrologique a été décrit dans le cahier "eau" du programme.

Dans ce cadre, les chercheurs ont cherché à caractériser trois zones humides à partir de leur avifaune :

- marais de Condé-sur-Escaut / Saint-Aybert / Thivencelle (1150 ha) ;
- marais de Harhies - Hensies - Pommeroeul en Belgique (450 ha) ;
- mare à Goriaux (170 ha).

Les oiseaux, des indicateurs intéressants

Les oiseaux présentent de nombreux intérêts en tant qu'indicateurs de l'état et de l'évolution d'un milieu.

LEUR ETUDE EST FACILITEE PAR :

- une observation aisée ;
- une bonne connaissance des espèces ;
- un nombre modéré d'espèces ;
- l'existence de données collectées bénévolement par les naturalistes.

LA QUALITE ET LA QUANTITE D'INFORMATIONS FOURNIES, SONT BONNES EN RAISON DE :

- l'utilisation de l'ensemble du paysage ;
- la grande diversité de stratégie entre les espèces ;
- la réaction rapide aux changements environnementaux (mobilité).

Différentes approches

Différents descripteurs ont été testés pour évaluer l'intérêt écologique des trois sites d'étude.

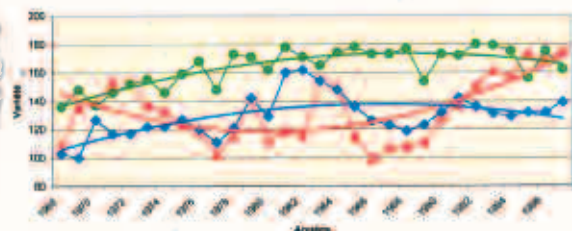
LA VARIETE

Le nombre d'espèces observées chaque année constitue un descripteur simple qui permet d'évaluer l'intérêt des sites et leur évolution. Cette analyse est effectuée pour l'avifaune totale ou seulement pour les espèces nicheuses.

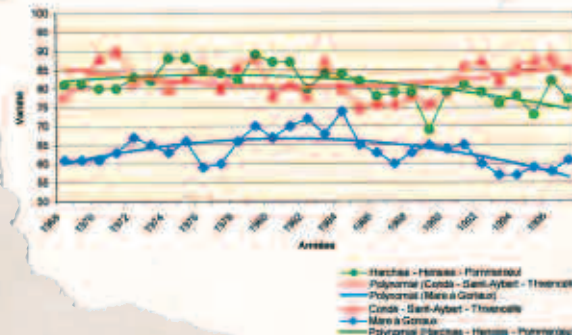
Ces descripteurs servent à caractériser les sites et leurs

21

AVIFAUNE TOTALE DES TROIS ZONES HUMIDES



AVIFAUNE NICHEUSE DES TROIS ZONES HUMIDES



évolutions. Ainsi, on constate que la Mare à Goriaux présente une diversité totale assez proche des autres sites, mais beaucoup plus basse en ce qui concerne les oiseaux nicheurs ; elle est en quelque sorte plus intéressante pour les oiseaux migrateurs que pour les espèces reproductrices.

Ces descripteurs sont utiles, mais leurs interprétations restent limitées, en particulier parce que toutes les espèces sont considérées de la même façon, quels que soient leur statut et leurs caractéristiques écologiques.

LES EFFECTIFS

Le nombre d'individus de chaque espèce sur un site apporterait une information intéressante, mais il n'est généralement pas connu. Le calcul d'indices intégrant cette donnée (indice de diversité de Shannon et Weaver, indice de régularité de Piélou, indice de dominance de Simpson...) reste donc peu fréquent.

Certaines espèces, en particulier des oiseaux d'eau, font l'objet de dénombrements réguliers propices à une analyse fine.

L'EVOLUTION DES CORTEGES AVIFAUNISTIQUES

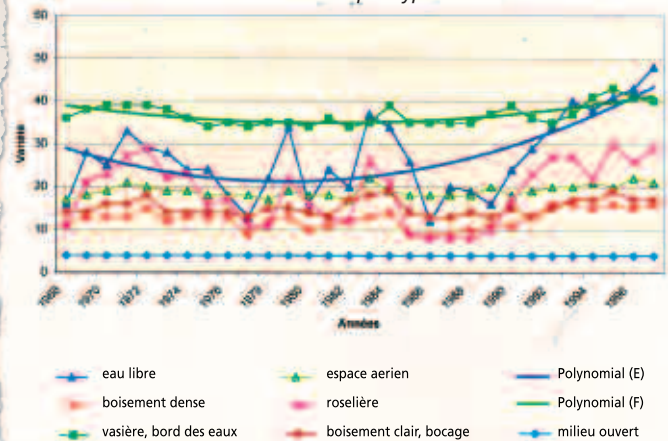
Cette thématique a été abordée de deux façons. La variété cumulée a été étudiée ; il s'agit d'identifier et d'interpréter les irrégularités dans les courbes, pouvant correspondre à de brusques modifications du milieu, mais aussi à des événements climatiques (vagues de froid faisant apparaître des espèces nordiques).

LES CORTEGES DES HABITATS

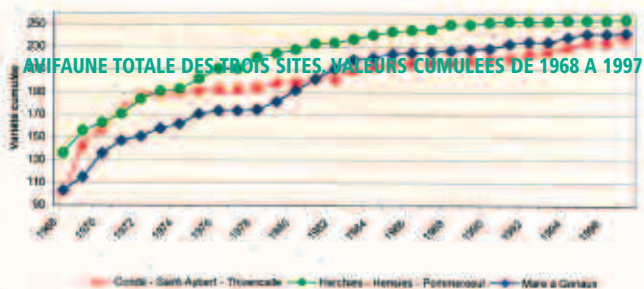
Chaque espèce a été rattachée à un habitat, en fonction de son occupation locale. Les cortèges ont pu être analysés dans l'espace et dans le temps.

AVIFAUNE TOTALE DE CONDE SUR ESCAUT, SAINTE AYBERT, THIVENCELLE.

Evolution de la variété par type d'habitat



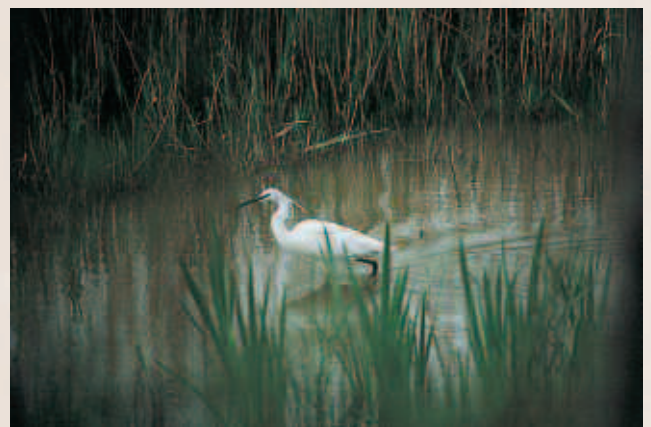
22



Par ailleurs, l'étude qualitative des disparitions d'espèces a été menée selon un pas de temps de cinq ans. La comparaison des listes a montré que ces absences résultaient principalement de la modification des habitats, et secondairement de la dynamique globale des espèces.



Le Troglodyte mignon, un oiseau des boisements



L'Aigrette garzette espèces du bord des eaux

L'indice de valeur patrimoniale ornithologique

Il a semblé utile de disposer d'un indice plus performant, prenant en compte le statut des espèces présentes. L'intérêt patrimonial d'un peuplement d'oiseaux nicheurs est estimé à partir de celui des espèces qui le composent. Cet intérêt est évalué sous la forme d'un indice, calculé pour chaque espèce sur une entité géographique définie, dans ce cas à l'échelle régionale (atlas des oiseaux nicheurs du Nord Pas-de-Calais 1976 et 1995).

Cette démarche pourrait être menée à une autre échelle, à condition de disposer des données nécessaires.

L'indice régional de chaque espèce est basé sur trois composantes :

- l'évolution temporelle des espèces nicheuses entre deux dates T1 et T2 dans la région : "composante tendance" (T) ;
- la distribution spatiale des effectifs nicheurs dans la région à la date T2 : "composante distribution" (D) ;
- la pondération par le nombre total de couples nicheurs au temps T2 dans la région : "composante effectifs" (N).

COMPOSANTE TENDANCE (T)

La tendance d'évolution de chaque espèce nicheuse est définie de la façon suivante :
 $(\text{effectif T2} - \text{effectif T1}) / \text{effectif T1}$.

Dans ce cas, T1 et T2 correspondent à 1976 et 1995, dates de réalisation des deux atlas.

Le signe de l'indice est inversé pour que la valeur la plus forte corresponde au déclin de l'espèce. L'indice a été borné : toute augmentation supérieure à 100 % se traduit par la valeur -1.

La tendance est donc comprise entre -1 (augmentation $\geq$ 100%) et +1 (extinction) avec 0 reflétant une stabilité.

Les espèces ayant colonisé le site entre T1 et T2 ont été affectées de la valeur de stabilité 0 ; dans cette situation régionale, ces espèces n'étaient pas indicatrices (espèces très fluctuantes ou en limite de répartition). Il est alors nécessaire de faire une évaluation pour chaque cas, car des espèces nouvelles peuvent apparaître à la faveur de changements écologiques au niveau d'un site.

Les effectifs de chaque espèce dans la région ont fait l'objet d'estimation sous forme de fourchette ; la tendance est calculée en prenant en compte les *minima* et *maxima* de ces estimations.

Afin de donner le même poids à la tendance et à la distribution, la tendance (T) a été ramenée entre 0 et 2.

La composante tendance (régionale) pour chaque espèce est alors calculée de la façon suivante :

$$T = 1 + [(T_{\min} + T_{\max}) / 2]$$

T est compris entre 0 et 2 :

0 : croissance $\geq$ 100%

2 : extinction

1 : stabilité

COMPOSANTE DISTRIBUTION (D)

La composante distribution est fondée sur le rapport entre le nombre de carrés de la grille définissant l'atlas occupé par l'espèce concernée et le nombre total de carrés couvrant l'entité géographique considérée. Plus l'espèce est localisée, plus elle est potentiellement vulnérable et rare, c'est donc 1 moins ce rapport qui est utilisé. Afin de donner le même poids dans le calcul de l'indice à la tendance et à la distribution, cette composante distribution (D) est multipliée par 2 pour être ramenée entre 0 et 2.

La composante distribution est calculée de la façon suivante :

$$D = [1 - (N / N_{\text{tot}})] \times 2.$$

N = nombre de carrés occupé par l'espèce

N_{tot} = nombre total de carrés de l'atlas

L'indice est compris entre 0 et 2 :

0 : large distribution

2 : espèce disparue

1 : distribution dans 50% des carrés de l'atlas considéré

COMPOSANTE EFFECTIFS (N)

Une cotation d'abondance a été établie, en donnant l'indice le plus important aux plus petits effectifs, et en incluant 0 (espèce disparue).

Cette cotation varie de 1 ("nombre de couples nicheurs important" : effectifs > 120 000) à 9 ("nombre de couples nicheurs faible à disparition de l'espèce" : effectifs entre 0 et 3).

INDICE FINAL

Il est égal à :

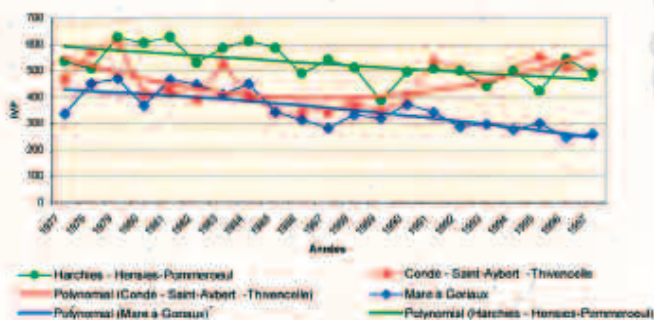
$$I = (D + T) \times N$$

Pour chaque espèce nicheuse, l'indice est donc compris entre 0 (abondance importante, large distribution et population en augmentation) et 36 (espèce disparue de l'avifaune nicheuse). Les valeurs proches de ce maximum correspondent aux espèces localisées, en régression et à effectifs nicheurs faibles.

UTILISATION DE L'INDICE A L'ECHELLE DES ZONES HUMIDES

Sur un site donné, l'indice de valeur patrimoniale (IVP) correspond à la moyenne des indices de chaque espèce présente. Il a permis d'évaluer l'évolution des peuplements d'oiseaux nicheurs de trois zones humides entre 1977 et 1997 (voir figure ci-dessous).

VARIATION DE L'INDICE DE VALEUR PATRIMONIALE (IVP) DE L'AVIFAUNE NICHEUSE DES TROIS SITES

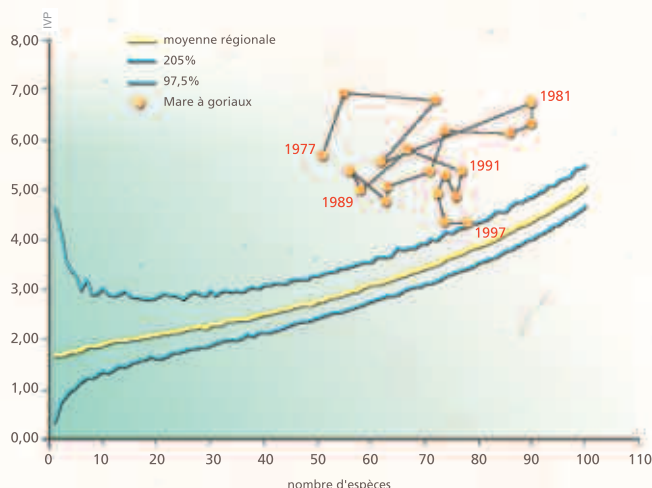


Dans ce cas, on a utilisé non pas l'indice moyen des espèces présentes, mais l'indice cumulé. Ce traitement était possible grâce à une pression d'observation équivalente dans le temps et l'espace.

Cette étude montre la différence entre deux sites qui connaissent une diminution de la valeur patrimoniale depuis des décennies et un autre dont la valeur augmente actuellement. L'analyse par habitat indique que le cortège des oiseaux aquatiques est responsable d'une grande partie de cette évolution. Il semble que l'intérêt de Condé sur Escaut est lié à l'extension des surfaces en eau, due aux affaissements miniers. A l'inverse, les deux autres sites voient la diversité des oiseaux d'eau décroître à cause de la diminution de la surface des roselières.

La méthode présente un biais en ce qui concerne la comparaison entre sites, puisque ceux de grande surface sont favorisés ; il disparaît si un protocole d'échantillonnage identique est mis en place sur les différents sites. Cette difficulté peut être contournée en comparant l'indice obtenu pour un nombre Y d'espèces observées, à la valeur moyenne de cet indice à l'échelle de la région en procédant à 1 000 tirages aléatoires de Y espèces dans la liste régionale.

EVOLUTION DE L'IVP DE LA MARE A GORIAUX, DE 1977 A 1997



Dans le cas de la Mare à Goriaux, l'IVP moyen est supérieur à l'IVP régional. On observe de 1977 à 1981 une augmentation du nombre d'espèces nicheuses sans augmentation de l'IVP, les nouvelles espèces sont donc " communes " à l'échelle régionale.

Puis le nombre d'espèces diminue jusqu'en 1989 avec diminution de l'IVP avant d'augmenter à nouveau jusqu'en 1991 sans augmentation de l'IVP. De 1991 à 1997, le nombre de nicheurs est stable, mais l'IVP chute de façon importante pour ne plus être statistiquement différent de l'IVP moyen régional en 1997. Il y a donc une " banalisation " de l'avifaune nicheuse sur ce site.

HIERARCHISATION DES SITES

Les différentes analyses permettent de réaliser une hiérarchisation des sites, qui diffère selon l'approche utilisée (tableau ci-contre). Le site de Condé apparaît le plus intéressant en variété de nicheurs, la Mare à Goriaux pour les nicheurs de bois denses (l'étang est intra-forestier) et Harchies pour les nicheurs en eau libre. L'interprétation de cette hiérarchisation qui n'est pas forcément évidente au premier abord s'éclaircit avec l'IVP : cet indice montre l'importance du site d'Harchies dans la mesure où plusieurs espèces nicheuses sur ce site ont un indice élevé, donc sont plus vulnérables à l'échelle régionale et nécessitent des mesures de conservation.

HIERARCHISATION DES SITES			
	Condé	Harchies	Goriaux
Variété totale	2	1	3
Variété des nicheurs	1	2	3
Variété nicheurs eau libre	2	1	3
Variété nicheurs bois denses	2	3	1
Indice valeur patrimoniale	2	1	3

CARACTERES DES SITES			
Surface ha	1 150	450	170
Perturbations	Très fortes	Faibles	Très faibles
Actions de génie écologique	Très faibles	Localisées	Assez nombreuses
Contexte	Urbain, agricole et forestier	Agricole	Forestier

Le diagnostic des zones humides élaboré à partir des peuplements d'oiseaux reste relativement sommaire (intérêt général du milieu, diversité de la structure de la végétation, importance des zones aquatiques...). Il est nécessaire de le compléter avec d'autres sources d'informations (flore, autres groupes faunistiques...).



photo C. Luczak

Le Bruant des roseaux, espèce liée à la phragmitaie

Limites et perspectives

Ces recherches confirment que les oiseaux constituent une base intéressante pour caractériser les zones humides, les hiérarchiser et suivre leur évolution. Elles montrent les possibilités de valorisation scientifique des données collectées par les naturalistes sans méthodologie précise.

Cette approche mérite d'être approfondie, en particulier par une mise en valeur des évolutions quantitatives des peuplements.

Elle est adaptée pour les sites où l'on ne dispose pas chaque année d'inventaires exhaustifs de l'avifaune. Dans ces situations, il est possible de travailler à partir de relevés non exhaustifs (échantillonnage). L'utilisation d'inventaires naturalistes incomplets représente un certain enjeu du fait de l'abondance de ce type de données.

Enfin, l'élaboration de cet indice à partir des trois composantes T, D et N peut se faire à n'importe quelle échelle géographique (locale, nationale, internationale), dans la mesure où des données sont disponibles quant aux effectifs, à la tendance et à la répartition géographique.

CONTACTS

CHEF DU PROJET SCARPE-ESCAUT :

Daniel Petit,
Laboratoire de génétique et évolution
des populations végétales UPRESA,
CNRS 8016,
Université des sciences et technologies de Lille
59655 Villeneuve d'Ascq cedex
tel 03 20 43 40 76
daniel.petit@univ-lille.fr

ETUDE DE L'AVIFAUNE :

Christophe Luczak,
Christophe.luczak@univ-lille.fr

4- Les mares



1. Bassin minier
2. Laonnois
3. Pays d'auge
4. Brie et vallée du petit Morin
5. Forêt domaniale de Rambouillet
6. Forêt domaniale de Fontainebleau
7. Thymerais
8. Sologne
9. Cher (Champagne berrichonne, Boischaud Marche, vallée du Cher, Pays Fort)
10. Allier (Bourdonnais)

inventaire et typologie

Mare de cour de ferme abritant une plante intéressante, le Jonc fleuri
photo J.L. Michelot

Problématique

Les mares sont sans doute les zones humides les plus présentes en France ; on évalue leur nombre à 600 000 sur le territoire métropolitain (soit 1 mare par kilomètre carré ou 1 mare pour 100 habitants).

Ces zones humides sont généralement très menacées ; elles sont en effet à la fois fragiles (petite superficie) et soumises à de fortes pressions car souvent insérées dans des systèmes socio-économiques en pleine évolution.

Elles remplissent pourtant une large gamme de fonctions environnementales (biodiversité, épuration et rétention des eaux, abreuvoir pour les animaux, etc.).

Malgré ces enjeux, il s'agissait jusqu'à une date récente de milieux extrêmement mal connus des scientifiques et des naturalistes.

Le PNRZH a contribué de manière significative aux progrès des connaissances de ces milieux atypiques. Les chercheurs ont mis en place des outils efficaces pour les gestionnaires : méthodes d'inventaire, typologie, hiérarchisation des types de mares...

Présentation de la recherche

Le projet de recherche a réuni 17 équipes de recherche, sur 10 secteurs répartis dans 5 régions (Nord, Normandie, Ile de France, Centre et Auvergne). 3 835 mares ont été recensées ; 1 717 ont été suivies. Sélectionnées par un échantillonnage stratifié, 140 ont fait l'objet d'études plus précises.

Les recherches ont couvert plusieurs thématiques :

- définition et techniques d'inventaires ;
- relation des mares avec leur environnement ;
- usages ;

- fonctionnement physico-chimique ;
- biodiversité ;
- perception (cf cahier n°3).

L'objectif final était l'élaboration d'une typologie patrimoniale permettant de définir une stratégie de préservation.

Définition :

QU'EST CE QU'UNE MARE ?

L'analyse de 36 définitions existantes et des critères associés a conduit à la formulation d'une définition générale qui, à partir de 4 caractéristiques et 4 propriétés, reste ouverte à de nombreux objets apparentés :

"La mare est une étendue d'eau à renouvellement généralement limité, de taille variable pouvant atteindre un maximum de 5 000 mètres carrés. Sa faible profondeur, qui peut atteindre environ deux mètres, permet à toutes les couches d'eau d'être sous l'action du rayonnement solaire et aux plantes de s'enraciner sur tout le fond. De formation naturelle ou anthropique, elle se trouve dans des dépressions imperméables, en contextes rural, périurbain, voire urbain. Alimentée par les eaux pluviales et parfois phréatiques, elle peut être associée à un système de fossés qui y pénètrent et en ressortent ; elle exerce alors un rôle tampon au ruissellement. Elle peut être sensible aux variations météorologiques et climatiques, et ainsi être temporaire. La mare constitue un écosystème au fonctionnement complexe, ouvert sur les écosystèmes voisins, qui présente à la fois une forte variabilité biologique et hydrologique interannuelle. Elle possède un fort potentiel biologique et une forte productivité potentielle".

L'inventaire des mares : un exercice difficile

Les tests ont abouti à une bonne évaluation de la pertinence des différentes sources d'informations disponibles et à la construction d'une démarche méthodologique.

LES SOURCES D'INFORMATION UTILISABLES

La couverture cartographique au 1/25 000 ne peut prétendre seule à un inventaire satisfaisant des mares, ce d'autant plus que le semis de mares est dense et que la région agricole a subi des évolutions agraires récentes. Elle ne semble donc utilisable que dans les terroirs depuis longtemps voués à une agriculture intensive liée à des paysages d'openfield.

L'indice de vérité de l'inventaire est le rapport entre : nombre de mares présentes sur le terrain et sur la carte / nombre de mares existantes sur le terrain ; cet indice est de 12% dans un canton bocager complexe (Chatelet en Berry), contre 78,5% dans une région d'openfield (Châteauneuf-en-Thymerais). Les cartes sont périmées dans les régions où les pratiques agricoles sont en cours de mutation.

Une même démarche comparative a été mise en oeuvre à partir du cadastre. Ce document apparaît bien plus fiable que la carte au 1/25 000, surtout en région bocagère d'élevage : l'échelle retenue, plus grande, autorise une saisie graphique systématique de l'objet-mare et la valeur d'usage de la mare est davantage prise en compte par les agents cadastraux. Cependant, la recension cadastrale étant à visée fiscale, et les mares ne disposant pas d'un statut foncier spécifique, cette source reste non exhaustive dans le cadre d'un inventaire.

Le recours aux photographies aériennes comme support identificateur des mares soulève deux types de difficultés et s'avère finalement peu pertinent. D'une part, le coût financier d'une mission couvrant l'ensemble d'un secteur d'étude (canton, département) est important ; d'autre part, la lecture des clichés est difficile. Les mares peuvent être masquées par tout couvert arbustif ou arboré, et disparaître à l'ombre des bâtiments d'exploitation ; elles ne sont identifiables à coup sûr que dans les champs ouverts, c'est-à-dire là où les cartes topographiques les recensent avec satisfaction. En outre, un grand nombre d'artéfacts en brouille la perception : certains terrains hydromorphes, voire arbres isolés peuvent être perçus comme des mares.

