

Élaboration d'un système d'information à références spatiales pour l'aide à la gestion des zones humides littorales atlantiques

Jacques Masse¹, Christian Rigaud¹, Pierre Castaing¹, Alain Dutartre¹, Aline Moreau¹, Jean-François Marchais¹, Jean-Louis Bourdais¹, Valérie Merle¹, Sophie Le Floch¹, Tania Nasr¹, Jean-Claude Chossat¹, Gilles Lechapt², Christian Puech², F. Martin², Damien Raclot²

Les milieux aquatiques permanents et temporaires des marais littoraux atlantiques (canaux, fossés, plans d'eau, prairies humides) sont disséminés dans un territoire d'environ 250 000 ha. Ils ont des liaisons fonctionnelles complexes, soit entre eux, soit avec les milieux terrestres dans lesquels ils se trouvent imbriqués. Ces milieux sont soumis pour la quasi-totalité à une gestion privée, bien que l'importance de leur rôle pour la collectivité soit maintenant largement reconnue. La confrontation de ces intérêts privés et publics se manifeste lors de la mise en action des politiques publiques (politique agricole, protection de l'environnement, SAGE...) par des difficultés de négociation et l'apparition de conflits entre usages locaux et intérêt collectif.

Les fortes relations fonctionnelles induites par le système hydrologique peuvent propager les impacts naturels et anthropiques et il est actuellement difficile d'évaluer, *a priori*, les effets des aménagements et des modes de gestion sur la qualité des milieux humides. Les phénomènes naturels (climat, marée, comblement) et les activités humaines (aménagement hydraulique, agriculture et usages divers) induisent une forte variabilité temporelle et spatiale des mécanismes de fonctionnement de ces zones. En terme de connaissances acquises, on constate des niveaux très hétérogènes suivant les disciplines considérées, et une forte dispersion de l'information du fait de la spécialisation des thématiques scientifiques (hydrologie, agronomie, écologie...) ne prenant pas en compte l'approche fonctionnelle de ces milieux.

Aller contre la dispersion de ces savoirs et faciliter l'accès à l'information, c'est permettre à chaque

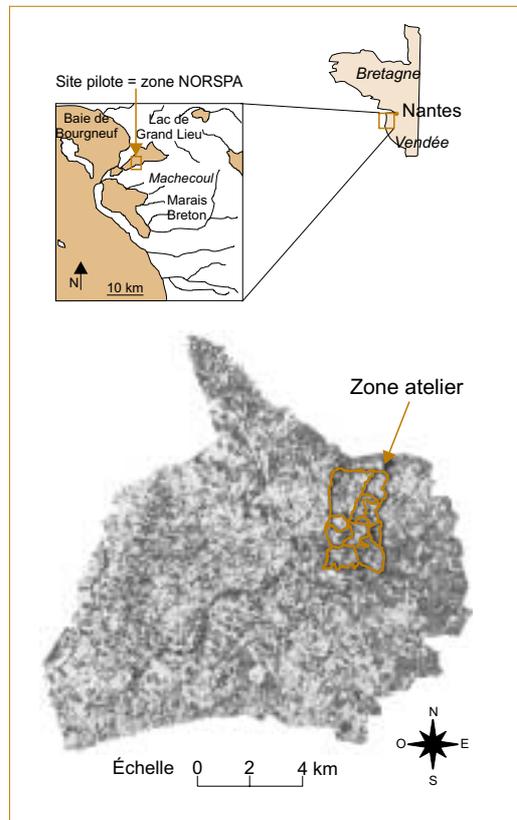
acteur une meilleure compréhension du fonctionnement et de l'évolution de ces territoires. C'est pourquoi nous avons proposé d'étudier les modalités de mise en place d'un système d'information. Les objectifs sont de parvenir, dans ce contexte de complexité et de variabilité, à l'archivage des connaissances acquises et à la mise à disposition de ces connaissances auprès des utilisateurs. Le système d'information peut ainsi contribuer à faciliter les négociations en permettant aux usagers et gestionnaires de partager une connaissance commune et de s'associer autour d'outils de communications, fondés par exemple sur des représentations spatiales.

Le territoire retenu pour la conduite du projet est constitué par la partie nord du Marais breton (figure 1). Ce site a été choisi en raison d'une part de l'existence de travaux antérieurs sur les milieux aquatiques et les usages qui y sont associés, et d'autre part de relations bien établies avec plusieurs acteurs locaux (syndicats de marais, collectivités locales, administrations). Le recensement de l'information et les méthodes utilisées s'appuient en partie sur ces travaux antérieurs.

Quant aux actions spécifiques au projet, elles ont été conduites selon deux directions : l'étude du cadre organisationnel du système d'information et les modalités de la collecte d'informations susceptibles d'être intégrées au système. Dans ce dernier domaine, l'objectif est de rassembler et préciser les connaissances de façon à permettre un accès plus aisé à l'information, de rechercher des méthodes d'évaluation et de restitution de l'état du territoire, et de formuler des indicateurs au service des processus décisionnels.

Les contacts

1. Cemagref-Bordeaux
50, avenue de Verdun-Gazinet
33612 Cestas Cedex
2. Cemagref-Montpellier
500, rue François
Breton 34093
Montpellier Cedex 5



► Figure 1 – Situation de la zone d'étude et image satellite du Marais nord breton (source : SPOT XS – 20/08/1993).

Des précisions sur la méthode

La critique de la démarche

Le système d'information doit permettre aux utilisateurs (gestionnaires) de rassembler les éléments de connaissance disponibles dans une forme pertinente, et les questions de gestion qui leur sont posées. La nature de ces éléments doit être précisée par un intervenant indépendant dans une phase d'analyse conduisant à la mise en forme d'un modèle conceptuel, représentant le cadre d'accueil des informations. Dans cette phase, il s'agit d'ajuster les recommandations scientifiques et techniques d'« experts » chargés d'inventorier les données et les contingences auxquelles se trouvent confrontés les gestionnaires (coûts de mise en place du système, de la production et de la mise à jour des données, modalités de traitement et de mise en forme de l'information). Nous n'avons pu suivre ce schéma opératoire ce qui conduit à critiquer la démarche sur deux points majeurs.

D'une part, nous avons volontairement évité la focalisation sur un cas particulier. En maintenant un niveau d'approche général, nous ne pouvons

conclure le programme par la réalisation d'un système opérationnel, dédié à un objectif parfaitement défini. Il nous a paru que l'objectif n'était pas tant de conduire un travail finalisé, du ressort du bureau d'études, mais de spécifier dans quel cadre et selon quelles règles un projet devait être conduit.

D'autre part, en tant qu'équipes scientifiques, le risque était de privilégier la connaissance et la compréhension du système au détriment de la pertinence avec les questions traitées par les gestionnaires. Nous avons tenté de minimiser ce risque en prenant en compte l'avis de gestionnaires lors de nombreux échanges sur des cas concrets de gestion. Pour plusieurs de ces actions, nous sommes intervenus au stade de la réalisation (maîtrise d'œuvre, suivi des travaux et des résultats).

Cependant, en ce qui concerne l'état et le fonctionnement des milieux humides, il convient de souligner que la phase d'acquisition de connaissances est loin d'être superflue. Il s'avère que face aux demandes des gestionnaires en terme de méthodes de suivi, d'états de référence, d'indicateurs de fonctionnement ou de normes d'