En fait, ce sont les inventaires de terrain qui fournissent indubitablement la preuve de l'existence d'une mare et lèvent les dernières ambiguïtés d'ordre définitionnel. Néanmoins, une bonne part de ces écosystèmes est

inaccessible pour des raisons foncières et les milliers de kilomètres à parcourir pour procéder à l'inventaire d'un seul canton, posent un problème de temps et de moyens mis à disposition des opérateurs.

La prospection de terrain peut toutefois être ciblée sur les secteurs les plus susceptibles d'abriter des mares : présence sur les cartes d'indices de l'existence de mares (toponyme, figuré ambiguë), proximité de ferme isolée...

Les enquêtes auprès des riverains donnent également des résultats intéressants et complémentaires.

METHODE D'INVENTAIRE PROPOSEE

Au terme de cette analyse, une démarche d'inventaire en trois phases a été élaborée :

- croisement des informations extraites des cartes IGN et du cadastre ;
- enquête en mairie, exploration des fermes isolées, visite des toponymes évoquant une quelconque humidité ;
- croisement des deux étapes précédentes.

Dans les régions d'openfield, l'inventaire est acceptable dès la première étape, tandis que dans les secteurs de bocage, les trois étapes se révèlent indispensables. Cette démarche donne de bons résultats localement (identification de 90 % des mares du canton de Châteauneuf-sur-Cher) ; elle est insuffisante dans des régions plus boisées et riches en landes (56% dans le canton de la Chapelle d'Anguillon, en Sologne), où le recours au terrain reste indispensable.

RECUEIL DE DONNEES

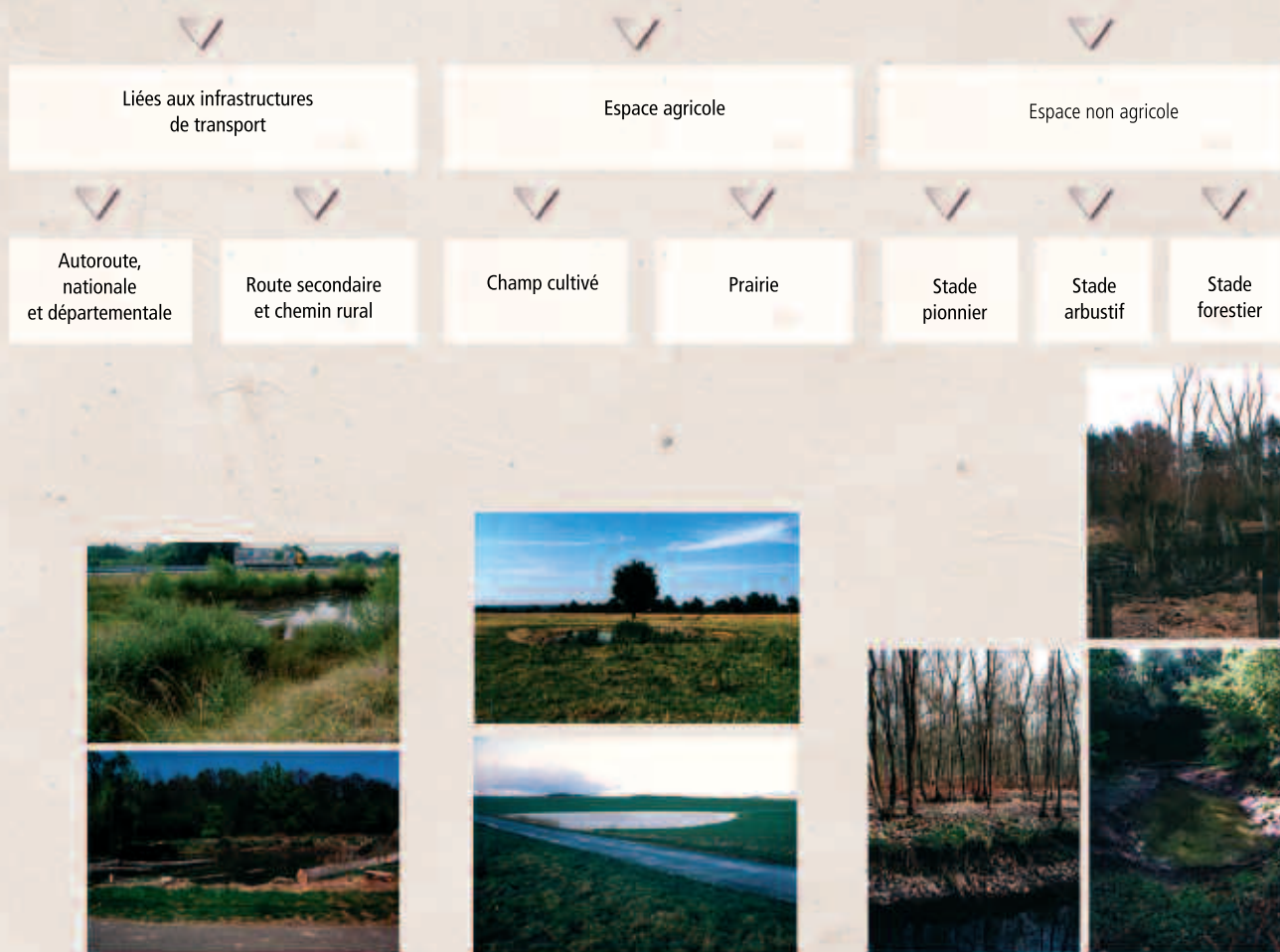
De nombreux inventaires locaux ont été menés dans le cadre du PNRZH ou depuis. Les recherches ont contribué à l'harmonisation des recensements, par la mise à disposition d'une fiche d'inventaire standardisée, téléchargeable sur le site internet du Pôle-relais. Le formulaire comporte deux niveaux emboîtés d'information.

Le premier niveau, consacré à une description générale de la mare est accessible aux néophytes ; il doit être systématiquement renseigné. La simplicité des critères retenus permet une exploitation informatique des données, inenvisageable à partir de paramètres trop complexes, trop nombreux ou prêtant à confusion.

Le deuxième niveau mobilise des collectes de données thématiques et fait alors appel à des spécialistes tels que des botanistes, ornithologues, batrachologues, etc.

UNE TYPOLOGIE GEOGRAPHIQUE DES MARES

HORS CONTEXTE D'HABITAT



EN CONTEXTE D'HABITAT



Une typologie géographique

L'examen de plusieurs milliers de mares a abouti à la conception d'une typologie environnementale des mares. Le facteur principal de caractérisation est l'environnement de la zone humide : espace rural ou secteur d'habitat (bâtiments), nature de la végétation des abords... (cf page ci-contre). Les 14 types identifiés se caractérisent par de fortes différences dans de nombreux domaines.

Usages

Les mares ont longtemps joué un rôle socio-économique notable (rouissage, pêche, alimentation du bétail...). Ces usages ruraux connaissent aujourd'hui un déclin prononcé ; ils sont partiellement remplacés par des nouvelles pratiques : loisirs, ornement.

Les mares situées dans les boisements et les landes sont peu utilisées par les hommes, sauf pour la chasse.

Les mares conservées dans les villages ont une fonction ornementale, alors que celles situées dans des prairies servent généralement d'abreuvoir pour le bétail

valorisation. Par contre, les mares des zones d'openfield paraissent beaucoup plus menacées de disparition que celles de bocages ; la plupart des mares " inutiles " sont détruites ou le plus souvent abandonnées (disparition rapide par atterrissement).

Diversité spécifique

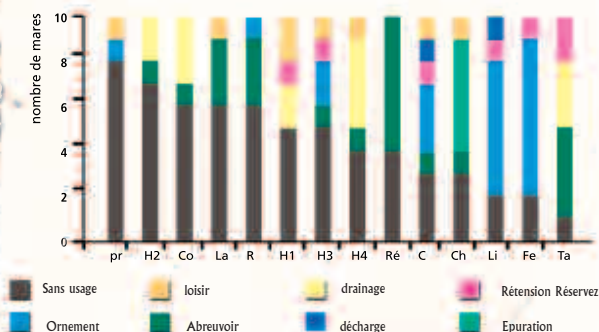
FLORE : UNE DIVERSITE IMPORTANTE PAR SECTEUR, MAIS INEGALEMENT REPARTIE

L'inventaire floristique exhaustif de 360 mares a été réalisé, dans quatre secteurs.

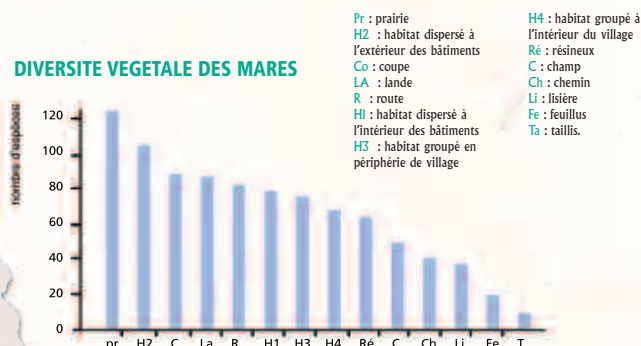
Les espèces les plus répandues (*Lemna minor*, *Juncus effusus*) sont tolérantes et ubiquistes.

Pourtant, la diversité végétale des mares est importante ; 138 espèces végétales ont été dénombrées dans les 49 mares du canton de Châteauneuf-sur-Cher. Une forte hétérogénéité de répartition des plantes apparaît puisque dans le même canton, 39 % des espèces ne sont observées que dans une seule mare.

USAGE DES MARES



DIVERSITE VEGETALE DES MARES



LES MARES DU CANTON DE CHATEAUNEUF-SUR-CHER (REGION CENTRE)

- 49 mares
- 138 espèces végétales
- 39% des espèces présentes dans une seule mare
- une des mares avec 9 espèces présentes seulement là
- 53 % des mares sans aucune espèce unique
- 6 des 49 taxons uniques rares dans la région ou en France

Les mares constituent les seules zones humides de certains terroirs agricoles en pays de grande culture sur substrat calcaire (Beauce, Brie, Champagne berrichonne, Gâtinais...). Une difficulté de l'évaluation de la diversité végétale des mares est le caractère fugace de nombreuses espèces, dont certaines sont rares.

En termes de conservation, on peut considérer comme prioritaires les mares correspondant à des sites uniques pour des espèces rares.

Une étude plus précise a été menée après un échantillonnage stratifié, sur 140 mares. Sur les 291 espèces de plantes identifiées, 35 % ont un intérêt patrimonial.

La diversité végétale est très contrastée selon les types de mares (figure ci-contre).

L'existence d'usages constitue une garantie de pérennité pour ces milieux. Dans les contextes les plus naturels (landes, forêts...), des mares peuvent subsister sans



Mare prairiale

Les mares routières montrent une forte diversité, information à pondérer en raison de la grande variabilité entre mares (de 0 et 68 espèces).

Les mares de prairies permanentes abritent également une flore diversifiée. Leur intérêt est d'autant plus important qu'il s'agit de loin des mares les plus nombreuses en France, et que leur richesse est presque toujours élevée. Elles sont les plus menacées du fait de la raréfaction des prairies permanentes.

Les mares forestières et celles situées en zones de culture intensive ou dans les cours de fermes sont les moins diversifiées.

FAUNE

Les amphibiens constituent un élément important de la diversité animale des mares, parce qu'ils y trouvent souvent des habitats particulièrement favorables, voire uniques. Il ne s'agit toutefois pas d'espèces indicatrices de la biodiversité générale ; leur répartition répond en effet à des facteurs particuliers (connexions biologiques, absence de poissons et de canards...).

Les odonates apprécient également ces petites zones humides. Ces insectes apparaissent être d'assez bons indicateurs de la qualité globale du milieu. Leur diversité est très liée au degré d'ouverture de la végétation (cf tableau).

Type de milieu	Nombre d'espèces d'odonates
Mare boisée, comblement avancé	1-2
Mare fermée (forestière)	10
Mare semi-ouverte	15
Mare ouverte (prairiale)	20-25

Source : Office National des Forêts, Forêt de Rambouillet, 2001

LES FACTEURS EXPLICATIFS DE LA DIVERSITE BIOLOGIQUE

Le nombre d'espèces (total et espèces patrimoniales) a donné lieu à des traitements statistiques visant à identifier les facteurs favorables à la diversité, à savoir :

- un fort éclaircissement ;
- une faible ombre portée ;
- des pentes faibles sur les berges ;
- une profondeur < 1,5 m ;
- une superficie importante ;
- des formes complexes ;
- l'existence d'un entretien régulier, mais non intensif (intérêt des mares de chasse ou autoroutières).

Une typologie patrimoniale pour des priorités d'actions

Chaque type de mares, caractérisé par un environnement géographique, présente des spécificités en ce qui concerne la valeur biologique, les usages ou les pressions.

La typologie géographique peut donc constituer la base d'une typologie patrimoniale, issue du croisement de l'intérêt biologique et du degré de menace. Ce classement permet de hiérarchiser la sensibilité des différents types de mares ; il constitue une base performante pour établir un programme de préservation d'un réseau de mares.

Au final, sept types de mares peuvent être identifiés en fonction de leurs problématiques de conservation et de gestion :

- les mares prairiales ;
- les mares de champs ;
- les mares d'habitat groupé et dispersé, à vocation ornementale ;
- les mares en milieu pionnier de lande ou de friche ;
- les petites mares ombragées, en milieu fermé de type forestier ;
- les mares en milieu pionnier de coupe ou fourrés ;
- les mares-épuration des infrastructures de transports.

Les mares prairiales doivent être considérées comme prioritaires en matière de conservation. Ce schéma est sans doute valable sur une grande partie du territoire national, mais il doit naturellement être examiné en lien avec le contexte local de chaque région.

EVALUATION DE LA SENSIBILITE DES DIFFERENTS TYPES DE MARES

Type de mare	Indice biodiversité	Menaces	Sensibilité
Prairie	++++	----	
Champs	++	----	
Habitat groupé, mare en périphérie de village	++	----	
Habitat groupé, mare à l'intérieur du village	++	---	
Habitat dispersé, mare à l'intérieur des espaces bâtis	+	---	
Chemin	++	---	
Habitat dispersé, mare à l'extérieur des espaces bâtis	+++	--	
Lande, friche	+++	--	
Résineux	+++	--	
Route et autoroute	++++	-	
Lisière, bosquet	+++	-	
Coupe forestière, fourrés	++++	-	
Taillis	+	--	
Feuillus	+	--	

Le mot " habitat " est utilisé ici pour désigner les bâtiments.

GRILLE D'ETABLISSEMENT DES PRIORITES :

Indice biodiversité		Degré de menace		Sensibilité	
++++	exceptionnel	----	exceptionnel		Très forte
+++	fort	---	fort		Forte
++	assez faible	--	assez faible		Assez forte
+	faible	-	faible		Faible
					Presque nulle

Limites et perspectives

Les travaux ont porté sur les types de mares les mieux représentés en France ; certaines catégories très particulières n'ont pas été prises en compte : mares de montagne, mares temporaires méditerranéennes, anciennes gravières en eau...

Malgré cette remarque, le PNRZH a permis d'améliorer très fortement la connaissance sur les mares de la plus grande partie du territoire national. Les gestionnaires disposent à présent d'outils efficaces d'inventaire et de caractérisation.

La dynamique engagée dans le cadre du PNRZH se poursuit depuis 2002 dans le cadre du Pôle-Relais "Mares & Mouillères de France". De nombreux recensements (quantitatifs) et inventaires (qualitatifs) sont en cours : Nord - Pas-de-Calais, Languedoc-Roussillon, Provence-Alpes-Côte d'Azur, Corse, Franche-Comté, départements de l'Aisne, du Gers, du Maine-et-Loire... Seule la région Poitou-Charentes a terminé son inventaire (1998 - 2001), une extrapolation des données à partir de zones tests, a conduit à estimer à 30 000 le nombre de mares. Dans les autres régions citées, les premiers résultats seront connus fin 2005.

31

CONTACTS

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE :
B. Sajaloli
Centre de Biogéographie-Ecologie
(FRE 2545 CNRS - ENS LSH)
40, rue Saint-Honoré
BP 103
77303 Fontainebleau Cedex
tél. 01 64 22 62 66
bertrand.sajaloli@wanadoo.fr

POLE-RELAIS
"MARES & MOUILLERES DE FRANCE"
Olivier Limoges
Institut Européen du Développement Durable
40, rue Saint-Honoré
BP 103
77303 Fontainebleau Cedex
tél. 01 64 22 62 66
mares@iedd.org
www.polerelaismares.org

5 - Typologie fonctionnelle



Application aux petites zones humides de fond de vallée

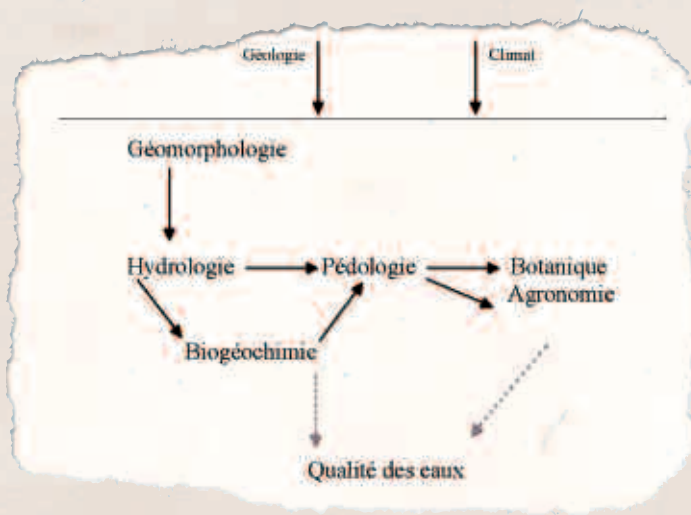
Les zones humides de fond de vallée sont très répandues en France, et en particulier dans le Massif central (photo J.L. Michelot)

Problématique

La préservation et la gestion des zones humides passent par leur délimitation.

Cet exercice ne peut pas être réalisé de façon sectorielle et statique ; il impose de prendre en compte l'ensemble des caractères de l'espace, des évolutions temporelles (rythmes hydrologiques, aménagement des milieux) et des fonctions remplies par les zones humides.

L'un des projets du PNRZH a conduit une analyse novatrice de cette question, offrant une base de réflexion pertinente pour l'ensemble des types de zones humides.



Présentation de la recherche

Le projet Tyfon a concerné six petits bassins versants du Massif Armoricain.

Les travaux ont porté sur l'hydrologie (cahier eau, fiche 3), les micropolluants (cahier eau, fiche 4), les matières fertilisantes (cahier eau, fiche 8)...

Une démarche interdisciplinaire a permis de faire émerger une vision globale, présentée dans cette fiche.

L'approche typologique

LES CRITERES DE CARACTERISATION DES ZONES HUMIDES

Les différents critères de caractérisation des zones humides et leurs interrelations ont été analysés ; ils s'organisent dans un schéma conceptuel.

Il apparaît que certains critères de caractérisation sont :

- permanents : pédologie, botanique, agronomie, géomorphologie, modèles hydrologiques ;
- non permanents : observations hydrologiques, biogéochimie, télédétection (observations de surface).

Le recours à ces dernières méthodes nécessite la réalisation de relevés à différentes dates.

Les résultats obtenus démontrent, dans le cas du Massif Armoricain, l'importance de la géomorphologie. Le relief conditionne largement la présence des zones humides ; les zones saturées correspondent à des zones de convergence des lignes d'écoulement associées à une faible pente locale. Ils ont également permis de mettre en place des outils mathématiques de prédiction de la présence des zones humides à partir de la topographie.

TROIS TYPES DE ZONES HUMIDES

A partir de ces éléments, il a été possible d'imaginer une caractérisation des zones humides suivant trois niveaux de connaissance.

ZONE HUMIDE POTENTIELLE

La zone humide potentielle est une surface susceptible d'héberger une zone saturée pendant une période suffisamment longue pour qu'elle lui confère des propriétés d'hydromorphie.



L'identification de telles zones peut être faite à partir de la cartographie des sols. La présence de sols hydromorphes indique des sols temporairement saturés en eau, actuellement, mais aussi dans le passé puisque le drainage ne modifie pas à court terme la nature des sols. L'identification peut également être entreprise par une approche automatique. La topographie du bassin versant est intégrée à un modèle numérique de terrain ; cet outil permet de calculer un indice sur la base de différents éléments :

- aire drainée ;
- valeur de pente (gradient entre le point considéré et le

point du réseau hydrographique qui lui correspond sur l'arbre de drainage ;

- calibration par la pluviométrie annuelle et la géologie en relation avec des dynamiques tectoniques qui influencent les valeurs seuils.

La méthode proposée ne peut fonctionner, actuellement, que dans un contexte donné, avec un substrat peu perméable à une profondeur faible sur l'ensemble du bassin versant. La profondeur du niveau du substrat par rapport à la surface du sol doit être relativement constante, de façon à permettre l'identification des zones d'alimentation provenant du versant.

ZONE HUMIDE EFFECTIVE

Dans le Massif Armoricain, la zone humide effective a été définie comme la zone dans laquelle la saturation en eau atteint 100 % en période hivernale.

Cette délimitation peut être abordée par l'examen des traits d'hydromorphie des sols, caractérisés en général par une intensité et une profondeur d'apparition.

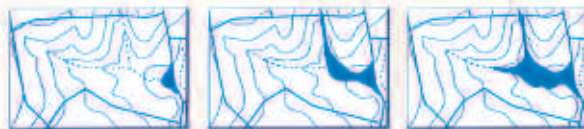
De même, l'analyse de la végétation fournit un diagnostic assez précis de la durée de saturation, pour peu que le couvert végétal soit en place depuis quelques années, ce qui lui confère une certaine spécificité.

DYNAMIQUE DE SATURATION EN EAU D'UNE ZONE HUMIDE

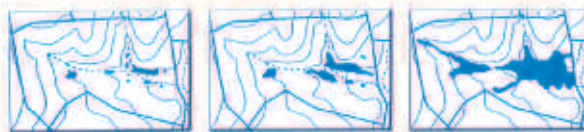
La saturation des sols en eau est très variable en fonction des saisons. La zone humide effective correspond à la zone saturée en période de hautes eaux.

La simulation mathématique basée sur l'analyse de la topographie permet de prédire correctement l'enveloppe globale de la zone humide. Dans ce bassin versant étudié, zones humides effectives et potentielles coïncident assez bien.

Localisation des zones humides pour trois états hydriques du bassin versant de Kervidy-Naizin :
Prédiction automatique



Situation réelle (observation de terrain)



humidité croissante

La délimitation des zones humides effectives peut être réalisée de façon statique (un seul passage sur le terrain) mais elle largement améliorée par une approche dynamique.

Diverses méthodes (relevés de terrain, images satellitaires, données de débit ou de piézométrie couplées à des approches de modélisation) permettent une estimation de l'extension spatiale et temporelle de la zone humide.

La comparaison entre zones humides potentielles et effectives montre que l'analyse automatique permet une bonne prédiction des sites réellement occupés par des zones humides. On note toutefois des décalages entre prédiction et réalité, liés à différentes perturbations, d'origine anthropiques ou naturelles :

- aménagement (drainage) ;
- irrégularités dans la topographie des sols ou du substrat.

ZONE HUMIDE EFFICACE

Une zone humide efficace est une surface jouant un rôle significatif pour une fonction donnée.

La recherche des zones efficaces impose une double analyse :

- évaluation des rôles actuels de la zone humide ;
- identification des zones importantes vis à vis d'un objectif donné. Ce travail peut conduire à sélectionner, parmi les zones humides effectives, celles qu'il est prioritaire de conserver. De même, il peut conduire à identifier certaines parties de zones humides potentielles qu'il serait nécessaire de restaurer pour atteindre un objectif.

Cette démarche a été mise en œuvre sur deux bassins versants, pour les fonctions hydrologiques et bio-géochimiques. Les autres fonctions des zones humides n'ont pas été étudiées dans le cadre de ce travail (biodiversité, loisirs, production agricole...).



photo J.L. Michelot

Sur le plan de la biodiversité, les prairies les plus humides sont généralement les plus intéressantes

Le rôle des zones humides en matière hydrologique a été décomposé en plusieurs fonctions :

- stockage longitudinal : stockage des eaux du versant ;
- stockage transversal : stockage des eaux de la rivière ;
- transfert.

Ces fonctions ont été présentées plus en détail dans le cahier " eau " du PNRZH (fiche 3). Les paramètres de caractérisation de ces fonctions sont rappelés dans le tableau ci-dessous.

PARAMETRES D'APPRECIATION DES ZONES HUMIDES EFFICACES EN MATIERE HYDROLOGIQUE

Base de définition	Principaux paramètres	Degré de difficulté
Fonction de Stockage longitudinal	Indicateur d'aménagement : typologie des fossés	1
	Indicateur de régime hydrologique : temps de retour des pluies	
	Topographie de la zone humide et modélisation	3
Fonction de Stockage transversal	Indicateur de taille relative de la zone humide / versant	1
	Indicateur de continuité spatiale de la zone humide / versant	
	Estimation des flux : mesure des paramètres physiques, tensiométrie, piézométrie et modélisation	3
Fonction de Transfert	Estimation des flux et des vitesses de transfert : mesures des paramètres physiques, tensiométrie, piézométrie et modélisation	3
	Bilan spatialisé : traçage interne à la zone humide, suivi hydrochimique en crue et hors crue	4

1 : facile, d'ordre typologique ;

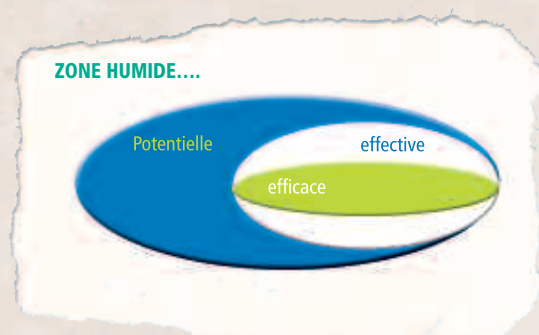
2 : facile, avec instrumentation modérée, maintenance faible ;

3 : instrumentation lourde (capteurs, stations), coût de maintenance et d'analyse élevé ;

4 : instrumentation modérée (préleveur), coût d'intervention, coût analytique élevé lié à des suivis en crue (continu) et hors-crue (hebdomadaire). Fonctions biogéochimiques

UN SCHEMA GENERAL, DES SITUATIONS VARIEES

Ces trois niveaux typologiques peuvent être présentés dans un schéma général.



Selon les zones humides et les fonctions, des situations très contrastées sont observées.

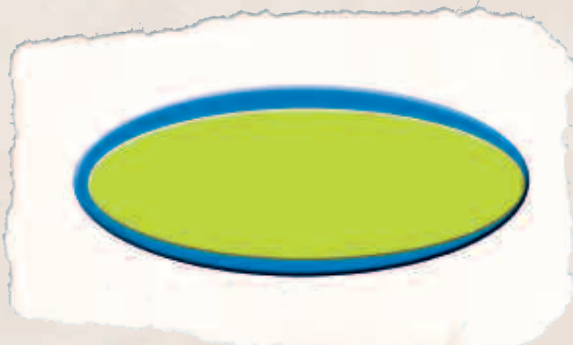
Dans des situations très naturelles et facilement modélisables, les zones humides potentielles et effectives peuvent être identiques.

Les zones humides efficaces sont, nous l'avons déjà noté, différentes selon les fonctions considérées.

Elles peuvent être très localisées dans l'espace et limitées aux zones humides effectives ou à une partie de celles-ci, par exemple, lorsqu'on s'intéresse à la fonction "habitat d'espèces rares".



Par contre, certaines fonctions subsistent après la perte du caractère humide du milieu ; ainsi, des secteurs considérés comme efficaces pour le stockage de l'eau peuvent recouvrir des zones humides potentielles dans leur globalité.



Ce genre d'analyse sert à localiser les interventions de restauration en adéquation avec les objectifs fonctionnels.

Les principaux critères et méthodes de caractérisation des zones humides potentielles, effectives et efficaces ont été identifiés (tableau ci-dessous).

LES DIFFERENTS NIVEAUX DE LA TYPOLOGIE		
Zone humide	Basée sur	méthode
POTENTIELLE	Indices topographiques carte des sols hydromorphes	modèle prenant en compte la surface drainée et la pente topographique cartographie des sols
EFFECTIVE	Usage du sol (drainage..) Indice d'humidité végétation	différents niveaux d'investigations sont possibles
EFFICACE	Flux de polluants entrant dans la ZH Géométrie interne de la Z.H.	analyse par bassin versant étude de terrain modélisation

Limites et perspectives

L'approche développée sur les petites zones humides de Bretagne fournit un cadre conceptuel novateur. Cette logique mérite d'être intégrée à toute démarche d'inventaire des zones humides, ou étude de sites particuliers.

L'identification des zones humides potentielles offre une base importante pour les prospections de terrain.

Les zones humides effectives constituent le cadre dans lequel sont réalisées la plupart des études et politiques publiques de conservation des sites. La différence entre zones humides potentielles et effectives correspond en quelque sorte aux surfaces susceptibles de faire l'objet d'actions de restauration.

Le concept de zone humide efficace permet de comprendre qu'une politique de gestion ou de restauration d'une zone humide ne peut se concevoir dans l'absolu, mais doit être construite en relation avec les fonctions visées. Les espaces d'intervention seront très différents suivant que l'on s'intéresse prioritairement à la régulation des débits, à la dénitrification, à la biodiversité, aux loisirs ou à l'aspect éducatif. Une gestion réellement globale des zones humides doit naturellement prendre en compte les différentes fonctions en présence..



Ces notions offrent également des perspectives avantageuses en matière de concertation, comme support aux discussions et aux prises de décisions sur la restauration des sites, ou sur les priorités de conservation. Elles ont d'ores et déjà été utilisées dans ce sens en Ille et Vilaine, au sein de l'instance de partenariat " et dans les marais de l'Ouest.



L'une des zones humides étudiées dans le Massif armoricain

Les recherches engagées méritent d'être poursuivies dans différentes directions.

36

La démarche a été expérimentée sur des zones humides particulières, de petites dimensions. Il serait intéressant de définir les modalités de sa mise en œuvre sur d'autres types d'espaces.

De même, la notion de zones humides efficace, abordée pour certaines fonctions hydrologiques et géochimiques, mériterait d'être précisée pour d'autres fonctions, telles la biodiversité, le paysage ou les valorisations économiques des zones humides.

Les méthodes mises au point demandent la mobilisation de moyens techniques et financiers importants. Leur généralisation à l'échelle de grands territoires semble peu envisageable. Elles fournissent aujourd'hui un cadre de réflexion plutôt que des techniques facilement applicables. Il serait souhaitable de développer des méthodes fiables, mais légères, permettant d'identifier les différentes zones de façon la plus objective possible.

CONTACTS

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE :

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

HYDROLOGIE :

Chantal Gascuel,
INRA.

chantal.gascuel@rennes.inra.fr

HYDROCHIMIE :

Patrick Durand, INRA
Patrick.durand@rennes.inra.fr

6- Les anciens bras fluviaux



Une méthode de diagnostic fonctionnel

Un bras de la Saône, à la végétation typique des milieux eutrophes et peu perturbés (photo J.L. Michelot)

Problématique

Les bras abandonnés par les grands cours d'eau constituent des éléments essentiels des hydrosystèmes fluviaux, pour la biodiversité en général, et en tant que refuges, sites de nourrissage et de reproduction pour la faune du chenal principal.

Ces milieux connaissent souvent une évolution négative, par eutrophisation et atterrissement, pouvant conduire à leur disparition complète.

La connaissance de leur fonctionnement constitue un élément important en matière de conservation et de restauration de ces zones humides.

Présentation de la recherche

Les travaux du PNRZH ont valorisé des recherches menées précédemment sur le Rhône et la Saône, puis les ont approfondies et étendues sur l'Ain et le Doubs.

Les travaux ont mis en évidence les facteurs influençant la végétation aquatique (cf cahier eau du PNRZH) ; ils ont également porté sur la dynamique hydraulique et sédimentaire des bras (cf cahier eau du PNRZH).

Ces différentes études ont permis d'aboutir à la mise en place d'une méthode de diagnostic fonctionnel des bras.

Les végétaux aquatiques, des indicateurs performants

Les macro-invertébrés aquatiques constituent la base des méthodes classiques de diagnostic des milieux aquatiques

(IBGN...). Concernant les bras fluviaux, ils ont été écartés pour trois raisons principales :

- 1 leurs déplacements importants réduisent la réponse des peuplements aux perturbations brèves ;
- 1 la teneur en nutriments des eaux n'a que peu d'effets sur leurs populations ;
- 1 leur étude est lourde et coûteuse.

Les plantes aquatiques (hydrophytes et héliophytes) ont été choisies comme indicatrices, parce qu'elles présentent plusieurs atouts :

- 1 la plupart des espèces, du fait de leur ancrage (enracinement), sont fortement organisées par les perturbations affectant les habitats (crues, assèchement, ...) ;
- 1 ces plantes sont fortement influencées par la qualité des eaux : disponibilité en nutriments (principalement phosphorés), oxygénation (liée en partie au renouvellement des eaux), teneur en ammonium...
- 1 en tant que producteurs primaires et par leur structuration spatiale du milieu, elles organisent fortement les communautés animales.

Les chercheurs ont mis en place une base de données sur la réponse des espèces végétales aux caractères du milieu, basée sur la bibliographie (trophie) et leurs observations (perturbations) ; elle est progressivement consolidée.

Le tableau en fin de fiche présente les informations déjà publiées (Amoros et al. 2000).

La méthode de diagnostic des bras fluviaux consiste en un recueil de données sur le terrain, suivi d'une interprétation. L'indicateur végétal constitue le cœur de cette démarche, mais la prise en compte d'autres données permet d'améliorer la fiabilité des résultats.

Le recueil de données

La première phase de la méthode consiste en une cartographie floristique de l'habitat ; des transects (2 mètres de large) sont positionnés perpendiculairement au bras, tous les 20-25 mètres (en fonction de la longueur et de l'hétérogénéité du bras).

Le long des transects, la composition des communautés végétales est analysée selon la méthode phytosociologique classique (identification et évaluation de l'abondance dominance des espèces).

D'autres données simples sont collectées sur le terrain : largeur du bras, profondeur, granulométrie du substrat, occupation de l'espace par les végétaux... Sur carte est évalué le taux de sinuosité du bras, sa position par rapport au fleuve...

Il est souhaitable, dans la mesure du possible, et afin d'affiner le diagnostic fourni par la végétation, de collecter des données physico-chimiques :

- 1 physico-chimie des eaux (température, oxygène dissous, pH, conductivité, nitrates, phosphates, ammoniacque) ;
- 1 si possible physico-chimie des sédiments (en particulier carbone organique et azote Kjeldhal).

Les grands facteurs fonctionnels

Une analyse factorielle des correspondances des relevés de végétation permet d'évaluer l'hétérogénéité spatiale du bras et d'identifier des zones floristiques homogènes sur lesquelles seront établis des diagnostics distincts.

Sur chaque tronçon, les peuplements végétaux sont interprétés à partir de la base de données. L'interprétation doit être fondée sur l'ensemble des espèces dominantes ; elle ne peut valoriser la présence d'une espèce isolée, ni l'absence de telle ou telle plante. Cette analyse est complétée par les informations collectées en matière géomorphologique ou physico-chimique.

Cette démarche permet d'obtenir une bonne évaluation des principaux facteurs qui conditionnent l'écologie et le fonctionnement du bras.

TROPHIE

La composition végétale des bras permet de donner des indications intéressantes sur la disponibilité en matières nutritives. Les substances discriminantes sont surtout les phosphates (PO_4^{3-}) et l'ammoniacque (NH_4^{+}).

Leur présence en excès est généralement d'origine anthropique ; elle s'explique par des apports souterrains ou superficiels.

De façon classique, trois catégories sont distinguées :

- 1 milieux oligotrophes : charge minérale et organique de l'eau faible. Les eaux sont souvent limpides, les apports souterrains souvent importants et pauvres en nutriments ;
- 1 milieux mésotrophes : charge minérale et organique modérée. Les eaux sont généralement limpides, les apports souterrains sont souvent importants et modérément chargés en nutriments. La végétation aquatique est souvent diversifiée ;
- 1 milieux eutrophes : charge minérale et organique élevée. Les espèces polluo-tolérantes dominent.



photo J.L. Michelot

Le Potamogeton coloré, indicateur d'une eau oligotrophe



photo G. Bonnier

Groupe d'espèces typique de tourbière alcaline froide à *Mentha*, *Juncus articulatus*, *Hydrocotyle vulgaris*. Ce type de groupement est présent sur les marges oligotrophes de plaines alluviales sur substratum calcaire.

Certaines espèces sont indicatrices d'apports d'eau souterraine. Les caractéristiques physico-chimiques (température, conductivité, oxygénation) permettent également de les déceler, en l'absence d'espèces descriptrices ; elles peuvent également permettre d'identifier l'existence de filtrats fluviaux et d'apports d'eau superficielle de la rivière refluant depuis l'aval.



Une lône du Rhône couverte de lentilles d'eau, indicatrices d'eutrophisation et d'absence de perturbation

L'alimentation importante de certains bras par des eaux souterraines limite, grâce aux températures estivales fraîches, la production végétale ; les peuplements végétaux peuvent alors traduire des conditions plus oligotrophes que la teneur en nutriments mesurée le laisserait supposer. Il est par conséquent important d'identifier ces alimentations phréatiques, à même de diminuer la vitesse de comblement des zones humides, et de maintenir des peuplements à forte valeur patrimoniale.

PERTURBATIONS

On qualifie de perturbation les événements brefs et imprévisibles qui détruisent au moins une partie de la biomasse et désorganisent les communautés vivantes d'un milieu naturel. Les crues constituent des perturbations très importantes pour la végétation des bras fluviaux : décapage ou apport de sédiments, arrachement des plantes...

L'importance des perturbations peut être évaluée à partir de la composition floristique, et de l'organisation de la végétation (présence ou non de végétation en milieu de chenal...). L'existence d'un processus d'alluvionnement peut être détectée à partir de la présence de certaines espèces.

La granulométrie des sédiments constitue également un élément de diagnostic complémentaire important.

Il convient d'être toujours prudent sur l'indication fournie par la végétation. Ainsi, l'existence de peuplements de Baldingère (*Phalaris arundinacea*) indique généralement l'existence de fortes perturbations correspondant à des crues décapant le sol. En fait, cette espèce peut également apprécier des secteurs non perturbés, mais où des apports d'eau souterraine importants jouent un rôle d'évacuation de la matière organique, rôle que les crues assurent habituellement (cas des cours d'eau phréatiques).

Après une altération du fonctionnement de la zone humide, les peuplements végétaux persistent avec des durées variables, d'autant plus faible que la dynamique fluviale était intense. Certains bras aujourd'hui coupés de la rivière conservent une végétation représentative de conditions perturbées parce que leur isolement peut empêcher la colonisation par des espèces plus compétitives.

La physico-chimie des sédiments permet d'identifier les bras très riches en matière organique, qui correspondent aux situations peu perturbées, et permet de trancher dans ce genre de situations.



L'Iris faux-acore, une espèce bénéficiant d'un faible niveau de perturbations

PERMANENCE DU MILIEU AQUATIQUE

Les espèces végétales permettent également de distinguer les plans d'eau permanents de ceux qui sont temporairement exondés. Les plans d'eau permanents sont dominés par des hydrophytes stricts qui ne tolèrent pas l'assèchement (par exemple *Ceratophyllum demersum*, *Myriophyllum spicatum*, la plupart des *potamots*, *Eleocharis canadensis*). Les plans d'eau temporaires sont dominés par des héliophytes associés à des hydrophytes tolérant des périodes d'assèchement.

Des implications opérationnelles

Le diagnostic peut constituer un outil d'aide à la décision en matière de restauration des bras. Deux grandes questions méritent d'être analysées.

DURÉE DE VIE DE L'ÉCOSYSTÈME AQUATIQUE

Il est possible d'estimer la durée de vie potentielle d'un bras à partir de l'importance de certains facteurs favorables au maintien du milieu :

1 le degré de trophie conditionne la production de matière organique et par conséquent la vitesse de comblement des bras ;

- 1 les alimentations souterraines peuvent permettre le maintien du milieu par apport d'eau et évacuation de matière organique ;
 - 1 les perturbations hydrauliques peuvent maintenir l'habitat à un stade successional jeune, par évacuation des sédiments et de matière organique et arrachage des végétaux ;
 - 1 l'alluvionnement entraîne le comblement du bras, de façon directe et en favorisant la prolifération végétale.
- Cette analyse reste du ressort de l'expertise, de nombreux facteurs devant être pris en compte.

POSSIBILITES DE RESTAURATION

La restauration fonctionnelle d'un bras est définie comme le retour du milieu à un stade successional antérieur, en général en eau permanente. Cette restauration peut être entreprise lorsque le rapport coût / efficacité est favorable (intérêt écologique dans le secteur fonctionnel considéré, travaux limités, bonne durabilité du milieu recréé). Ce résultat peut être obtenu par la restauration d'une alimentation souterraine et / ou par la restauration d'un régime de perturbations par les crues.

Le diagnostic fonctionnel élaboré sur le milieu permet d'apprécier les potentialités de restauration du bras (voir tableau ci-dessous).

PREDICTION DE LA DUREE DE VIE DE LA REVERSIBILITE DE L'ATTERISSEMENT DES ECOSYSTEME AQUATIQUES

ESPERANCE DE VIE POTENTIELLE							
		Ecosystèmes oligotrophes		Ecosystèmes mésotrophes		Ecosystèmes eutrophes	
Perturbations hydrauliques	Durée d'inondation	Apport d'eau souterraine		Apport d'eau souterraine		Apport d'eau souterraine	
		+	0	+	0	+	0
Nulles	Eau permanente	3	2	3	2	2	1
	Exondations périodiques	2	1	2	1	1	1
Faibles	Eau permanente	3	2	3	2	2	1
	Exondations périodiques	2	1	2	1	1	1
Intermédiaires	Eau permanente	3	3	3	3	3	2
	Exondations périodiques	3	2	3	2	2	2
Hautes	Eau permanente	3	3	3	3	3	3
	Exondations périodiques	3	3	3	3	3	3

POTENTIEL DE RESTAURATION (REVERSIBILITE DE LA SITUATION DU BRAS)

Nulles	Eau permanente	n.c.	2	n.c.	2	1-2	1
	Exondations périodiques	2-3	2	2-3	2	1-2	1
Faibles	Eau permanente	n.c.	2	n.c.	2	1-2	1
	Exondations périodiques	2-3	2	2-3	2	1-2	1
Intermédiaires	Eau permanente	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	1
	Exondations périodiques	3	2	3	2	2	1
Hautes	Eau permanente	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.
	Exondations périodiques	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.

Durée de vie :

- 1 : faible durée de vie (de l'ordre de 10 à 30 ans)
- 2 : intermédiaire (de l'ordre de 30 à 60 ans)
- 3 : forte (de 60 à plus de 100 ans)

Potentiel de restauration

(effets et pérennité d'une restauration) :

- 1 : faible
- 2 : moyen
- 3 : fort
- n.c. : non concerné

TABLEAU CI-CONTRE : RELATIONS ENTRE LES PLANTES ET LEUR HABITAT

- Populations abondantes **
- Fréquence variable avec des populations jamais abondantes *
- Populations clairsemées (.)

Agrostis stolonifera
Alisma plantago-aquatica
Caltha palustris
Carex elata
Eleocharis palustris
Galium palustre
Hydrocotyle vulgaris
Iris pseudacorus
Lysimachia vulgaris
Lythrum salicaria
Myosotis scorpioides
Phalaris arundinacea
Phragmites australis
Samolus valerandi
Scirpus lacustris
Scrophularia auriculata
Cladium mariscus
Acorus calamus
Bidens tripartita
Butomus umbellatus
Carex acutiformis
Carex pseudo-cyperus
Catabrosa aquatica
Glyceria maxima
Leersia oryzoides
Lycopus europaeus
Lysimachia nummularia
Mentha suaveolens
Nasturtium officinale
Polygonum hydropiper
Ranunculus lingua
Rorippa amphibia
Rumex hydrolapathum
Scutellaria galericulata
Solanum dulcamara
Solidago gigantea
Sparganium erectum
Stachys palustris
Typha latifolia
Typha angustifolia
Urtica dioica
Veronica a.-aquatica
Veronica beccabunga

*
**
*
*
(.)

*

*
*
*
*

*
*

*
*
*
*
**
*
*
*

*
*

**
*

*

*
*
*
*

Azolla filiculoides
Berula erecta
Callitriche platycarpa
Ceratophyllum demersum
Chara globularis
C. hispida
C. major
C. vulgaris
Eleocharis acicularis
Elodea canadensis
Fontinalis antipyretica
Groenlandia densa
Hippuris vulgaris
Hottonia palustris
Hydrocharis morsus-ranae
Juncus articulatus
Juncus subnodulosus
Lemna gibba
L. minor
L. trisulca
Ludwigia palustris
Luronium natans
Mentha aquatica
Menyanthes trifoliata
Myriophyllum spicatum
M. verticillatum
Najas marina
Najas minor
Nuphar lutea
Nymphaea alba
Nymphoides peltata
Oenanthe fluviatilis
Polygonum amphibium
Potamogeton coloratus
P. compressus
P. crispus
P. lucens
P. natans
P. nodosus
P. pectinatus
P. perfoliatus
P. pusillus
Ranunculus circinatus
R. fluitans
R. trichophyllus
Riccia fluitans
Sagittaria sagittifolia
Sparganium emersum
Spirodela polyrrhiza
Stratiotes aloides
Thelipiteris palustris
Trapa natans
U. minor
U. vulgaris
Vallisneria spiralis
Wolffia arrhiza
Zannichellia palustris

*
*

**
**
**
*
*
**
**
*

*

*
*

*
*
*
*
*
(.)
*
*

*

*

*
*
*
*

*
**

*

*
 (.
 *
 *
 *

(.
 *
 *

*
 *
 *

*
 **
 *

*

**
 *
 *

*
 *
 *
 *
 *

*
 *
 *

(.
 *
 **
 *
 *
 *
 *
 *
 *
 **
 *
 *

*

*
 *
 *

*
*
*

*
*
*
*
*
*
*
*
*
*
*
*
*
?
*
*

*

?
*

*

?

*
*

*
*

*
*

*
*
*
?

*

*

L'ensemble du diagnostic peut être présenté de façon simple sous forme cartographique (cf. carte ci-dessous).

Une perspective particulièrement prometteuse concerne le remplacement des espèces par les traits biologiques (cf encart)



LES TRAITS BIOLOGIQUES

L'étude des traits biologiques consiste à s'intéresser aux caractéristiques biologiques des peuplements, indépendamment des espèces qui les composent. La méthode consiste à mesurer un certain nombre de paramètres morphologiques, comme la taille, la surface photosynthétique, les allocations de biomasse aux différentes parties de la plante, ou liés à la durée de vie, à la reproduction et à la colonisation de l'espace. Ces données permettent de relier les contraintes environnementales (disponibilités en ressources, perturbations) aux traits des espèces, en se basant sur un certain nombre d'hypothèses, comme, par exemple, le fait que les perturbations défavorisent l'accumulation de biomasse, donc les plantes de grande taille, favorisent la multiplication végétative et l'utilisation de refuges (ancrage profond). Si la plupart des espèces d'un peuplement possèdent ces traits, on pourra conclure que le site abritant ce peuplement est caractérisé par un régime de perturbation intense. Le travail consiste donc à établir ces corrélations, et à identifier les traits les plus informatifs afin de pouvoir les mettre en œuvre dans n'importe quel site, quel que soit sa localisation géographique.



Clone d'*Hippuris* au laboratoire pour mesure des traits biologiques

photo G. Bornette

Limites et perspectives

La méthode mise en place s'avère intéressante par sa rapidité de mise en œuvre et par sa pertinence. Elle a été élaborée pour des milieux présentant une très grande variété de situations (Rhône, Ain), mais elle permet de détecter une hétérogénéité fonctionnelle au sein des bras de cours d'eau beaucoup plus uniformes, tels que la Saône. Elle pourrait être appliquée sans difficulté à d'autres systèmes fluviaux.

Cette méthode constitue un outil d'aide à la décision en matière de restauration des bras ; elle est utilisée en ce sens le long de la rivière d'Ain.

Cette méthode pose toutefois différentes questions :

- 1 si les relevés eux-même peuvent être réalisés par toute personne à même de déterminer les espèces concernées, leur interprétation est plus complexe. L'automatisation du diagnostic constitue un objectif très séduisant, actuellement en cours de réalisation dans le cadre du programme décennal de restauration du Rhône.
- 1 la base de données sur les espèces doit encore s'enrichir et se consolider, en particulier pour les hélophytes ;
- 1 certains facteurs limitent la présence de la végétation, et donc interdisent un diagnostic fiable : hautes altitudes, ombrage fort... ;
- 1 si la trophie, les perturbations et la nature du substrat expliquent pour une large part la répartition de la végétation, d'autres facteurs interviennent, parfois de façon majeure. Ainsi, l'explosion des populations de certaines plantes invasives telles *Elodea nuttallii* ou *Ludwigia sp.* bouleversent dans certains bras l'organisation du milieu. Par ailleurs, le diagnostic ne porte pas sur l'état successional du bras, ni sur les connections entre milieux.

CONTACTS

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE

Claude Amoros,
UMR CNRS 5023,
université Lyon I.
43 Boulevard du 11 novembre 1918, 69622
Villeurbanne cedex.
Mel : amoros@univ-lyon1.fr

VEGETATION AQUATIQUE

Gudrun Bornette,
UMR CNRS 5023.
Mel : bornette@avosnes.univ-lyon1.fr

7- L'histoire des zones humides

Une clef pour comprendre le présent

La vallée de la Seine au 18ème siècle, d'après la carte de Cassini
(source : Institut Géographique National)

Problématique

Le passé des zones humides a longtemps été négligé par les historiens, plus préoccupés par les parties les plus productives de l'espace rural.

Il s'agit pourtant d'une thématique majeure, généralement riche et complexe. Son analyse est souvent très importante pour comprendre l'état actuel des sites : fonctionnement hydrologique, occupation des sols, dimensions socio-économiques. Les travaux du PNRZH ont apporté des éclairages diversifiés sur cette problématique, et en particulier sur l'évolution des sites depuis le dix-neuvième siècle.

Présentation de la recherche

De nombreux projets du PNRZH se sont intéressés à cette question.

- entre Scarpe et Escaut : étude du site de Condé sur Escaut (environ 1 000 ha : étangs, friches minières et marais) ;
- Seine moyenne : étude des aménagements fluviaux et de l'évolution de l'occupation des sols ;
- Camargue : analyse des changements altitudinaux ;
- Loire : histoire géomorphologique des zones humides ;
- Mont Saint-Michel : histoire de la baie, évolution de l'occupation des sols.

Seuls les trois premiers de ces projets font l'objet d'une présentation dans cette fiche.

Les sources principales

Plusieurs sources complémentaires peuvent être mises à contribution pour reconstituer l'histoire des zones humides.

DONNEES PHYSIQUES, BIOLOGIQUES ET ARCHEOLOGIQUES

Un certain nombre de techniques et de données permettent d'aborder l'histoire ancienne des zones humides :

datation au carbone 14, palynologie, archéologie...

Ces techniques ont été relativement peu mises en œuvre dans le cadre du PNRZH.

CARTES ANCIENNES

A partir du 18ème siècle ont été établis des plans et cartes, portant sur des espaces bien précis (par exemple, la Loire après la crue de 1846), voire sur l'ensemble du territoire national (carte de Cassini, cadastre napoléonien, cartes d'état major...). Ces documents peuvent être recalés sur les cartes actuelles, avec plus ou moins de difficultés. Certaines de ces cartes apportent des informations très précises sur l'occupation des sols ou les ouvrages hydrauliques.

TEXTES HISTORIQUES

Des sources historiques aident à comprendre les évolutions de façon plus qualitative : procès, projets d'aménagements...

PHOTOGRAPHIES AERIENNES

A partir de 1945, l'existence de photographies aériennes systématiques, renouvelées régulièrement, rend possible l'étude précise de l'occupation des sols.

AUTRES IMAGES

Les images satellites, infrarouges couleur ou autres fournissent des informations complémentaires, et potentiellement intéressantes (voir fiche 9). Elles sont disponibles depuis une date plus récente, selon un pas de temps souvent peu dense.

ENTRETIENS

L'histoire des zones humides au cours des dernières décennies peut être analysée de façon pertinente à partir d'entretiens auprès des utilisateurs de l'espace. Le recueil peut porter sur des données factuelles (pratiques agricoles ou autres) ou sur les représentations locales des zones humides (voir cahier 3).

L'étude historique d'une zone humide doit être fondée sur

plusieurs sources. Les cartes et photographies aériennes sont utiles pour une étude systématique et quantitative, mais elles ne permettent pas de comprendre les raisons des changements observés, ni de distinguer certains types de milieux proches. Il s'avère donc intéressant de compléter leur analyse par des recherches plus qualitatives (recherches de textes, enquêtes...).

Nous présentons ci-dessous quelques unes des approches historiques menées dans le cadre du PNRZH.

Conde sur Escaut : des zones humides liées à l'histoire des hommes

Les zones humides du secteur Scarpe-Escaut ont connu une évolution particulièrement forte depuis plusieurs siècles. Il est possible de distinguer trois phases, étudiées à partir de documents distincts.

LES PREMIERS AMENAGEMENTS

A partir de 1725, plusieurs cartes anciennes permettent une analyse de la situation avant les premiers grands aménagements. Ces cartes montrent l'intérêt stratégique de la région, et la volonté de conquête agricole du territoire. Cette période connaît en particulier un important effort de drainage agricole. Jusqu'à la fin du 17ème siècle les zones humides sont valorisées sous la forme de prairies inondables bordées de saules têtards et d'aulnes et où les rivières serpentent en méandres libres. L'inondation et les marais sont conservés tardivement parce qu'ils sont considérés comme un élément de la défense du pays. Le rattachement de cette région à la France (1678) marque le début d'une série de grands travaux hydrauliques, menés surtout au cours du 18ème siècle. De nombreux canaux sont créés dans une double logique agricole (drainage) et militaire (durant les

périodes de guerre, ces ouvrages servaient à créer des inondations pour protéger la place forte de Condé).

LE 19EME SIECLE

Le cadastre du Consulat (1808) permet une analyse détaillée et comparable avec la situation actuelle ; elle identifie de façon précise (1/5 000) la nature de l'occupation des sols. Cette source met en évidence le réseau hydrographique et les boisements. Les zones humides sont plus difficiles à distinguer dans la mesure où elles sont assimilées aux prairies. Le réseau hydrographique apparaît comme déjà nettement artificialisé, mais de façon infiniment moins poussée qu'à l'heure actuelle.

Le 19ème siècle voit l'intensification de la mise en valeur, avec la création de canaux surélevés servant à la fois à la navigation et au drainage.

L'exploitation charbonnière, entre 1838 et 1988 modifie encore le système, en nécessitant l'évacuation des eaux souterraines. A partir de la première guerre mondiale, les affaissements miniers contribuent à la création de plans d'eau.

LES ANNEES 1950-2000

Les changements plus récents (à partir de 1951) ont été analysés à travers les photographies aériennes.

Les zones humides connaissent une évolution rapide en fonction des affaissements, aménagements hydrauliques (création de canaux, stations de relevage), comblements d'étangs par des terrils...

Entre 1983 et 1995, les surfaces en eau augmentent encore du fait de l'exploitation des schistes rouges et de la création d'un parc récréatif sur le thème de l'eau.

La période actuelle est marquée par un changement des fonctions des zones humides, qui (re)trouvent une valeur à travers les activités récréatives, la chasse à la hutte et la biodiversité. Si du 17 au 19ème siècle, la région a connu une artificialisation de la nature, la période actuelle connaît une

EVOLUTION DU SITE DE CONDE SUR ESCAUT



La Seine moyenne : histoire de l'artificialisation

Le projet Seine Moyenne a abordé le passé de la vallée à partir de deux approches très distinctes par les périodes étudiées et les méthodes utilisées.

MUTATIONS DU FLEUVE ET DE SA VALLEE DEPUIS TROIS SIECLES

L'analyse des archives et des cartes anciennes permet de comprendre certaines dimensions de l'évolution de la vallée depuis le 18ème siècle.

UNE VALLEE INTENSEMENT EXPLOITEE PAR L'AGRICULTURE

Jusqu'au 19ème siècle, la vallée de la Seine a été exploitée intensivement par les communautés riveraines, en particulier pour la production fourragère. Le paysage était alors dominé par les prairies, avec des boisements beaucoup moins étendus qu'aujourd'hui.

Les annexes fluviales actuelles apparaissent marquées par les actions des hommes. Depuis plusieurs siècles, des modifications ont été apportées au réseau hydrographique : alimentation des moulins, création d'abreuvoirs, curage des fossés, rouissage du chanvre... Les annexes et fossés connaissent un entretien régulier, motivé par la recherche difficile d'un équilibre entre évacuation des eaux excédentaires et bonne alimentation en eau des prés.

Au 19ème siècle, les progrès techniques permirent des aménagements plus lourds, visant à drainer (" assainir ") ou irriguer les plaines, à partir de travaux sur le réseau hydrographique (curage, reconnections...).

DE GRANDS AMENAGEMENTS FLUVIAUX

Plusieurs types d'actions sur le lit mineur se sont succédé historiquement avec des recouvrements chronologiques.

Dragages et protection des berges

Le maintien des conditions de navigation constitue un objectif capital dès le Moyen-Age ; il justifie des extractions de sédiments sur les hauts-fonds et des renforcements de berges dans les secteurs où les érosions dégradaient le chemin de halage.

Barrages

Deux générations de barrages se sont succédées sur la Seine :

- barrages à aiguilles gérés par un système d'éclusées (lâchers d'eau temporaires destinés à la navigation) ;
- barrages à écluses. De 1860 à 1870, 12 barrages ont été construits sur la Seine pour améliorer le tirant d'eau en faveur de la navigation.

Dérivations et coupures de méandres

Les tronçons à méandres de la Seine entre Troyes et Montereau ont nécessité un type particulier d'aménagement. Certains méandres ont été rescindés entre 1808 et 1888 par creusement d'un canal, provoquant l'assèchement et la sédimentation de la boucle. Dans d'autres cas, le creusement de dérivations court-circuitait tout un tronçon de fleuve, permettant de réduire notablement la longueur du cours d'eau ; ce type d'opération a été réalisé dès la fin du 18ème siècle, et jusqu'en 1900.

L'ensemble de ces recherches montre que la vallée actuelle est le résultat d'une longue histoire ; des milieux aussi " naturels " que les annexes fluviales ou les forêts alluviales ont été profondément marqués par les activités humaines.

EVOLUTION DE L'OCCUPATION DES SOLS DEPUIS 1948

L'utilisation des sols a varié souvent et beaucoup dans les zones humides au cours des derniers siècles, et la connaissance de cette histoire éclaire de façon significative la compréhension des milieux actuels.

L'étude des évolutions antérieures à la seconde guerre mondiale est difficile par la rareté des sources documentaires. Dans la Bassée, l'analyse des cartes et textes anciens a mis en évidence la réduction importante des terres labourées au profit des prairies, au cours du 19ème siècle. Les causes de cette mutation ne semblent pas claires.

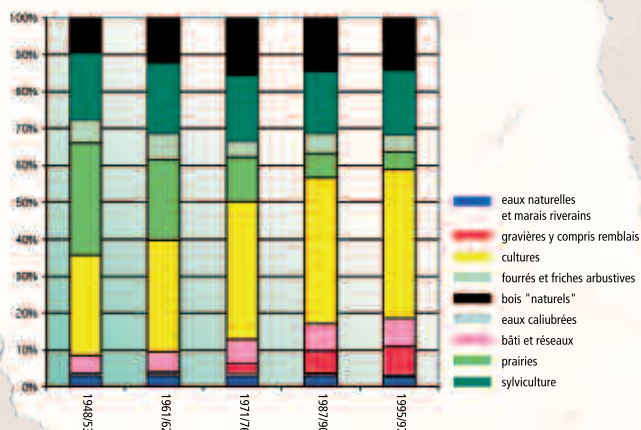
L'information est nettement plus précise à partir des années 1940, grâce à la qualité des photographies aériennes et cartes topographiques.

Quatre secteurs (Bassée, Plaine de Romilly, corridor Seine, corridor Aube), soit 40 700 ha, ont été étudiés à partir de l'analyse des photographies aériennes, complétée par celle des cartes.

La photo-interprétation a été réalisée par échantillonnage, avec étude d'un transect perpendiculaire à l'axe de la vallée tous les deux kilomètres. L'analyse est effectuée selon une typologie de 21 modes d'utilisation des sols, réunis par la suite en 9 types.

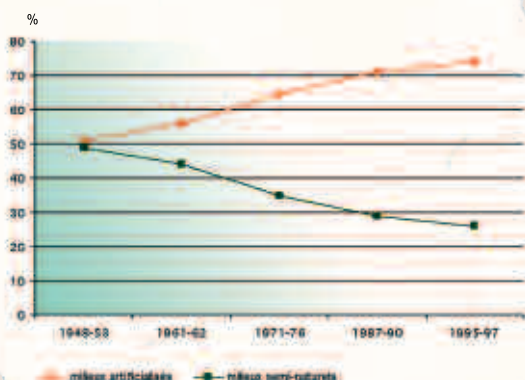
Les données sont ensuite traitées statistiquement selon la technique des matrices de transition, montrant les transferts d'occupation du sol. Les résultats des transects sont ensuite extrapolés en termes de surface.

UTILISATION DU SOL POUR LES CINQ MISSIONS PHOTOGRAPHIQUES ANALYSEES



La période 1948-1997 a connu une forte régression des milieux naturels et semi-naturels au profit des milieux artificialisés. Le phénomène le plus marquant est la régression drastique des prairies, qui ont perdu 90 % de leur superficie, soit 10 000 ha.

EVOLUTION DES MILIEUX NATURELS ET ARTIFICIALISES



Les transferts d'occupation des sols sont intéressants à examiner. La mutation de loin la plus considérable est la transformation des prairies en labours, qui a concerné 15 % du territoire total. Certaines prairies ont également été plantées en peupliers, transformées en gravières ; d'autres ont été colonisées spontanément par les ligneux.

D'un autre côté, des surfaces cultivées ont également connu des pertes non négligeables (3 500 ha), causées par les gravières, l'urbanisation, les infrastructures ou la populiculture.

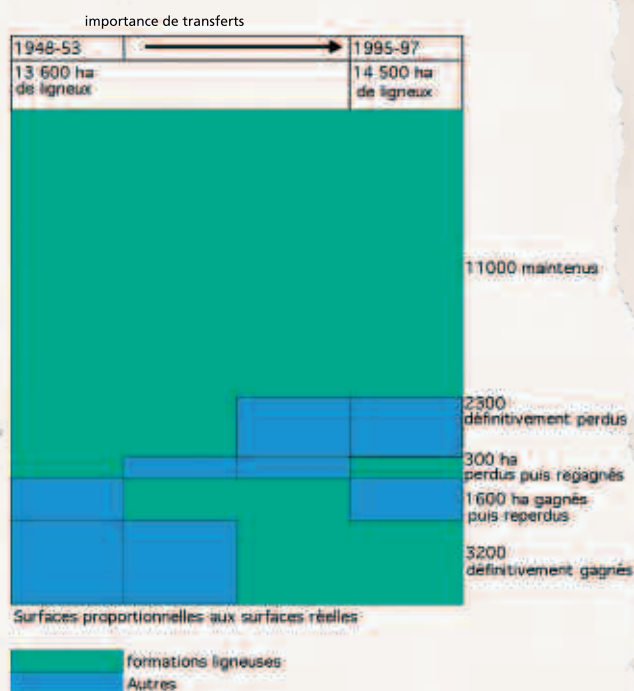
L'évolution des surfaces boisées montre une stabilité globale (fluctuations autour de 34 à 37 %), qui cache des phénomènes complexes. La sylviculture intensive (plantations de peupliers) est stable, occupant entre 17 et 19% du territoire total. Dans le détail, on constate de fortes fluctuations dans l'âge des boisements ("vagues" de plantations et de cou-

pes). Ce mode d'occupation de l'espace connaît des disparités géographiques : régression dans la Bassée, progression dans les corridors Seine et Aube.

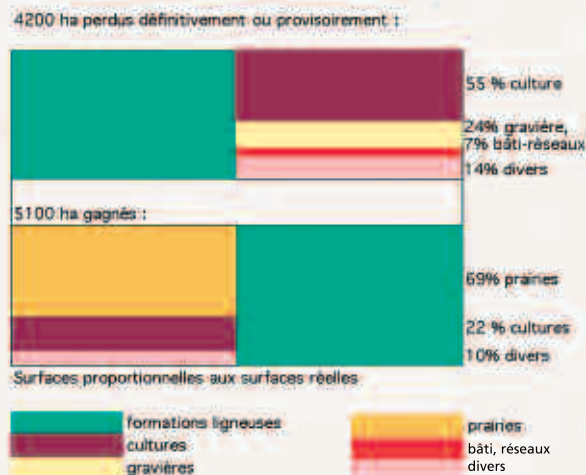
Les boisements d'aspects naturels (incluant les peupleraies adultes non entretenues) ont progressé (de 10 à 14 %). Le travail a permis d'identifier les bois "naturels" de haut jet depuis 50 ans, soit 1900 ha ; les forêts alluviales les plus intéressantes sont à rechercher dans cet ensemble.

Au total, on constate que la stabilité globale des surfaces boisées cache des transferts importants de modes d'occupation des sols.

LES TRANSFERTS AU SEIN DES FORMATIONS



NATURE DES TRANSFERTS



Camargue : analyse des variations altitudinales

Le delta du Rhône constitue un territoire hautement dynamique. L'action du fleuve et de la mer provoque des évolutions morphologiques (érosions et dépôts), fortement influencées par les activités humaines (par exemple, rétention des flux sédimentaires par les barrages). En outre, les berges et le littoral ont fait l'objet d'aménagements hydrauliques depuis l'époque romaine, et surtout au cours des derniers siècles, destinés à faciliter la mise en valeur économique des terres.

Tous ces facteurs conduisent à des changements dans la morphologie et la topographie du delta, avec des conséquences fortes sur le fonctionnement hydrologique et écologique de la zone.

COLLECTE DE DONNEES

L'étude de l'évolution topographique de la Camargue a été possible grâce à l'existence d'un document exceptionnel. Il s'agit d'une carte au 1/50 000 de 1851, intégrant des données topographiques précises de 1837 (plus de 3 600 cotes), ainsi que des informations sur le réseau hydrographique, la nature des terrains, le bâti, les berges, les ouvrages hydrauliques... Cette carte a été saisie et intégrée dans un Système d'Information Géographique mis en place dans le cadre du PNRZH. L'utilisation de cette carte et sa comparaison avec la situation actuelle ont nécessité un calage géographique et altitudinal :

- sur le plan horizontal, la carte de 1837 ne se superposait pas exactement sur les cartes actuelles. Il a donc été nécessaire de déformer cette carte en se basant sur des points fixes (amers) réputés stables dans l'espace depuis le 19^e siècle (digues du Rhône, bâti...), répartis dans tout le delta ;
- pour caler les cotes altitudinales de 1837 par rapport à la référence actuelle (IGN 69) ; il a été nécessaire d'identifier des points fixes (à Arles), mesurés selon les deux méthodes. Une différence de 37,7 cm entre les deux systèmes de mesure est apparue.

Ces données ont été comparées avec les données actuelles. Sur le plan topographique, un modèle numérique de terrain contemporain a été réalisé à partir d'une cartographie des altitudes de la Grande Camargue composée en rassemblant différentes données :

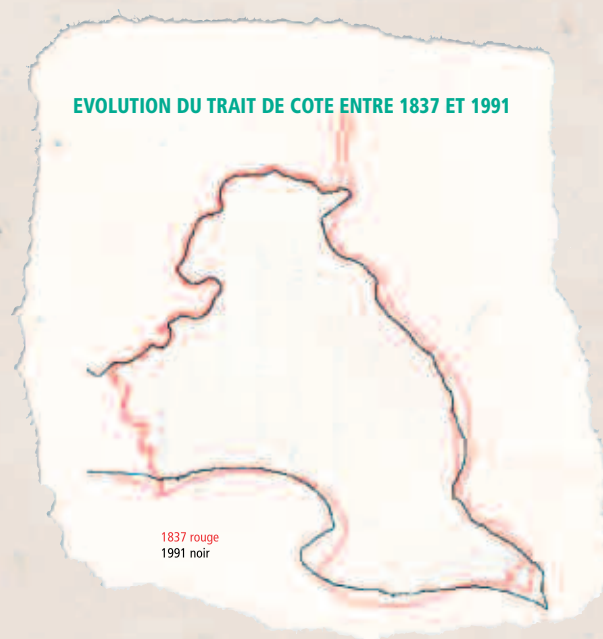
- altitudes figurant sur les cartes IGN ;
- altitudes de 35 profils réalisés en 1970 par la DDAF ;
- bathymétrie de la Réserve Naturelle de Camargue ;
- contrôles de données sur le terrain dans le cadre de l'étude (environ 1500 points).

La topographie actuelle de la Camargue s'avère particulière-

ment complexe, parce qu'elle a été modifiée artificiellement dans le cadre de la riziculture (constitution de casiers horizontaux composés de parcelles rizicoles d'altitudes différentes).

COMPARAISON 1837-1996

Sur le plan spatial, la comparaison des deux cartes confirme les connaissances antérieures. L'évolution des traits de côte montre en particulier une forte érosion sur certains tronçons, et une avancée en d'autres points (cf carte ci-dessous).



Sur le plan altitudinal, les résultats sont plus originaux. L'altitude générale du delta n'a pas connu de variation significative à cette échelle de comparaison.

Certaines structures apparaissent très stables dans le temps : bourrelets alluviaux, basses terres (Vaccarès, étangs du sud)... Des différences notables apparaissent toutefois. 20 % de la superficie de l'île a connu des modifications altitudinales supérieures à 50 centimètres (voir tableau ci-dessous).

REPARTITION DES DIFFERENCES D'ALTITUDES ENTRE 1837 ET 2000

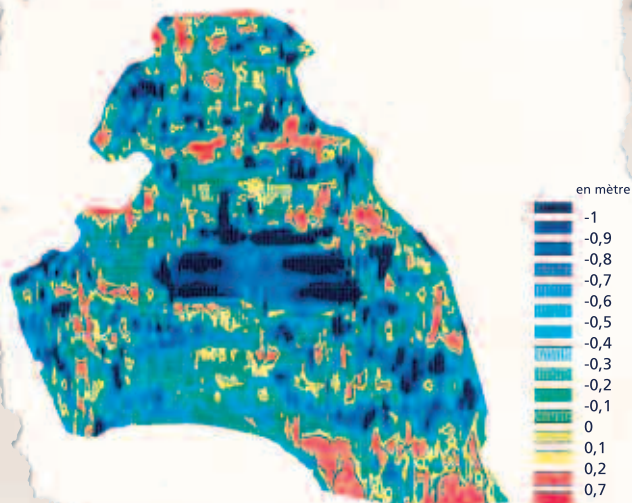
Différence d'altitude (m) 1837-2000	% de la Surface
>+1m	3,5
+ 0,5 à + 0,75 m	6,5
+ 0,25 à + 0,5 m	15,9
0 à + 0,25 m	25,6
- 0,3 m à 0	21,2
-0,5 à -0,3 m	15,9
-0,75 à - 0,5 m	7,8
-1 à -0,75 m	2,5
>-1m	1,1

Une partie de ces différences peut être attribuée à la différence de méthode de travail aux deux dates, et en particulier à l'insuffisance du nombre de données actuelles.

Certaines différences restent cependant manifestes, mais difficiles à expliquer. Outre les aménagements résultants de la mise en valeur agricole, on peut penser qu'elles résultent d'une part d'apports de sédiments depuis le Rhône, de mouvements des matières remises en suspension dans les plus grands étangs et d'autre part de la subsidence et de la compaction des sols.

La stabilité générale du relief est intéressante en ce sens qu'elle montre que les écoulements actuels, souvent perçus comme étant d'origine totalement anthropique, résultent d'abord du relief naturel.

EVOLUTION DES ALTITUDES ENTRE 1837 ET 1996



48

Limites et perspectives

L'étude du passé des zones humides constitue une base très importante pour la gestion. Elle permet de comprendre la mise en place et le fonctionnement des milieux et du réseau hydrographique. L'histoire a également des conséquences très fortes en matière foncière, sociologique et réglementaire (droits d'eau...). Certaines évolutions mises en évidence étant susceptibles de se prolonger dans le futur, ces données contribuent à la réflexion prospective.

Les études menées dans le cadre du PNRZH restent ponctuelles, mais elles confirment la portée des démarches historiques.

Quelques grands phénomènes apparaissent de façon flagrante :

- les zones humides sont le résultat de l'action conjuguée

de la nature et des hommes. L'artificialisation de ces espaces est souvent extrême, jusqu'au cas du secteur de Scarpe-Escaut où le réseau hydrographique actuel ne correspond plus du tout aux bassins versants topographiques.

- certains types de milieux naturels connaissent une raréfaction drastique depuis quelques décennies. Il s'agit en particulier des prairies humides ;
- l'évolution des zones humides est très liée à celle de leur statut socio-économique. Les espaces " naturels " sont conservés si les moyens techniques et financiers disponibles à une époque donnée ne permettent pas une intensification de leur mise en valeur, ou s'ils connaissent une valorisation économique ou sociale, dont les modalités sont extrêmement diversifiées et fluctuantes au cours du temps.

Sur le plan méthodologique, les recherches ont montré la diversité et la richesse des sources d'informations dans ce domaine, mais également la difficulté d'exploitation de certains documents ; les cartes constituent une base nécessaire de cette étude, qui doit être complétée par des éléments plus explicatifs.

Les études historiques doivent être considérées comme un élément d'une connaissance globale nécessaire à une bonne gestion. En ce sens, il est sans doute souhaitable que les recherches historiques soient de plus en plus réalisées de manière intégrée au sein de programmes interdisciplinaires, avec une meilleure appréciation des causes et des conséquences des évolutions identifiées.

CONTACTS

CAMARGUE :

Alain Dervieux
alderv.desmid@wanadoo.fr

CONDE SUR ESCAUT :

Richard Laganier
richard.laganier@paris7.jussieu.fr
Claude Kergomard
claud.kergomard@univ-lille.fr
Daniel Petit
daniel.petit@univ-lille.fr

SEINE :

Jean-Christophe Kovacs
jean-christophe.kovacs@ecosphere.fr

8- La prospective

Une démarche pour aborder le futur des zones humides

La Camargue, territoire étudié en matière de prospective dans le cadre du PNRZH (photo A. Dervieux)

Problématique

La mise en place de politiques ou d'actions en faveur des zones humides impose une réflexion préalable sur les évolutions à venir. Si cette question est souvent abordée par les gestionnaires sur la base d'expertises de thèmes très ponctuels (embroussaillage des milieux ouverts par exemple), elle mérite d'être posée de façon beaucoup plus systématique et globale.

La prospective, " projection dans le futur d'un système complexe et en grande partie indéterminé ", offre un cadre méthodologique à cette réflexion.

Cette approche enrichit toute analyse des zones humides ; elle peut s'avérer particulièrement intéressante dans le contexte d'un projet de recherche.

Présentation de la recherche

L'un des projets du PNRZH a porté spécifiquement sur la mise en œuvre de démarches prospectives des zones humides à l'échelle micro-régionale dans le cadre de projets de recherche. Les spécialistes du domaine ont mené un travail en liaison étroite avec les chercheurs impliqués sur trois sites faisant l'objet d'autres travaux dans le cadre du PNRZH. L'essentiel de la recherche a été mené sur le site atelier de la Camargue, la Bretagne (projet Tyfon) et la Seine moyenne ayant été traitées de manière plus ponctuelle.

Méthodes de la prospective

En reprenant les méthodes classiques de la prospective, les travaux entrepris ont principalement été basés sur l'élaboration de scénarios. Il s'agit de construire des représentations du futur fondées sur des récits décrivant l'état actuel, l'état futur et le cheminement entre ces deux états en intégrant les ressources et problématiques des différentes disciplines,

sciences humaines et naturelles, mobilisées dans l'étude des zones humides. Un préalable consiste à choisir l'horizon temporel des scénarios ; l'échéance 2025-2030 a été retenue pour les travaux du PNRZH.

TROIS GRANDES PHASES

On distingue trois grandes étapes dans la construction de scénarios.

PREMIÈRE PHASE : " MISE EN TENSION " DE LA DÉMARCHE.

Elle vise à identifier les " bonnes questions " pour le futur. Partant du principe que des équipes de recherche pluridisciplinaires intégrant l'analyse du long terme dans leurs travaux sont bien armées pour mettre en évidence des enjeux de gestion de l'environnement, une des premières étapes consiste à repérer les questions que ces équipes se posent quand elles envisagent le futur. Quelles sont les projections envisageables qui ressortent des travaux de recherche dans chacune des disciplines ? Quelles sont les variables déterminantes ? Quels enjeux de gestion spécifiques se dégagent, en particulier ceux que les politiques publiques ne prendraient pas en compte ? Traiter ces questions dans une perspective de futur à long terme peut amener à changer l'articulation d'ensemble des disciplines dans l'analyse d'une zone humide. Par exemple, l'étude actuelle de la Camargue place les flux hydrologiques en amont de la régulation du système. Dans le futur, on peut envisager que les fonctions environnementales remplies par différents espaces deviennent déterminantes.

DEUXIÈME PHASE : CONSTRUCTION DES CONJECTURES ORGANISÉES DANS LE CADRE DE SCÉNARIOS.

Plusieurs sources peuvent être mobilisées dans cette optique.

Traitement systématique de données issues des projets de recherche : analyse des tendances du passé, construction de modèles... La démarche est fondamentale, mais peut rester partielle parce que :

- tous les facteurs d'évolution ne sont pas suivis

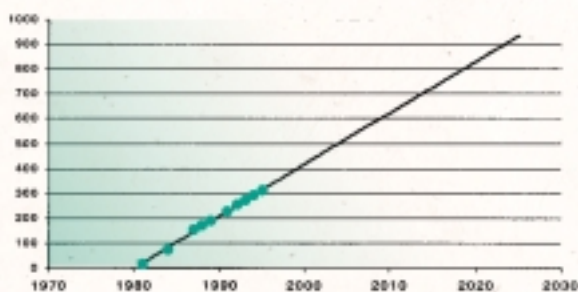
précisément ;

- les interactions entre facteurs sont importantes et complexes ;
- le futur peut connaître des ruptures significatives, liées par exemple à des facteurs politiques, économiques et sociaux.

Recueil de données complémentaires issues des travaux de prospective régionale (DATAR par exemple) ou thématiques (agriculture, tourisme,...).

Les projections de population ou économiques de l'INSEE sont un bon exemple de source de données contribuant à construire des conjectures à long terme (cf. graphe).

UN ÉLÉMENT DU SCÉNARIO TENDANCIEL
DU BASSIN DE LA SEINE :
L'ÉVOLUTION DU NOMBRE DE GÎTES RURAUX EN CÔTE D'OR



50

Avis d'experts : l'interrogation d'experts, individuellement ou en groupe, permet une approche intuitive, qui sert à mettre en évidence des évolutions peu perceptibles statistiquement. Il s'agit toutefois d'une démarche empirique.

TROISIÈME PHASE : ANALYSE HISTORIQUE

Même de façon peu quantifiée, il est utile, voire indispensable de procéder à une analyse historique, qui aide à dégager des orientations pour le futur. En Camargue, les chercheurs ont réalisé des chronogrammes, représentations synthétiques de l'état de la zone humide à différentes époques, pour différentes rubriques (fonctions, données naturelles, déterminants internes ou externes...). La démarche permet d'aborder de façon globale le changement historique de la micro-région ; cette vision éclaire et met en perspective les tendances à court et moyen termes, elle contribue à enrichir la construction de conjectures. Suivant que l'on interprète, au regard du passé, la Camargue comme une " île " ou au contraire comme une composante d'un territoire plus large, les scénarios à envisager ne sont pas les mêmes.

IDENTIFIER LES FACTEURS DE L'ÉVOLUTION

L'une des clefs de la démarche consiste à identifier l'ensem-

ble des facteurs qui influencent l'évolution des zones humides (approche structurale).

En Camargue, 27 facteurs (variables) ont été retenus ; pour chacun ont été appréciés son degré d'influence et son degré de dépendance vis-à-vis des autres variables du système.

VARIABLES EXTERNES AU SYSTÈME CAMARGUE

- forçage climatique sur la zone
- politiques agricoles sur le riz et le blé
- demande extérieure en taureaux
- nombre de touristes
- demandes des touristes

VARIABLES INTERNES

- entrées/sorties d'eau du Rhône
- entretien du système d'irrigation
- état des digues à la mer
- état des digues au Rhône
- salinité des eaux
- richesse ornithologique
- valeur écologique du milieu
- surface en riz
- mode de gestion des marais de chasse
- niveau et type de chasse
- pouvoir des propriétaires
- démoistification
- nombre de taureaux dans la zone
- activité saline
- richesse des personnes privées
- politique touristique des communes
- finances des communes
- sentiment d'identité camarguaise
- influence des associations environnementales locales

VARIABLES MIXTES INTERNES / EXTERNES

- projet de pont
- mesures politiques et financière de protection de l'environnement
- démographie et urbanisation de la zone

En Bretagne, un tel inventaire a montré que les facteurs de changements étaient très largement indépendants des fonctions des zones humides. Le poids du facteur foncier est en particulier apparu déterminant.

Il est indispensable d'analyser les relations entre facteurs et les conséquences de l'évolution d'un facteur sur les autres. Plusieurs approches sont utilisées dans ce domaine :

- une matrice (tableau) sert à examiner deux à deux les relations entre chaque facteur ;
- les grilles d'usages territoriaux offrent un cadre de réflexion ;
- des simulations à partir de modèles peuvent être réalisées ; ainsi, dans le projet Seine, les transformations pressenties ont été simulées grâce au modèle SENEQUE, outil de calcul en matière d'hydrologie et de qualité des eaux.

UNE ANALYSE À MENER À DIFFÉRENTES ÉCHELLES SPATIALES

Les facteurs qui influencent le devenir des zones humides se rapportent à des échelles très variées, allant du local au plus global.

Les gestionnaires d'espaces naturels connaissent bien les

échelles locales. Il est souhaitable qu'ils appréhendent de plus en plus les niveaux supérieurs qui conditionnent une bonne partie des changements futurs. Parmi les facteurs jugés majeurs pour l'évolution future de la Camargue, citons la démographie (et les besoins qui en découlent en matière d'infrastructures et de loisirs), les modifications du niveau de la mer ou les prix du riz...

QUELQUES FACTEURS À DIFFÉRENTES ÉCHELLES	
Echelle	Facteur
Microlocale	Choix du propriétaire en matière de valorisation de sa propriété. Dynamique des écosystèmes
Communale	Plan Local d'Urbanisme
Bassin versant	Modification des débits en fonction de l'occupation des sols ou des aménagements hydrauliques
Régionale	Évolution démographique et socio-économique
Nationale	Réglementation
Européenne	Réforme de la Politique Agricole Commune Protection de l'environnement
Mondiale	Réchauffement climatique (relèvement du niveau marin) Marchés agricoles

Une vision simplificatrice conduit souvent à opposer un niveau local (par exemple la zone humide) et un niveau global (par exemple le bassin versant). Il apparaît nécessaire de la dépasser, en choisissant pour chaque facteur l'échelle pertinente et en croisant les effets.

Au total, il est souhaitable de saisir l'espace et son évolution à partir d'approches contrastées. D'une part, il convient de s'interroger sur " l'espace de problèmes ", défini sur la base des fonctionnalités (d'ordre hydrologique, biogéochimique...), comprenant la zone humide, mais également les aires intervenant dans son fonctionnement écologique. Cette échelle correspond au point de départ de la prospective. D'autre part, il est souhaitable de mener une analyse partant d'un niveau plus global, " l'espace de solutions ", là où s'expriment les systèmes humains qui influencent les activités touchant les zones humides. Ceci amène à prendre en compte les dimensions techniques, économiques, sociales et politiques des actions. Cette réflexion élargie à l'échelle des espaces de solutions mérite d'être généralisée ; elle enrichit fortement les analyses habituelles, trop centrées sur les zones humides proprement dites.

Plusieurs approches pour esquisser l'avenir de la Camargue

Les méthodes classiques de construction de scénarios ont été utilisées à propos de la Camargue ; elles ont ensuite été

complétées par des analyses visant à mieux prendre en compte les dynamiques locales et les tendances globales.

SCÉNARIOS DE BASE

Des scénarios ont été élaborés dans le cadre du projet de recherche.

SCÉNARIO TENDANCIEL : LE DÉVELOPPEMENT DU TOURISME NATURALISTE

Dans ce type de scénarios " au fil de l'eau ", on considère que le futur verra la poursuite des tendances observées au cours des dernières décennies, avec éventuellement des changements dans les vitesses d'évolution.

En Camargue, la conception du synopsis a reposé sur l'analyse de neuf thèmes (agriculture, chasse, élevage, tourisme, milieux naturels, milieu urbain, salins, ouvrages hydrauliques, pêche).

L'image obtenue pour 2025-2030 est celle d'une Camargue dans laquelle le tourisme naturaliste a pris une place centrale à la suite de la fermeture des salins. Les domaines privés ont évolué vers les loisirs ou l'agriculture de qualité.

SCÉNARIOS CONTRASTÉS

Ces scénarios, de type " forecasting ", ou exploratoire consistant, à faire évoluer l'image actuelle selon différents événements plausibles. L'objectif est de comprendre comment l'ensemble du système réagirait à des changements (par exemple : réforme de la PAC, déclin de l'agriculture, textes européens sur la chasse...).

Pour construire les deux scénarios, des hypothèses opposées ont été retenues sur sept thèmes (agriculture, protection de la nature, sel, équipement-aménagement, tourisme, chasse et élevage). L'exercice produit des images particulièrement contrastées, bien que le tourisme y occupe une place centrale. Dans le premier scénario, il s'agit d'un tourisme original basé sur l'image de la Camargue, dans un espace en crise. Dans le second, la Camargue se trouve " normalisée ", avec un tourisme similaire à celui du reste du littoral, de grandes infrastructures routières et une agriculture intensive.

SCÉNARIO DE RUPTURE : UN PARC D'ATTRACTION

Ce scénario est de type " backcasting " ; il s'agit d'imaginer directement une image future extrême, puis à chercher à comprendre quel cheminement plausible pourrait y conduire. Le résultat est fondé sur l'hypothèse d'une rupture des digues de la mer et du Rhône, qui entraînerait le déclin de l'agriculture, devenue trop aléatoire. La seule solution pour garantir l'avenir économique de la région en crise serait l'implantation de " Marécagia ", un parc d'attractions de grande ampleur. Cette transformation serait rendue possible par une série de crises dans le système d'acteurs qui le stabilise aujourd'hui

LA CAMARGUE EN 2030 SELON LE SCÉNARIO DE RUPTURE



SCÉNARIOS À L'ÉCHELLE DES DOMAINES : LA RÉACTION LOCALE AUX ÉVOLUTIONS POSSIBLES

L'une des phases les plus délicates de la démarche prospective est l'appréciation des conséquences futures d'une modification sur l'ensemble du système. Pour traiter cette question, les chercheurs ont mené un travail avec des représentants de grands domaines agricoles et cynégétiques, afin d'imaginer comment ils s'adaptent à un scénario possible d'évolution du delta.

Plusieurs enseignements ont été apportés par cet exercice :

- les domaines sont gérés par des acteurs variés, aux stratégies diversifiées ;
- ces acteurs bénéficient d'une bonne capacité d'adaptation aux évolutions (par exemple fluctuation des prix du riz) ;
- la question foncière est très importante ; on note la possibilité de recours au Conservatoire du littoral comme régulateur (acheteur potentiel) ;
- les activités changent : tendance à l'abandon de l'élevage et à l'orientation vers le tourisme ;
- les domaines sont dépendants vis-à-vis d'acteurs et de déterminants extérieurs au delta (prix agricoles, clients de la chasse, réglementation...).

SCÉNARIOS DESCENDANTS : L'INFLUENCE DES FACTEURS GLOBAUX

Cinq scénarios descendants ont été conçus, en imaginant le futur à l'échelle macro (la grande région), à partir de tendances observées, puis en imaginant les conséquences à l'échelle méso (la Camargue).

LA CAMARGUE PÉRIURBAINE

L'augmentation de la population et le développement économique de la métropole Arles-Sète transforment la Camargue en espace périurbain : diminution de l'agriculture, augmentation de la chasse de loisir, démoustication systématique, aménagements paysagers du nord du delta...

LA CAMARGUE, ZONE DE TRANSIT POUR LES ÉCHANGES DANS L'ARC MÉDITERRANÉEN

Le développement de l'Arc latin entre Barcelone et Gênes entraîne la construction d'une autoroute qui traverse la Camargue. Le delta devient une banlieue de Marseille ; l'industrie du sel et l'agriculture intensive sont favorisées.

LA CAMARGUE, LIEU DE TOURISME DE LUXE INTÉGRÉ DANS LE DÉVELOPPEMENT DE LA RÉGION

Le déclin du tourisme sur le littoral du Languedoc-Roussillon stimule cette activité en Camargue, aux dépens de l'agriculture.

L'EMBELLIE TOURISTIQUE EN CAMARGUE

La forte croissance économique de l'Europe fait évoluer la Camargue en une région touristique de haut niveau, dans le respect du milieu naturel.

LA DÉCHIRURE TOURISTIQUE EN CAMARGUE

Le déclin économique de l'Europe se traduit par une perte du pouvoir d'achat ; le développement touristique se fait de façon peu qualitative.

Quelques enseignements sur les zones humides

Les recherches entreprises ne visaient pas à élaborer des prévisions d'évolution des sites pilotes, et moins encore des zones humides en général. Le bilan du travail fait toutefois apparaître quelques éléments majeurs qui méritent d'être relevés.

UNE AUTRE FAÇON DE CONSIDÉRER L'ESPACE

Cet exercice a permis d'analyser le système Camargue avec du recul, modifiant certaines façons de percevoir l'espace. Ainsi, l'examen des relations entre variables d'évolution a conduit à relativiser la place de l'agriculture dans le système, cette activité paraissant beaucoup plus indépendante des autres variables qu'on aurait pu le penser. Son déclin n'entraînerait pas automatiquement une augmentation de la salinité dans le delta (par arrêt de l'irrigation depuis le Rhône), parce que d'autres mécanismes pourraient survenir (par exemple, la création d'un canal d'alimentation du

Vaccarès par le Rhône, à finalités écologiques et touristiques).

Sur un autre plan, l'analyse descendante a obligé à considérer la Camargue comme un élément d'une zone méditerranéenne à la dynamique économique et démographique très importante ; cette vision empêche de limiter l'analyse au système clos (" île ") que semble constituer, à première vue, la Camargue

L'ÉVOLUTION DES ZONES HUMIDES VERS LE TERTIAIRE

La dynamique des zones humides a longtemps été contrôlée par les activités primaires (agriculture, pêche), voire secondaires (hydroélectricité...). La période actuelle est marquée par un développement important des activités tertiaires et plus particulièrement des loisirs : chasse, tourisme, demande de nature des résidents secondaires... Cette tendance semble devoir marquer les prochaines décennies.

LA MULTIFONCTIONNALITÉ : OUI, MAIS...

Les zones humides sont de plus en plus perçues comme des espaces multifonctionnels, qui rendent à la société de nombreux services. Cette orientation est sans doute très intéressante, parce qu'elle donne aux zones humides un statut plus puissant, susceptible de renforcer la légitimité de leur préservation. La multifonctionnalité n'est pourtant pas inéluctable et l'un des scénarios imaginés en Bretagne montre une polarisation du paysage, entre les parties non humides, bonnes terres intégrées dans le système de production et les zones humides sur lesquelles portent des contraintes lourdes et qui sont finalement exclues du système de production et finissent par se boisier. Ce scénario s'oppose à celui d'une extensification générale de l'agriculture, favorable à la gestion équilibrée du territoire, conciliant nature et production, mais demandant une politique volontariste. Par ailleurs, le travail sur les zones humides bretonnes met en évidence qu'une gestion visant à optimiser une fonction donnée (par exemple régulation de l'azote) risque d'avoir des conséquences négatives sur d'autres fonctions. Les choix de gestion doivent être pris en pleine connaissance de ces interactions.

DE NOUVELLES RECHERCHES SOUHAITABLES

L'exploration du futur conduit à identifier des points clés mal appréhendés dans les recherches en cours. En Camargue, la contribution de géographes régionaux qui replaceraient le delta dans son contexte serait sans doute pertinente. En Bretagne, les enjeux à long terme de la gestion foncière sont apparus majeurs et appellent un

complément dans l'analyse technico-économique des exploitations agricoles.

Limites et perspectives

Les gestionnaires et les scientifiques sont peu enclins à engager des réflexions prospectives, qui peuvent leur sembler trop complexes, trop peu opérationnelles et trop aléatoires. Les travaux menés dans le cadre du PNRZH montrent que ces difficultés sont réelles, mais qu'elles ne doivent pas cacher l'intérêt de la démarche.

L'approche prospective est particulièrement utile dans la mesure où elle oblige les acteurs à prendre du recul et à dégager des points implicites ou volontairement occultés. Ainsi, en regardant la géographie et l'évolution de l'arc méditerranéen de Barcelone à Gênes, il est impossible d'éviter une réflexion sur les infrastructures routières et touristiques en Camargue. Cet exercice conduit également à prendre un recul historique ; il ne s'agit pas de s'interroger sur les modifications à court terme (le temps d'un mandat électoral, d'un plan de gestion...), mais de se doter d'une vision sur plusieurs décennies.

La prospective ne constitue naturellement pas une science exacte ; il s'agit d'un exercice de réflexion, permettant d'aborder la connaissance et la gestion des zones humides dans la conscience des futurs possibles. Pour que les scénarios présentent un intérêt, il est nécessaire de s'assurer de leur plausibilité ; cette analyse n'est pas chose aisée.

Une meilleure compréhension du futur présente également un intérêt en matière de suivi de l'environnement. Lors de la mise en place d'un observatoire sur une zone humide ou une région, les indicateurs sont généralement retenus pour suivre l'évolution de facteurs jugés importants actuellement. Dans une perspective plus longue, il s'avère nécessaire de prendre en compte des indicateurs pour détecter et suivre des facteurs nouveaux, identifiés lors de la démarche prospective.

CONTACTS

RESPONSABLE SCIENTIFIQUE :
Xavier Poux,
AscA,
8, rue Legouvé, 75010 Paris
tel 01 42 00 41 41
xavier.poux@free.fr

9- La télédétection

Des outils multiples pour mieux connaître les zones humides

Image satellite Landsat du sud de la Camargue : littoral, étangs (bleu), espaces terrestres (rouge)

Problématique

Les zones humides constituent des territoires complexes, dont les caractères et la perception fluctuent dans le temps. Leur cartographie suppose le recours à des méthodes diversifiées et adaptées.

La télédétection a été définie comme "l'ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci" (J.O. du 11 décembre 1980).

Dans le domaine de l'étude des milieux naturels, la définition de cette discipline a souvent été réduite à l'exploitation des images satellitaires, mais on peut y adjoindre celle des photographies aériennes et des données obtenues par des capteurs aéroportés.

L'intérêt de ces techniques est multiple :

- révélation d'événements difficilement perceptibles au niveau du sol (outil d'investigation) ;
- spatialisation et généralisation d'événements observés, c'est-à-dire l'extension, sous forme cartographique et statistique, de typologies élaborées localement (outil d'extrapolation) ;
- analyse de l'évolution des zones étudiées (outil de suivi).

Présentation de la recherche

La plupart des projets de recherche du PNRZH ont eu recours à la télédétection, avec des objectifs variés :

- connaissance générale des sites, préparation de la recherche ;
- inventaire des zones humides ;
- délimitation des sites ;
- caractérisation dans les domaines hydrauliques, géomorphologiques, écologiques...

La nature des zones humides et les objectifs des recherches expliquent le recours à des outils diversifiés.

Ces travaux ne couvrent pas la totalité des techniques disponibles et de leurs potentialités, mais ils ont exploré une grande diversité de problématiques.

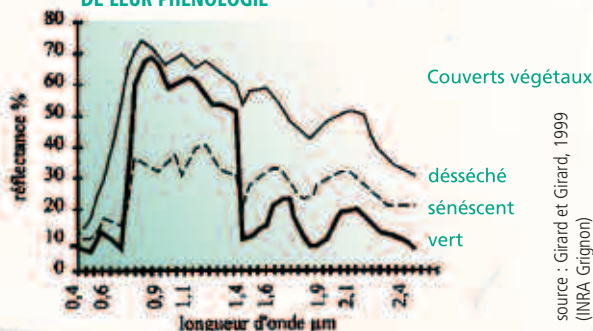
Pendant la durée du PNRZH, l'organisation d'un atelier sur les approches spatiales a été l'occasion d'échanges entre projets de recherches, et d'une harmonisation de certaines démarches.

Les outils et les méthodes

La télédétection repose sur l'utilisation de plusieurs domaines de longueurs d'onde du spectre électromagnétique, visibles ou non. Il s'agit d'analyser la part de l'énergie solaire réfléchie à la surface de la terre dans les parties visibles, proche infrarouge et infrarouge moyen du spectre électromagnétique, et de l'énergie émise par la terre elle-même au-delà de 3mm.

Chaque type de surface terrestre réagit spécifiquement dans les différents domaines spectraux par rapport aux flux d'énergie qu'il reçoit, en fonction de sa nature et de son état. Cette particularité définit la signature spectrale de chaque type de surface, ce qui permet de l'identifier et de le cartographier.

REFLECTANCE DES COUVERTS VEGETAUX EN FONCTION DE LEUR PHENOLOGIE



Différents capteurs sont utilisés pour acquérir des informations sur un espace étudié, pour un intervalle donné de longueur d'onde (appelé bande spectrale).

On distingue des capteurs multispectraux, qui recueillent des données sur quelques bandes spectrales larges, et des capteurs hyper spectraux, qui analysent de très nombreuses (jusqu'à 300) bandes très étroites.

Domaines spectraux les plus utilisés	Longueur d'onde	Principales données de télédétection utilisées	
		Satellites	Aéroportées
Visible	400 nm 700 nm	Images de radiomètres multispectraux	Photographies aériennes panchromatiques et couleur Images hyperspectrales
Infrarouge proche	800 nm 1500 nm	Images de radiomètres multispectraux	Photographies aériennes infrarouge (500-900 nm) Images hyperspectrales
Infrarouge moyen	1500 nm 5000 nm	Images de radiomètres multispectraux	Images hyperspectrales
Infrarouge thermique	8000 nm 14000 nm	Images de radiomètres multispectraux	Thermographies
Hyperfréquences	0,75 cm 136 cm	Radars, images de radiomètres multispectraux	Radars, radiomètres...

La résolution spatiale des capteurs est très variable. Les photographies aériennes et certains capteurs récents ont une très haute résolution (voisine ou inférieure à 1 mètre).

La plupart des capteurs sont dits passifs parce qu'ils interceptent les ondes réfléchies ou émises par la surface de la terre ; en revanche, les capteurs actifs émettent des ondes qu'ils interceptent après leur rétrodiffusion par la terre (lasers, radars).

Les capteurs peuvent être transportés par différents vecteurs : satellites, avions, ULM...

Différents outils ont été mis en oeuvre par les chercheurs lors du PNRZH (tableau ci-dessous).

PRINCIPAUX OUTILS UTILISES

Projet	S	PA	U	IR	T	C	L	R
Camargue	o	o						
Cours moyen de la Seine	o	o			o			
Estuaire de la Seine	o	o		o				
Loire	o	o						
Marais de Kaw	o					o	o	o
Marais de l'ouest		o	o			o		
Rhône	o	o						
Tyfon	o	o				o		
Scarpe-Escaut				o				

S : Images satellitaires

L : Images laser

PA : Photos aériennes type IGN

R : Images radar

U : Photos aériennes ULM

IR : Photographies proche infrarouge

T : Images thermiques

C : Images hyperspectrales (Casi)

LE TRAITEMENT DES IMAGES

Les images obtenues par ces différents instruments peuvent être traitées de trois façons :

- interprétation analogique de l'information contenue sur l'image. Par exemple on numérise un polygone et on indique un thème d'occupation du sol simplement par l'interprétation visuelle du photointerprète ;
- élaboration de classifications non supervisées. Le logiciel va définir statistiquement un certain nombre de classes qui correspondent à des thèmes d'occupation du sol définis par leur valeur radiométrique et regrouper tous les pixels qui ont des valeurs radiométriques proches dans le même thème ;
- réalisation de classifications supervisées. Le choix des classes est dirigé par l'opérateur qui donne les thèmes présents et indique un certain nombre d'unités ou parcelles échantillons qui correspondent à ces thèmes pour entraîner le processus de classification.

Les logiciels utilisés sont des logiciels de traitements d'images couramment utilisés en télédétection (Ex. : Er Mapper, Erdas Imagine, Geolmage, IDRISI, ENVI, ...).

IMAGES SATELLITAIRES

Il est possible d'acquérir des images satellitaires multispectrales auprès de différents opérateurs ; les plus connus sont américains (Landsat Thematic Mapper) ou français (SPOT), mais il en existe d'autres. Les opérateurs peuvent fournir des images d'archives ou des données programmées spécifiquement à la demande des clients.

La plupart des images qui ont été utilisées dans le cadre du PNRZH sont des images Spot ou Landsat :

- en mode panchromatique ;
- en mode multispectral.

Les images en mode panchromatique sont proches radiométriquement des images en mode multispectral.

triquement d'une photographie aérienne en noir et blanc. Les images multispectrales couvrent les mêmes surfaces au sol, mais comprennent plusieurs bandes de longueur d'onde différentes.

Leur intérêt repose sur l'existence de données à différentes dates, et l'automatisation de l'analyse.

L'avantage de leur exploitation est réel à l'échelle du bassin-versant, pour identifier et cartographier les zones humides et l'occupation des sols environnants.

La résolution spectrale de la plupart des images satellitaires est nettement supérieure à celle des photographies aériennes quel que soit leur mode (noir et blanc, couleur, proche infrarouge) ; leur résolution spatiale n'est pas toujours aussi précise. Cependant, les images actuelles produites par les satellites ont des résolutions métriques (Ikonos) voire inférieure au mètre (Quick Bird avec environ 0,7 m) en mode panchromatique, ce qui est très proche du produit phare de l'IGN en photographie numérique, la BD OrthoNum (résolution spatiale de 0,5 m).

La résolution insuffisante des capteurs multispectraux, les difficultés d'interprétation et l'emploi souhaitable d'images à plusieurs dates ont souvent dissuadé les utilisateurs de recourir à cette source de données pourtant intéressante.

56

PHOTOGRAPHIES AERIENNES DE TYPE IGN

Les photographies aériennes en noir et blanc ou en couleur représentent la partie visible du spectre pour les émulsions panchromatiques et couleur et la partie proche infrarouge du spectre pour les émulsions infrarouges. L'Institut Géographique National effectue des missions sur l'ensemble du territoire national, actuellement à une échelle de 1/20 000 environ.

Ces documents constituent l'une des bases des études des zones humides ; ils présentent plusieurs intérêts :

- disponibilité ;
- possibilité de comparaison de photographies à plusieurs dates depuis les années 1945 ;
- facilité d'analyse sans traitement sophistiqué ;
- existence de la couverture complète de la France (la BD OrthoNum) avec une résolution spatiale de 0,5 m et une actualisation tous les 5 ans.

Par contre, cette source présente plusieurs limites :

- pas d'automatisation possible de façon simple ;
- importantes variations de teintes entre photographies qui entraînent des erreurs d'interprétation ;
- précision thématique médiocre : mauvaise différenciation des types de végétaux, impossibilité de détecter les éléments non visibles du paysage (teneur de l'eau dans les sols par exemple) ;

- nécessité de transformer les images antérieures à la BD OrthoNum pour un bon géoréférencement ;
- difficulté de mosaïquage des données

Les photographies aériennes ont été exploitées par de nombreuses équipes de recherche, au moins comme document préparatoire.

Certains chercheurs ont réalisé des photographies à basse altitude depuis un ULM (il est possible de faire de même à l'aide d'un hélicoptère ou d'un avion de tourisme). Dans certains cas, il s'agit d'obtenir des images " verticales ", avec une fréquence supérieure aux missions de l'IGN ; elles sont souvent insuffisamment verticales pour être superposées à des cartes et servir directement comme support pour la cartographie. Leur intérêt repose sur la possibilité de multiplier les survols, pour un coût modéré.

Dans d'autres cas, des images obliques sont recherchées, de façon à détecter des informations non visibles sur les photographies verticales (hauteur de la végétation, présence de fossés...).

Les photographies prises dans le proche infrarouge lors de missions spécifiques mettent en valeur des éléments non visibles, et en particulier la teneur en eau des sols. Comme les photographies aériennes classiques, les photographies proche infrarouge doivent faire l'objet d'un géoréférencement rigoureux, de façon à pouvoir superposer des images produites à plusieurs dates, et les intégrer dans un SIG.

IMAGES THERMIQUES

La prospection thermique aéroportée permet de cartographier la température du sol (jusqu'à 0,5 à 1 m sous la surface du sol) ; elle met ainsi en évidence des hétérogénéités dans les matériaux de surface et de subsurface, et la présence d'eau dans le sol. Ces données sont largement utilisées en archéologie et en pédologie. Certains satellites, tel Landsat, disposent de bandes spectrales dans l'infrarouge thermique.

L'intérêt de la télédétection comme outil de prospection thermique repose sur la possibilité de couvrir de vastes surfaces en des temps relativement courts par comparaison avec les méthodes géophysiques au sol.

IMAGES HYPERSPECTRALES

Un capteur hyper spectral CASI (Compact Airborne Spectrographic Imager) a été utilisé en Guyane et en Bretagne. Il permet d'obtenir des images à très haute résolution spectrale de l'énergie électromagnétique réfléchie par la

surface terrestre, dans la gamme spectrale couvrant les domaines du visible et de l'infrarouge (288 bandes spectrales de quelques nm de large).

Cet outil s'est avéré très performant, en particulier en matière d'identification de la végétation. Sa mise en œuvre a été lourde lors du PNRZH, du fait de son caractère expérimental. Si cette technique d'acquisition aéroportée est aujourd'hui éprouvée, elle reste onéreuse et réservée à des territoires restreints.

Il existe aujourd'hui des capteurs hyperspectraux embarqués à bord de satellites ; leur résolution spatiale est nettement plus faible que celle des capteurs aéroportés, ce qui limite encore leur utilisation à certains types de zones humides.

DONNEES RADAR

Des données radar ERS ont été utilisées en Guyane et en Camargue (hors PNRZH). Ces images peuvent être acquises quelles que soient les conditions de nébulosité, de jour comme de nuit. Le radar permet notamment de cartographier, par des passages répétés, la dynamique des plans d'eau et d'en déduire les durées de submersion des différents habitats.

LES DONNEES ALTIMETRIQUES

La télédétection rend possible la connaissance de la topographie des sols à travers l'élaboration de Modèles Numériques de Terrain (MNT). Ils apportent une aide importante en matière d'identification et de délimitation des zones humides dont la localisation est grandement précisée par la mise en évidence des dépressions.

Il est possible d'utiliser les données topographiques disponibles, en particulier auprès de l'IGN (BD topo), mais leur précision est souvent insuffisante pour étudier les régions planes où les zones humides sont fréquemment situées. Il est également possible de recueillir ce type de données dans le cadre d'une recherche spécifique.

Ainsi, les lasers héliportés ou aéroportés sont capables de mesurer la topographie au sol, comme cela a été montré en Guyane. Actuellement, l'emploi de lasers rend possible la construction de Modèle Numérique d'Altitude (MNA). Le laser de type LIDAR est aujourd'hui de plus en plus employé malgré un coût très élevé. Il permet la réalisation d'un MNA du sol mais aussi de la canopée avec une précision moyenne en altitude variant autour de 10 cm.

Des utilisations multiples

La télédétection a été utilisée, dans le cadre du PNRZH, pour inventorier, délimiter et/ou caractériser l'état ou le fonctionnement de zones humides.

INVENTORIER LES ZONES HUMIDES

L'identification et l'inventaire par télédétection de zones humides non encore répertoriées n'ont été abordés que dans deux projets.

Une des particularités de la démarche d'inventaire concerne la nécessité de couvrir de vastes territoires dans lesquels les zones humides sont disséminées. Cette contrainte limite pour des raisons économiques le recours aux outils les plus performants (images hyper spectrales...) à des sites de taille réduite.

LES MARES

L'inventaire exhaustif des mares reste à réaliser sur le territoire national ; il représente un réel enjeu du fait du grand nombre de ces zones humides et de leur valeur, en particulier écologique. Il s'agit d'un exercice particulièrement difficile étant donné la petitesse de ces objets et leur extrême dissémination dans le paysage.

Dans le cadre de la mise en place d'une méthodologie d'inventaire (voir fiche 4), les chercheurs ont expérimenté l'utilisation des photographies aériennes. Cette source a été jugée non adaptée, pour deux raisons : coût trop important eu égard aux grandes surfaces à couvrir, à la dissimulation de nombreuses mares par la végétation, et aux erreurs d'interprétation (confusion avec des arbres isolés, des aires hydromorphes). Le recours à la prospection systématique sur le terrain est donc jugé indispensable.

D'autres méthodes comme les images hyperspectrales ou les radars permettraient sans doute une bonne détection des mares, mais à un coût élevé.

LES ZONES HUMIDES DE FOND DE VALLEE

Le projet Tyfon a montré que les images SPOT ou Landsat TM fournissaient les moyens de localiser les zones humides " effectives " (végétation hygrophile) à partir d'un indice d'humidité. Cette détection n'a été possible qu'en présence d'une végétation ouverte (couverture végétale arborée inférieure à 60 % de la zone considérée).

Des capteurs hyperspectraux aéroportés permettraient d'identifier ces zones humides (mise en valeur du gradient d'humidité), mais avec un coût plus élevé. Certains nouveaux satellites tels que SPOT 5 disposent de l'infrarouge moyen avec une résolution spatiale d'ordre décimétrique; ils pourraient servir à identifier correctement ce type de zones humides.

DELIMITATION

Ce deuxième niveau d'analyse, consiste, pour une zone humide déjà connue, à en cartographier les limites. Ce type d'étude, bien ciblé dans l'espace, est susceptible de justifier le recours à des investigations plus poussées que pour les inventaires.

Le travail de délimitation peut porter sur les trois échelles définies dans le cadre du projet Tyfon (voir fiche 5).

ZONES HUMIDES EFFECTIVES

Les photographies aériennes et les images satellitaires permettent de délimiter les zones humides effectives à partir de trois caractéristiques :

- présence d'eau libre ;
- faible brillance des sols humides ;
- végétation hydromorphe (prairies humides, peupleraies, saulaies...).

La présence d'eau constituant un caractère variable, ce type d'analyse impose d'être renouvelé à plusieurs dates pour obtenir une image représentative de la situation effective.

La méthode de délimitation la plus performante a reposé sur l'utilisation de données hyperspectrales Casi. L'analyse se fait par photo-interprétation de compositions colorées, complétée par une analyse de données spectrales. Pour chaque zone définie par photo-interprétation, il est possible d'analyser des courbes spectrales extraites des images, en référence avec des courbes établies pour chaque type de végétation lors de relevés effectués sur le terrain.

Les données hyperspectrales ont permis de délimiter plusieurs types de milieux non discernables sur les photographies aériennes classiques :

- distinction entre boisements hygrophiles et zones humides riveraines non humides ;
- identification des secteurs à jonc diffus, espèce indicatrice d'un pâturage de printemps sur des sols saturés une bonne partie de l'année ;
- caractérisation des modes de gestion des sols.

Les recherches menées dans le nord de la France montrent l'existence de nombreux biais dans la délimitation des zones humides à partir de données de télédétection couramment utilisées (images SPOT, photographies aériennes de type IGN) :

- difficulté à identifier les plans d'eau peu profonds très végétalisés ;
- gêne pour détecter certains éléments tels les fossés de drainage, souvent trop étroits et végétalisés pour apparaître, compte tenu de la résolution des images ;
- complication dans le repérage de certaines zones humides due aux ombres portées par les terrils, voire les arbres ;
- etc.

Toutefois les images satellitaires permettent de cartographier l'occupation des sols de vastes espaces, et offrent ainsi la possibilité de replacer les zones humides dans leur contexte.

ZONES HUMIDES POTENTIELLES

Les zones humides potentielles correspondent aux surfaces dépourvues de végétation hygrophile, susceptibles de redevenir des zones humides effectives en cas de restauration (fermeture de drains, réinstallation d'une végétation naturelle). Ces zones peuvent être identifiées par analyse de la topographie ou de la brillance des sols (labours implantés sur des zones humides).

ZONES HUMIDES EFFICACES

Les zones humides efficaces correspondent aux espaces assurant une fonction donnée (hydraulique, biogéochimique, biologique...). La télédétection a contribué à délimiter les enveloppes correspondant à quelques fonctions, en particulier celle autorisant potentiellement la dénitrification (projet Tyfon). L'étude des fonctionnalités suppose une très bonne caractérisation des zones humides, basée sur des analyses détaillées.

CARACTERISATION DES ZONES HUMIDES

La télédétection a apporté une meilleure compréhension de la structure et du fonctionnement de certaines zones humides.

GEOMORPHOLOGIE

Plusieurs projets de recherche ont identifié et cartographié les unités géomorphologiques et sédimentaires au sein des zones humides. Ce travail aide à comprendre la dynamique fluviale et le fonctionnement hydrologique de zones humides.

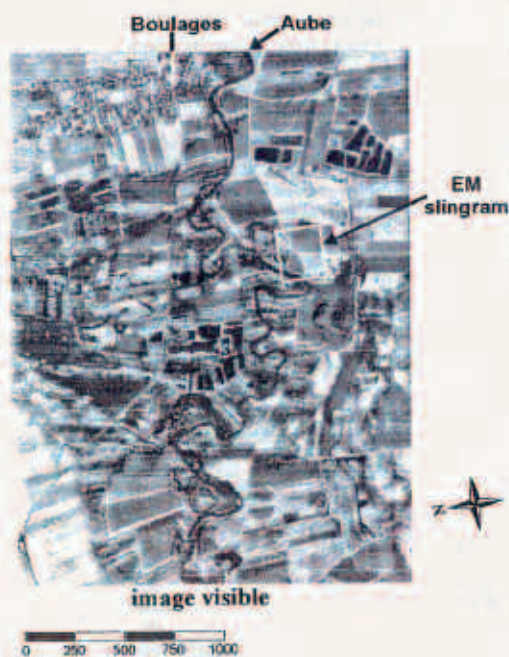
Sur des zones tests des vallées de la Seine et de l'Aube, une analyse thermique des zones humides a été conduite à l'aide d'un radiomètre aéroporté ARIES (1 canal visible, 1 canal thermique lointain : 10,5 – 12,5 mm avec une précision spatiale de 2 mètres) qui a couvert 11 axes de 7 km de long et 2 km de large. Le survol a été effectué en février, sur sol nu et en période d'inondation partielle. L'analyse simultanée du visible et du thermique a permis de retracer l'évolution des écoulements à travers la séparation aisée des zones d'eau libre et des eaux stagnantes, ainsi que l'estimation des réserves en eau du très proche sous-sol (notamment certaines zones d'anomalies thermiques liées à des écoulements souterrains observables sur le thermique et non sur le visible). Les anciens chenaux de la rivière apparaissent sur l'image thermique.

A l'aide d'un logiciel de traitement d'image, l'analyse de l'image thermique permet de localiser rapidement et sur

une grande surface les anciens réseaux hydrographiques réactivés en période de crue. La comparaison avec des cartes anciennes fournit une validation et des compléments à l'analyse.

Des comparaisons ont été entreprises entre thermographie infrarouge et cartographie de la conductivité électrique apparente mesurée au sol. Elles ont montré une bonne concordance des méthodes pour les zones non cultivées, mais des discordances dans les zones cultivées.

ANALYSE THERMIQUE DE LA VALLEE DE LA SEINE



Dans l'estuaire de la Seine, des photographies aériennes verticales ont été prises à l'aide d'un ULM. Elles ont été géoréférencées et intégrées à un SIG. Leur interprétation (visuelle et automatique), couplée à une analyse de terrain, a débouché sur la mise en place d'une typologie et d'une cartographie de l'estuaire.

Dans la vallée de La Loire, l'identification et la cartographie des unités fonctionnelles ont été menées à partir de trois études simultanées : végétation, géomorphologie et télédétection.

L'analyse d'une image SPOT a permis d'étendre par extrapolation les résultats des études de terrain. Elle a également mis en évidence des éléments non visibles sur le terrain :

- chenaux fossiles difficilement perceptibles sur le terrain ou les photographies aériennes ;
- atterrissements dans le lit mineur (trois types distincts par leur stabilité et leur niveau topographique).

Dans les vallées du Rhône et de ses affluents, l'analyse des photographies aériennes a servi à préciser l'emboîtement des niveaux fonctionnels : secteurs (tronçon de vallée), zones humides (bras morts), unités fonctionnelles (bouchons sédimentaires).

NIVEAUX D'HYDROMORPHIE

L'évaluation des niveaux d'hydromorphie a été entreprise dans une zone atelier du marais de Brouage en faisant appel à deux types de documents conduisant à la mise au point d'indicateurs pertinents.

Images satellitaires

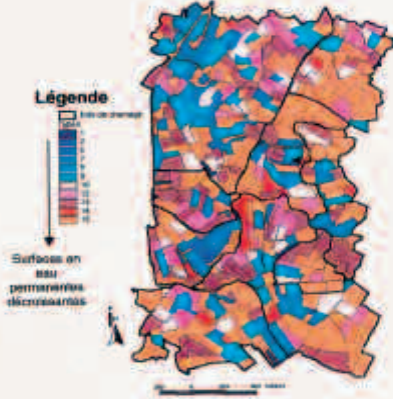
Une image SPOT du marais (20/08/1993, mode XS, résolution 20 m) a été exploitée. Une classification en 5 thèmes a été élaborée : 1-eau, 2-minéral, 3-très végétalisé, 4-végétalisé, 5-peu végétalisé. Cette analyse permet de décrire l'organisation de l'ensemble du marais, mais aussi de cartographier les thèmes dominants à l'échelle de chaque parcelle.

Photographie infrarouge couleur

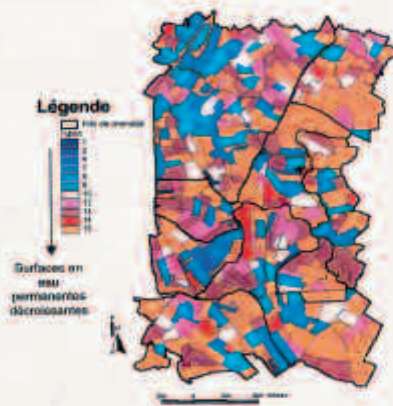
Des photographies IRC à trois dates représentatives (hiver, printemps, été) ont été scannées, mosaïquées, géoréférencées et interprétées de façon visuelle et numérique. Ce travail a débouché sur une typologie des parcelles conçue de façon plus précise qu'à partir des images satellitaires, grâce à une répartition des parcelles en 15 classes d'humidité décroissante.

CARTOGRAPHIE PARCELLAIRE DE LA ZONE ATELIER DU MARAIS DE BROUAGE

A partir d'une image SPOT



A partir de l'interprétation de photographies aériennes infrarouge couleur



Evolution des surfaces en eau

Une fois géoréférencées, des photographies prises à différentes dates peuvent aider à construire assez simplement des indicateurs d'assèchement, à l'échelle de la parcelle ou d'un ensemble de parcelles. Ils servent à évaluer l'évolution des teneurs en eau des sols au cours de l'année, ou sur un pas de temps pluri-annuel.

Régime de submersion des baisses

Les baisses sont les dépressions temporairement en eau, selon leur usage (chasse, pâturage,...).

Les photographies aériennes infrarouge ont permis d'identifier et de cartographier des classes de végétation, qui correspondent à trois niveaux de submersion décroissante :

- eau, végétation aquatique et subaquatique (iris) ;
- joncs ;
- végétation mésophile, carex-agrostis.

Les images dérivées des photographies IRC sont ensuite agrégées au niveau de chaque baisse, de façon à obtenir pour chacune des indicateurs de durée de submersion.

Indicateurs de fossés

L'interprétation des photos aériennes IRC a permis de caractériser les fossés du marais, et de renseigner une base de données cartographiques établie précédemment. L'étude de transects perpendiculaires aux fossés a fourni les éléments pour les caractériser, par exemple sur le plan de la largeur moyenne.

CARTOGRAPHIE DE LA VEGETATION

Différentes expériences de cartographie de la végétation ont été menées dans le cadre du PNRZH.

La méthode a souvent reposé sur une analyse analogique (visuelle) des images (aériennes en particulier), complétée par une vérification de terrain.

Les chercheurs notent que, généralement, l'automatisation de l'analyse est trop aléatoire. Dans le Nord de la France, seules quelques formations ont pu être identifiées d'après l'image SPOT (tourbières, roselières inondées...).

Dans le Massif Armoricain, l'équipe du projet Tyfon a cartographié les zones humides à partir des données hyperspectrales CASI. La méthode de travail a reposé sur l'interprétation analogique des photographies aériennes, assistée par ordinateur, par comparaison des courbes spectrales de l'image avec les courbes de références concernant des milieux identifiés sur le terrain.

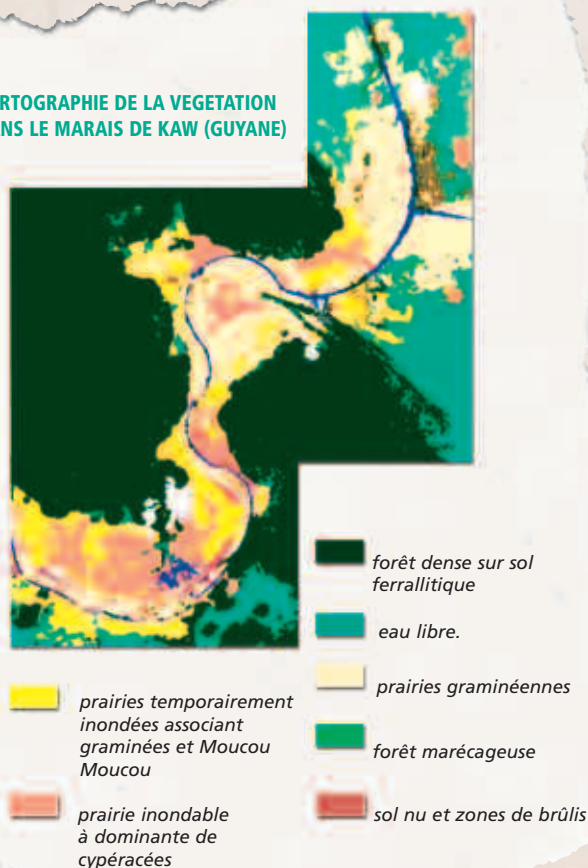
Composition colorée
Image CASI 07/09/99



Interprétation des formations végétales
dérivée de l'image CASI



CARTOGRAPHIE DE LA VEGETATION DANS LE MARAIS DE KAW (GUYANE)



En Guyane, les données CASI ont également permis de cartographier les grandes unités végétales (figure ci-dessus). Dans les marais de l'Ouest, six missions photographiques ont été menées en ULM, à basse altitude, à différentes périodes.

Les photographies présentent l'intérêt d'une très bonne résolution ; elles permettent de distinguer au sein des parcelles des unités hydro-écologiques, visibles en particulier sur les clichés de début de sécheresse. Après réduction du nombre de couleurs à 16, on distingue certains types de végétation :

- mésophile ;
- hygrophile ;
- roselière ;
- zones rases (mésophygrophiles salés).

Cette analyse reste délicate et sujette à différents biais d'interprétation ; elle nécessite l'exploitation de plusieurs séries de clichés et une interprétation préalable de façon traditionnelle, qui représente alors la source de l'étalonnage de la méthode.

Sur l'estuaire de la Seine, l'utilisation conjointe d'images satellitaires à différentes dates et de photographies aériennes a abouti à la cartographie de la végétation (au niveau de l'alliance phytosociologique).

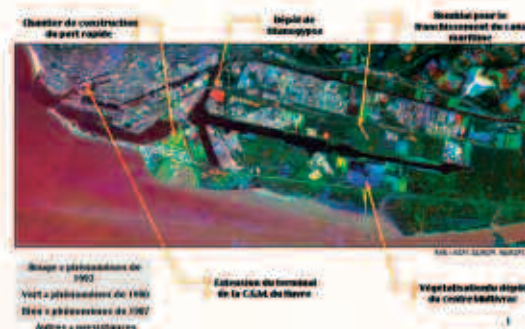
DYNAMIQUE DES MILIEUX

L'évolution de l'occupation des sols est classiquement étudiée à partir des photographies aériennes, disponibles depuis les années 1945 (voir fiche 7 histoire de l'occupation des sols).

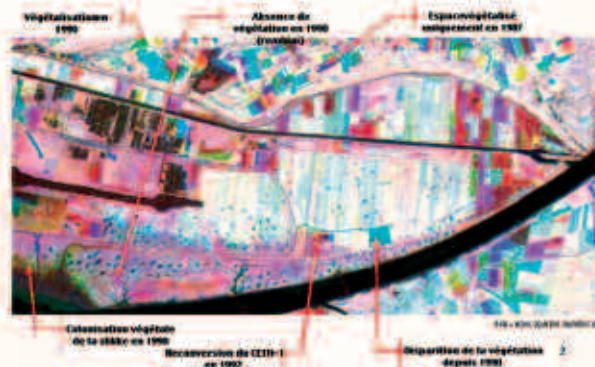
Cette source est intéressante, mais elle comporte certaines limites : médiocrité de la qualité des images anciennes, grand nombre de clichés à exploiter pour les grands sites, nécessité de corriger géométriquement et de géoréférencer les photographies.

Dans l'estuaire de la Seine, les chercheurs ont analysé l'évolution du paysage au moyen de deux scènes SPOT distantes de dix années. Un indice de changement a été établi à partir du pourcentage de pixels ayant changé entre 1987 et 1997, pour chaque maille (25 pixels x 25 pixels). Cette approche a permis de montrer et de mesurer l'augmentation de la surface de la roselière, la compression du schorre et de la slikke, ainsi que le maintien des prairies alluviales.

MUTATION DES SURFACES ARTIFICIELLES



PERCEPTION DES AMENAGEMENTS DE TRAVERS DES FORMATIONS VEGETALES



En Camargue, l'exploitation de trois images Landsat TM (1984, 1989, 1993) a montré les changements d'occupation des sols (développement de la riziculture), les effets de la sécheresse de 1989 et la dynamique du littoral.

Limites et perspectives

La télédétection permet d'améliorer considérablement les connaissances en matière d'inventaire, de délimitation et de caractérisation des zones humides. Les études du PNRZH ont été l'occasion d'expérimenter des techniques et des approches novatrices.

L'interprétation des données en matière de zones humides s'avère beaucoup plus complexe que celle d'autres paysages, agricoles par exemple. Cette difficulté réside dans la grande variabilité de ces milieux naturels (surfaces, végétation, variabilité temporelle...).

L'utilisation de cet outil rencontre certaines limites :

- la plupart des techniques demandent des analyses sophistiquées relevant d'organismes spécialisés ;
- le coût souvent élevé des traitements ;
- la faible reproductibilité des protocoles mis au point, malgré l'importance des besoins en ce domaine.

En conséquence, le recours à la télédétection nécessite certaines précautions :

- ces méthodes semblent faciliter l'étude rapide de vastes espaces, mais des contrôles de terrain (étalonnage), souvent lourds, s'avèrent indispensables ;
- l'utilisation de données collectées à plusieurs dates est généralement nécessaire pour tenir compte des importantes variations de l'hydromorphie des sols au cours de l'année. Les dates des images doivent être choisies avec soin (en général, privilégier les données de hautes eaux, mais aussi de niveaux d'eau différents pour estimer les durées de submersion des différents milieux.) ;
- la combinaison de plusieurs techniques de télédétection et d'analyses de terrain semble souhaitable pour parvenir à une bonne image de la situation.

Depuis la fin du PNRZH, les méthodologies disponibles ont connu des améliorations importantes dans plusieurs domaines :

- les performances des capteurs se sont beaucoup améliorées, tant en ce qui concerne leur résolution spatiale (2,5 m pour SPOT 5) que leur résolution thématique (existence de capteurs satellitaires hyper spectraux ou infrarouge moyen) ;
- le développement de l'utilisation des lasers aéroportés facilite l'élaboration de modèles numériques de terrain très précis ;
- les nouveaux outils de traitements et de classification des images font progresser l'analyse automatique aux dépens de la photo-interprétation manuelle (Logiciel E-Cognition par exemple).

L'évolution des outils et des méthodes d'étude permet à la télédétection de sortir du champ de la recherche pour devenir opérationnelle. Ainsi, plusieurs grands inventaires de zones humides à l'échelle de bassins-versants ou de départements entiers, avec recours aux images satellitaires, ont été récemment lancés tant sur le territoire national qu'à l'échelle de l'Europe (Programme européen Globwetland par exemple).

CONTACTS

COORDINATION DE L'ANIMATION TRANSVERSALE DU PNRZH SUR LA TELEDETECTION ET TYFON :

Laurence Hubert-Moy,
Université de Haute Bretagne,
COSTEL,
35043 Rennes cedex,
tel 02 99 14 18 48
laurence.hubert@uhb.fr

CAMARGUE :

Thierry Naizot, Alain Sandoz
sandoz@tourduvalat.org

COURS MOYEN DE LA SEINE :

Roger Guérin, Jeanne Tabbagh, Alain Tabbagh
guerin@ccr.jussieu.fr

ESTUAIRE DE LA SEINE :

Alban Bourcier,
alban.bourcier@univ-lehavre.fr

LOIRE :

Laurent Couderchet, université Bordeaux,
laurent.couderchet@montaigne.u-bordeaux.fr

MARAIS DE KAW :

Laurent Polidori
polidori@cayenne.ird

MARAIS DE L'OUEST :

Christian Puech, maison de la télédétection,
puech@teledetection.fr

ENGREF, Montpellier

Lionel Loubersac, IFREMER,
Lionel.loubersac@ifremer.fr

MARES :

Bertrand Sajaloli, ENS,
biogeo@wanadoo.fr

RHONE :

Claude Amoros,
amoros@univ-lyon1.fr

SCARPE-ESCAUT :

Claude Kergomard,
Ecole Normale Supérieure de Paris
claud.kergomard@ens.fr

10- Les systèmes d'information géographique et les zones humides

Structurer et valoriser des données spatiales diversifiées

Problématique

L'étude des zones humides nécessite le traitement d'un grand nombre d'informations spatiales collectées à différentes dates : répartition des groupements végétaux, des écoulements hydriques, des activités humaines... Les Systèmes d'Information Géographiques ont apporté une aide considérable pour organiser et croiser des données cartographiques et thématiques. Au sein du PNRZH, les SIG ont davantage été considérés comme des outils importants que comme des objets de recherche. Les chercheurs ont pu en expérimenter l'utilisation dans des domaines variés. La plupart des projets de recherche se sont appuyés sur des SIG, avec des objectifs et des moyens diversifiés (outil de cartographie ou d'analyse).

Les outils

Un Système d'Information géographique est un "système informatique de matériels, de logiciels, et de processus conçus pour permettre la collecte, la gestion, la manipulation, l'analyse, la modélisation et l'affichage de données à référence spatiale afin de résoudre des problèmes complexes d'aménagement et de gestion" (FICCDC, 1988). Il peut aussi être défini comme un "ensemble de données repérées dans l'espace, structuré de façon à pouvoir en extraire commodément des synthèses utiles à la décision" (Didier, 1990, CNIG). Notons que les SIG ne sont pas à proprement parler des logiciels, mais des systèmes d'information qui combinent trois composantes de nature différente :

- une base de données (organisée en fonction d'objectifs bien précis) ;
- des outils matériels et logiciels pour les traiter ;
- des compétences et méthodes pour les mettre en œuvre.

Par simplification, on utilise souvent le terme de SIG à propos du logiciel, et celui de SIRS (Système d'Information à Référence Spatiale) pour désigner l'ensemble des données et

moyens mis en œuvre sur un espace donné.

Les logiciels SIG associent des couches cartographiques et des tables attributaires, constituant une base de données. Ils assurent quatre principales fonctionnalités : affichage, acquisition, analyse, et archivage.

Les logiciels SIG utilisés dans les projets du PNRZH sont généralement ceux proposés sur le marché (Arcview, Arcinfo, MapInfo, GeoConcept, Idrisi...).

Il existe toute une gradation d'approches en fonction de la maîtrise des techniques et des objectifs des études.

Les objectifs

CARTOGRAPHIE

La cartographie des zones humides a longtemps été réalisée de façon manuelle, puis avec des logiciels de dessin vectoriel. Une des principales motivations de l'utilisation des SIG est la possibilité de pouvoir afficher et superposer des données spatialisées comme les limites de la zone humide, de son bassin-versant ou de ses différentes entités, et d'avoir recours à des opérations simples, telles que le calcul des surfaces.

BASES DE DONNEES

A chaque couche cartographique peut être associé un ou plusieurs tableaux (tables attributaires) donnant des informations sur les éléments cartographiés. Cette propriété permet le stockage des données sur une même base spatiale et l'organisation de données très diverses telles que des relevés floristiques ou faunistiques, l'identification de propriétaires de parcelles localisées en zones humides...

Pour des traitements plus élaborés, il est possible de relier informatiquement le SIG à une base de données proprement dite. La gestion de la base de données s'effectue grâce à un système appelé Système de Gestion de Base de Données (SGBD). Il s'agit d'un logiciel permettant d'organiser les données par thème, de les trier et d'effectuer des requêtes (le logiciel le plus utilisé est Access).

CROISEMENTS D'INFORMATIONS

Les informations stockées dans un SIG sont totalement superposables, ce qui permet d'effectuer de très nombreux croisements d'informations simples ou plus sophistiqués, à travers des requêtes (exemple : détermination des surfaces occupées par des zones humides ou encore définition des variations interannuelles des surfaces en eau).

COUPLAGE SIG-MODELE

Dans les cas les plus complexes traitant du fonctionnement des zones humides, il est possible de lier un SIG avec un modèle mathématique, le SIG fournissant certaines des données nécessaires en entrée dans le modèle et/ou permettant d'afficher en sortie les résultats du modèle.

Constituer une plateforme pour des utilisateurs multiples

Les SIG permettent de mutualiser les connaissances sur un territoire et de les mettre à disposition des acteurs concernés.

COLLECTE DES DONNEES

Le SIG de l'Observatoire des zones humides de l'estuaire et des marais de Seine a intégré plus de 100 couches d'informations, constituant une base de données géographiques pluri-thématique et multi-sources. Cette base de données a été réalisée par acquisition de nombreuses données existantes : images satellitaires ou aériennes, bases de données de l'IGN, de la DIREN... Elle a également intégré des données produites par les différentes équipes participant au PNRZH.

NORMALISATION DES DONNEES

L'intégration de données multiples dans un système d'information a nécessité dans la plupart des projets la mise au point de fiches d'intégration des données et de fiches de métadonnées (descriptif des données : sources, date, précision, thèmes...).

Ainsi, certains sites et projets complexes voient l'intervention de partenaires très nombreux, utilisant et produisant des données variées. Dans ce type de cas, il s'avère très important de constituer un outil commun que chacun pourra utiliser, en bénéficiant des données recueillies par ailleurs. Cette mise en commun suppose une normalisation rigoureuse ; elle a été mise en œuvre dans le cadre de plusieurs projets à partir de références nationales (le plus souvent avec le logiciel REPORT développé par le CERTU), notamment dans le site des marais de l'ouest.

Les chercheurs du projet Loire ont mis en place un " dictionnaire de données ", système permettant de décrire et de

structurer les données collectées (identification des données, qualité, données techniques...).

CONSTITUTION DE FONDS CARTOGRAPHIQUES VECTORIELS OU RASTERS

Le secteur de Marennes-Oléron a fait l'objet d'un important travail de mise en cohérence et de structuration des données cartographiques, avec en particulier :

- agrégation des données maritimes et des données terrestres. Il faut noter que les données maritimes sont classiquement inscrites dans le système de projection Mercator, distinct du système Lambert utilisé pour les espaces terrestres. Cette dernière référence a été retenue ;
- intégration au SIG des données foncières. Le bassin de Marennes-Oléron est couvert par 170 plans cadastraux contenant 22 000 parcelles pour une surface totale de 2900 hectares. Ces données étaient calées dans un système local (repérage par rapport au clocher de Marennes) et non numérisées. Le système a été entièrement recalé à partir de points de repère localisés par GPS ;
- intégration de données sur la bathymétrie ;
- numérisation de l'atlas des marais maritimes.

Sur le site des Marais de l'ouest a été créé un fond de carte informatisé de référence. L'une des difficultés rencontrées a été la représentation des fossés, très nombreux dans le marais. Selon l'objectif des études les fossés peuvent en effet être représentés comme des arcs (lignes simples) ou comme des polygones. Un programme a été développé de façon à permettre le passage automatique d'une représentation à une autre.

Définir et délimiter les zones humides

Les SIG peuvent constituer des outils intéressants en matière d'inventaire des zones humides.

Il faut d'abord noter qu'il existe différentes données géoréférencées sur tout le territoire national, accessibles de façon gratuite ou non (cartes et orthophotos de l'IGN, ZNIEFF, sites protégés...). Ces informations peuvent constituer la base du SIG.

Une étape importante peut porter sur la cartographie des unités de végétation par saisies de polygones sur la base d'une photographie géoréférencée (travail mené sur la Loire par exemple).

Le croisement de données peut contribuer à cette délimitation. Dans la région Scarpe-Escout, les chercheurs ont analysé les liens entre altitudes (à partir d'un Modèle Numérique de Terrain) et présence d'humidité (données de l'interprétation des images aériennes ou satellitaires). Ils ont considéré que

la cote 18,75 m était la plus adaptée à une bonne délimitation des paysages humides. Le SIG permet ensuite de croiser les données altitudinales et celles de l'occupation du sol, de façon à identifier les paysages humides.

Dans les vallées du nord-est de la France, le SIG a facilité la cartographie des unités de végétation en permettant l'extrapolation de relevés phytosociologiques ponctuels grâce à la photo-interprétation et au croisement avec d'autres données : inondations, pratiques agricoles...

Caractériser les zones humides

Les SIG offrent de très nombreuses possibilités de caractérisation des zones humides par croisement de données. Quelques exemples peuvent être cités à ce propos.

HYDROLOGIE DES MARAIS DE L'OUEST

Les données de télédétection sur la répartition des eaux dans les marais de l'ouest ont permis un traitement sous SIG, avec caractérisation :

- du réseau hydraulique et du caractère humide des parcelles ;
- des eaux de surface, permettant de porter un diagnostic et d'évaluer dans quelle mesure elles sont dépendantes des précipitations et/ou de la gestion hydraulique du marais. Si ces informations sont croisées avec des données sur l'occupation des sols, elles peuvent constituer un outil de simulation de la gestion par les syndicats de marais.

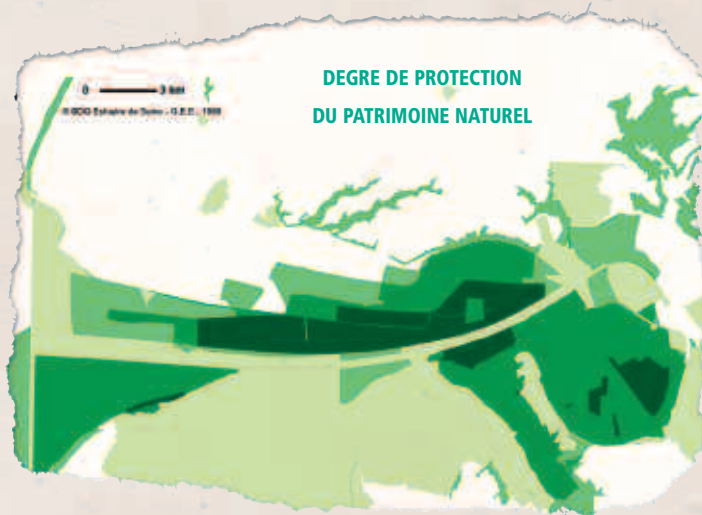
LES MARES DANS LEUR CONTEXTE

Une analyse raisonnée de la répartition des mares à l'aide d'un SIG a montré :

- des liens entre les mares et leur environnement, comme la distance au bâti ou à la forêt ;
- des liens entre les densités des mares, la population, la Surface Agricole Utile ou le nombre d'exploitations agricoles.

LE DEGRE DE PROTECTION DU PATRIMOINE DE L'ESTUAIRE DE LA SEINE

La base de données géographiques de l'Observatoire des zones humides de l'estuaire et des marais de la Seine intègre 12 strates d'information (au format vectoriel) reflétant le statut de l'espace en matière d'inventaire et de protection du patrimoine naturel : réserves naturelles, ZNIEFF, sites classés... La cartographie qui en résulte montre la superposition extrême des mesures, qui justifierait une mise en cohérence. Ces différentes strates ont pu être combinées à l'aide de coefficients, de façon à obtenir une cartographie du degré de protection du patrimoine.

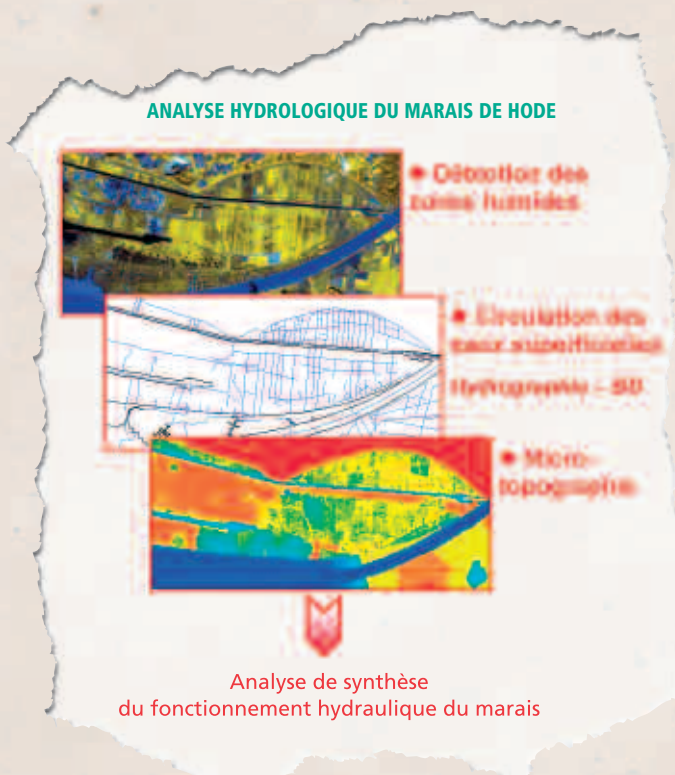


Définir le fonctionnement des zones humides

FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE

Le croisement des données sous SIG a permis d'améliorer la compréhension du fonctionnement hydraulique du marais du Hode (estuaire de la Seine).

Dans un premier temps, l'imagerie SPOT a offert une vue synoptique des secteurs de faible réflectance, incluant les zones humides et les boisements. Le réseau hydrographique a pu être défini à partir des cartes de l'IGN et d'observations complémentaires sur le terrain. Enfin, les courbes de niveaux correspondant aux dépressions topographiques et aux affleurements de la nappe ont été extraites d'un Modèle Numérique de Terrain réalisé à partir des données de l'IGN et de levés complémentaires.



Le croisement de ces différentes données a permis de définir une typologie des unités hydrauliques. Il a été possible de distinguer les zones soumises à la marée, les cuvettes topographiques inférieures à la cote 8 m (alimentées par les précipitations et souvent l'aquifère), les mares perchées situées en dessous de 8,2 m (alimentées par les ruissellements), les dépressions situées sous la cote 8,3 m. alimentées par les précipitations et/ou les résurgences de la nappe du pays de Caux. Ces résultats ont été confirmés par des analyses physico-chimiques des eaux.

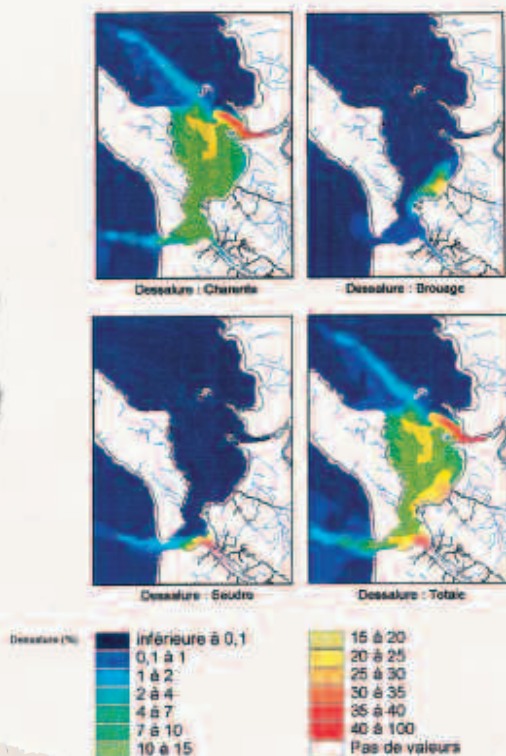
COUPLAGE SIG-MODELE

MARS est un modèle numérique hydrodynamique, calculant les courants marins, les hauteurs d'eau, et les concentrations en éléments dissous ou en suspension. Il utilise des données sur la topographie, les flux d'eau et de matière et les conditions aux limites (données sur les conditions extérieures influant sur le périmètre modélisé : entrées d'eau et de sédiments..).

La liaison entre ce modèle et un SIG Arc View, à travers l'interface Model View permettant en particulier de représenter dans l'espace les résultats des modélisations.

Ainsi, il a été possible d'analyser l'influence de la Charente et de deux autres rivières sur la salinité de la mer au droit de l'île d'Oléron (cf figures). Ce travail a montré l'influence très relative du marais sur les apports d'eau et de contaminants dans l'estuaire par rapport aux apports de la Charente et de la Seudre.

IMPACT DES DIFFERENTS APPORTS DANS LA SALINITE DE LA ZONE



Suivre les zones humides

Les SIG peuvent faciliter l'analyse historique des zones humides. Au cours du projet Loire, les chercheurs ont couplé un outil statistique et un SIG. L'occupation des sols cartographiés à deux dates par photo-interprétation peut donner lieu à un traitement élaboré. Des indices explicatifs sont mis en place, par exemple à propos de la forme des objets (allongement des îles...).

Les essais entrepris ont montré la possibilité de croiser des éléments de nature différentes (données raster et vectorielles).

Aider à la gestion

Les SIG peuvent trouver des utilisations en matière d'aide à la gestion des zones humides.

DIAGNOSTIC

Les travaux de recherche sur les anciens bras fluviaux (voir fiche 6) pourraient aboutir sur un outil automatique. La saisie de données sur un nouveau bras (végétation, données physiques) déboucherait sur un diagnostic automatique, par comparaison avec les bras étudiés précédemment. Cet outil n'est pas opérationnel à l'heure qu'il est.

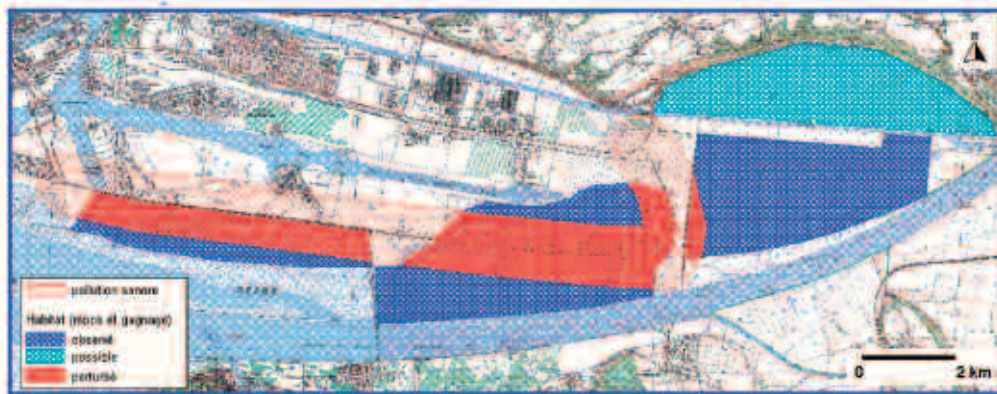
IMPACT DES ACTIVITES HUMAINES

L'outil SIG a permis d'évaluer l'antagonisme entre avifaune et développement industriel sur la plaine nord de l'estuaire de la Seine. La pollution sonore d'une route traversant le site a été cartographiée à partir des données de trafic fournies par les Directions Départementales de l'Équipement. Cette information a été recoupée avec la cartographie des zones de repos et d'alimentation de la Spatule, oiseau remarquable du secteur (cf carte page suivante).

CHOIX DE GESTION

Dans les prairies alluviales du nord-est de la France, le SIG a été utilisé à différentes phases de l'étude ; il permet de mettre en évidence l'intérêt écologique de la zone, l'état de conservation des habitats, les modalités de gestion à mettre en œuvre. Le croisement de ces documents débouche sur une proposition concrète de clés de gestion des écosystèmes prairiaux, dans une optique de biodiversité. Cette méthodologie sera détaillée dans le cahier 3 du PNRZH.

IMPACT SONORE DE LA ROUTE DE L'ESTUAIRE SUR LA SPATULE



© CIRTAI - GEE

Limites et perspectives

Les SIG ont été utilisés de façon classique dans certains projets du PNRZH, sans traitements particuliers.

Dans d'autres cas, les SIG mis en place ont pu constituer une base, conservée et enrichie depuis la fin du programme (estuaire de la Seine, fleuve Loire).

Dans les marais de l'ouest, le travail a participé à la structuration des bases de données géographiques. Dans cette logique de mise en cohérence, le forum des marais atlantiques diffuse un CD Rom d'aide à la conception des SIG en zones humides.

Les travaux initiés dans le cadre du PNRZH ont été poursuivis après l'achèvement de ce programme. Ainsi, un travail sur la connectivité des mares, réalisé par le montage d'un SIG, a été initié dans le cadre du PNRZH et poursuivi dans celui du pôle-relais "Mares et mouillères de France".

Aujourd'hui, des conclusions peuvent être tirées de cette approche et permettent de voir en quoi la connectivité des mares peut être utilisée comme outil d'aménagement de l'espace et de gestion du semis de mares.

CONTACTS

COORDINATION DE L'ANIMATION TRANSVERSALE DU PNRZH SUR LES SIG

Laurence Hubert-Moy,
laurence.hubert@uhb.fr

CAMARGUE

Thierry Naizot, Alain Sandoz
sandoz@tourduvalat.org

COURS MOYEN DE LA SEINE

Hocine Bendjoudi,
bdj@biogeodis.jussieu.fr

ESTUAIRE DE LA SEINE

Alban Bourcier,
alban.bourcier@univ-lehavre.fr

LOIRE

Laurent Couderchet,
laurent.couderchet@montaigne.u-bordeaux.fr

MARAIS DE L'OUEST

Christian Puech,
puech@teledetection.fr

Lionel Loubersac,
Lionel.loubersac@ifremer.fr

MARES

Bertrand Sajaloli, ENS,
biogeo@wanadoo.fr

RHONE

Claude Amoros,
amoros@univ-lyon1.fr

SCARPE-ESCAUT

Claude Kergomard,
claud.kergomard@ens.fr

Glossaire

68

AÉROBIE : Être vivant ou processus écologique exigeant la présence d'oxygène.

ANAÉROBIE : Organisme ou processus se développant seulement en absence d'oxygène

ANAÉROBIOSE : Vie en milieu dépourvu d'oxygène.

ANOXIE : Désigne l'absence d'oxygène dans un milieu.

BIO GÉOCHIMIQUE (cycle) : processus qui caractérise la transformation de la matière et la circulation des éléments dans les écosystèmes et entre les divers compartiments de la biosphère.

CAPTEUR ACTIF : Dispositif envoyant des ondes à la surface de la terre et analysant les ondes réfléchies (radars, lasers).

CAPTEUR PASSIF : Dispositif captant le rayonnement provenant de la surface de la terre (réflexion de l'énergie solaire ou rayonnement propre de la terre)

DÉNITRIFICATION : Réduction des nitrates en azote gazeux par des bactéries en situation d'anoxie, et en présence de carbone.

DIACHRONIQUE : Évolution des faits dans le temps.

ESTRAN : Étendue correspondant à la zone de balancement des marées, c'est-à-dire celle comprise entre les plus hautes mers et les plus basses mers de vives eaux.

EURYHALIN : Désigne un organisme aquatique ayant un grand intervalle de tolérance pour le degré de salinité des eaux.

EUTROPHE : Qualifie un milieu riche en éléments minéraux nutritifs.

FILTRATS FLUVIAUX : Eau souterraine provenant d'un cours d'eau superficiel, après un cours cheminement dans le sol.

GÉORÉFÉRENCEMENT : Calage, généralement après modification, d'une image données spatiale aérienne ou satellitaire sur une base géographique établie

GLEYS : Aspect d'un sol montrant une réduction fossile ou un engorgement actuel par une nappe.

HÉLOPHYTE : Plante aquatique développant un appareil aérien dépassant la surface de l'eau en été, alors qu'en hiver ne subsiste que la couche enracinée dans la vase.

HISTOSOL : Sol tourbeux.

HYDROMORPHE : Sol engorgé par de l'eau de façon permanente ou périodique.

HYDROPHILE : Désigne les espèces vivantes propres aux habitats humides et (ou) aquatiques.

HYDROPHYTE : Plante strictement inféodée aux biotopes aquatiques car elle se développe en pleine eau.

HYPERSPÉCTRAL (capteur) : Capteur collectant et décomposant de façon fine une partie de la bande spectrale.

IBGN (Indice Biologique Global Normalisé) : évaluation qualitative d'un milieu aquatique courant à partir des peuplements de macroinvertébrés.

IMAGE SATELLITAIRE : Élément d'une scène, regroupant plusieurs bandes spectrales.

INDICATEUR : Variable mesurable représentant des caractéristiques supposées fondamentales d'un écosystème, dont la mesure permet de vérifier la conformité avec un certain objectif environnemental.

INFRAROUGE : Rayonnement de longueur d'onde supérieure à 0,7 mm qui représente l'essentiel de l'énergie calorifique rayonnée par la surface terrestre. On peut le décomposer de la manière suivante : le proche infrarouge qui va

de 0,7 à 1 mm est constitué par la radiation solaire réfléchie, le moyen infrarouge de 1 à 3,5 mm, l'infrarouge thermique de 3,5 à 14 mm, l'infrarouge lointain au-delà de 14 mm est constitué par le rayonnement émis par la surface de la terre et n'est pas utilisé par la télédétection.

LÔNES : Terme consacré dans le bassin du Rhône pour désigner les annexes fluviales : bras secondaire obturé à l'amont, bras mort, bras isolé, ancien méandre.

MÉSOTROPHE : Se dit d'un écosystème aquatique à un état intermédiaire entre les stades oligotrophe et eutrophe.

MODÈLE NUMÉRIQUE DE TERRAIN : Modèle tridimensionnel représentant, sous forme numérique, le relief d'une portion de territoire.

MOSAÏCAGE : Assemblage d'images redressées. En général, ce travail est accompli de manière semi-automatique.

MULTISPECTRAL (capteur) : Capteur collectant une large bande spectrale sans la décomposer.

NDVI : Normalised Difference Vegetation Index. Il existe plusieurs types d'indices utilisés en télédétection satellitaire. L'indice le plus couramment utilisé pour la végétation est l'indice de végétation normalisé (en anglais NDVI).

OLIGOTROPHE : Caractérise un milieu naturel pauvre en éléments nutritifs en opposition aux milieux eutrophes.

OPENFIELD : Paysage dominé par les champs, pauvres en haies ou en bois.

ORTHOPHOTOPLAN : Photographie aérienne redressée sous contrainte d'un modèle numérique de terrain et mise à l'échelle, pouvant être intégrée dans un système d'information géographique et superposée sur des cartes géographiques.

OXYDO-RÉDUCTION : Réaction de transfert d'électron(s) entre le réducteur, donneur d'électron(s) d'un couple redox, et l'oxydant, accepteur d'électron(s) d'un autre couple redox.

PALYNOLOGIE : Étude des pollens.

PANCHROMATIQUE : Image intégrant une bande large dans le visible

PHÉNOLOGIE : Étude de l'influence du temps et des conditions écologiques, entre autres climatiques, sur la succession des diverses phases du cycle vital d'une espèce.

PSEUDOGLEY : Faciès d'engorgement temporaire d'un sol.

RASTER / VECTORIEL Ces noms caractérisent différents types de fichiers de cartes. Une carte Raster - ou Bitmap - est une image, une matrice de points colorés. Il n'y a donc pas d'information sur les coordonnées, les identifiants, les surfaces. Ces cartes sont utilisées comme fond de carte ou dans la numérisation des fonds de cartes vectorielles. Une carte vectorielle, par contre, est décrite par un ensemble de polygones ou autres objets comme des cercles, des courbes, avec toutes les coordonnées, positions, tailles, identifiants, noms, couleurs ... et même parfois le système de projection utilisé, l'échelle et l'unité de mesure.

REDOX (couple) : Ensemble d'un oxydant et d'un réducteur contenant un même élément à des degrés (nombre) d'oxydation différents.

REDOX (potentiel) : Capacité relative d'une espèce chimique (atome, ion ou molécule) de donner ou d'accepter des électrons d'une autre espèce chimique.

RÉDUCTION : Elimination, dans un composé, de l'oxygène.

RÉFLECTANCE : Part (pourcentage) de l'énergie solaire incidente émise qui est réfléchi par la surface terrestre

ROUissage DU CHANVRE : Action d'isoler les fibres textiles en détruisant la matière gommeuse qui les soude, par une macération dans l'eau.

SATURÉE (zone) : Partie d'un sol dont tous les interstices sont emplis par de l'eau. Dans la zone non saturée, l'eau est présente, sans que soit atteinte la capacité maximale de rétention du sol.

SCÈNE : Emprise au sol captée par un satellite.

SGBD Système de Gestion de Base de Données: logiciel permettant d'organiser les données par thème, de les trier et d'effectuer des requêtes (exemples: Access, Oracle, DBase..).

SPOT P : Image SPOT panchromatique.

SPOT XS : Image SPOT multispectrale.

SUBSIDENCE : Concerne un phénomène géologique caractérisé par l'enfoncement progressif d'une zone continentale littorale ou d'une île volcanique.

SUCCESSION : Biocénoses qui vont se succéder dans un même biotope initial lorsque se produit un changement dans la valeur des facteurs du milieu.

SYNCHRONIQUE : Qui étudie ou représente des événements survenus à la même époque mais dans des lieux séparés.

TENSIOMÈTRE : Appareil de mesure des déformations d'un corps soumis à des contraintes mécaniques.

TM : Thematic Mapper (Landstat)

TROPHIQUE : Tout ce qui concerne la circulation des nutriments dans les écosystèmes.

VECTEUR : Dispositif de transport d'un capteur (avion, satellite, hélicoptère...)

SOURCES :

- Grillas P., 1996. Identification d'indicateurs. In : Vives (P.T.), 1996. Suivi des zones humides méditerranéennes. Guide méthodologique. MedWet. Wetlands international. UICN.35-59.
- Paul S., Ducher G., Jobard I., Latarche C.H. et Lenco M., Terminologie de la télédétection et photogrammétrie, PUF
- Poidevin, La carte moyen d'action, Edition Ellipses.
- Ramade E., 2002. Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. 2^e édition. Dunod, 1075 p.
- Rey A., Rey-Debove J., 1983. Le Petit Robert. 2172 p.

Sources d'information

LES DOCUMENTS GÉNÉRAUX SUR LE PNRZH

- Fiche récapitulative de présentation de l'ensemble du PNRZH (2002)
 - Actes du colloque de restitution du PNRZH (Toulouse, octobre 2001), 306 p
 - Fiches de présentation des projets PNRZH
 - Cahiers thématiques : "les zones humides et l'eau", "caractérisation des zones humides" et "gestion des zones humides".
- Ces documents sont disponibles gratuitement auprès de : veronique.barre@ecologie.gouv.fr

Le site internet du PNRZH présente le contenu des projets de recherche, et permet de télécharger un certain nombre de rapports et de fiches : <http://www.pnrzh.org/>

- Hubert-Moy L., 2003. La télédétection et les SIG dans le PNRZH. Numéro spécial de la revue Photo-interprétation. 39(1), 64 p.

Le numéro spécial de Zones Humides Infos sur le PNRZH donne un bon résumé des recherches : SNPN, tel 01 43 20 15 39.

70

LES PUBLICATIONS DES PROJETS DU PNRZH

Chaque projet de recherche du PNRZH a donné lieu à un rapport de synthèse, et à des publications scientifiques, souvent rédigées en anglais dans des revues internationales.

Quelques projets de recherche ont donné lieu à des documents de diffusion des résultats, par exemple sous forme de plaquettes d'information.

Ces publications et documents doivent être demandés directement aux chercheurs.

LES PÔLES RELAIS

Les pôles-relais du plan gouvernemental d'action pour les zones humides ont pour vocation de mettre en place, coordonner et animer des pôles de compétences (connaissance, gestion durable et évaluation) sur six grands types de zones humides :

- Marais littoraux de l'Atlantique, de la Manche et de la Mer du Nord : Forum des marais atlantiques

<http://www.forum-marais-atl.com/>

- Lagunes méditerranéennes : Station biologique de la Tour du Valat pole.lagunes.lr@wanadoo.fr
- Zones humides intérieures : Fédération des parcs naturels régionaux

http://www.parcs-naturels-regionaux.tm.fr/zones_humides/

- Tourbières : Espaces Naturels de France

<http://www.pole-tourbieres.org/>

- Mares et Mouillères : Institut européen du développement durable et Centre de biogéographie-écologie

<http://www.polerelaismares.org>

- Vallées alluviales : en attente

QUELQUES DOCUMENTS INCONTOURNABLES SUR LES ZONES HUMIDES

Il est possible de citer ici quelques documents non directement liés au PNRZH mais constituant des bases très importantes à connaître.

- Agence de l'eau Artois-Picardie et Conseil scientifique de l'environnement Nord-Pas-de-Calais 2003. Les zones humides. Connaître, évaluer, gérer, sensibiliser. 4 fascicules.
- Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse, 2000. Agir pour les zones humides en RMC : politiques d'inventaires : objectifs et méthodologie. Note technique SDAGE n°5, 32 p.
- Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse, 2000. Agir pour les zones humides. Boîtes à outils inventaire. Fascicule 1 : du tronc commun à la cartographie ; fascicule 2 (CD Rom) : base de données.
- Burgeap, Michelot J.L., 2001. Fonctionnement des zones humides. Première synthèse des indicateurs pertinents. Agir pour les zones humides en RMC. Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse. Guide technique SDAGE n° 5, 144 p.
- Burgeap, Michelot J.L., Acer, 2002. Les zones humides et la ressource en eau. Guide Technique. Les Etudes des Agences de l'Eau n°89.
- Fustec E., Lefeuvre J.C., 2000. Fonctions et valeurs des zones humides. Dunod, Paris, 426 p.
- Gaudillat, V., Haury, J. et coll. 2002. Les Habitats Humides. Cahiers d'habitats Natura 2000. Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire. La Documentation française, Paris, 457 p.
- Girard M.C., Girard C., 1999. Traitement des données de télédétection. Dunod Paris.
- AFES, 1992. Référentiel pédologique. Principaux sols d'Europe. INRA, Paris, 221 p.
- Mitsch, W.J. & Gosselink, J.G., 2000 Wetlands. Third edition, Van Nostrand Reinhold Company, New-York, 920 p.

Enfin, l'IFEN (Institut Français de l'Environnement) fait vivre le site portail sur les zones humides qui donne accès à de nombreux centres de ressources sur ce thème :

<http://www.ifen.fr/zoneshumides>

Le PNRZH un ambitieux programme de recherche sur les zones humides

Le Programme National de Recherche sur les Zones Humides (PNRZH) constitue l'un des éléments du Plan d'action pour les Zones Humides, lancé par le gouvernement en 1995. Les objectifs de ce programme de recherche ont été de mieux comprendre le fonctionnement des zones humides pour offrir des résultats utilisables pour leur gestion ou leur restauration. Quatre axes de recherche avaient été définis : structure et fonctionnement des zones humides, rôle écologique et importance économique, interactions Nature-Société, modes d'actions pour la conservation et la restauration des milieux. Pendant 6 ans, le PNRZH a mobilisé 126 équipes scientifiques au sein de 20 projets, répartis sur l'ensemble du territoire national. La diffusion des résultats de ces travaux fait l'objet de différentes actions, dont trois cahiers thématiques :

L'eau et les zones humides

2 0 0 4



Caractérisation des zones humides

2 0 0 5



Gestion des zones humides

2 0 0 5

Caractérisation des zones humides

Ce cahier présente les principaux acquis du PNRZH en matière de caractérisation des zones humides. Il apporte des éléments sur l'inventaire et la délimitation de ces espaces, mais surtout sur l'organisation de la connaissance à leur égard : diagnostics à partir d'indicateurs, analyse géographique ou historique, typologies...

INDICATEURS

- Les sols des zones humides
- Les renoncules
- L'avifaune

TYPOLOGIE DES ZONES HUMIDES

- Les mares
- Typologie fonctionnelle des zones humides de fond de vallée
- Diagnostic des bras fluviaux

DYNAMIQUE DES MILIEUX

- Histoire des zones humides
- Prospective

OUTILS

- Télédétection
- Systèmes d'Information Géographique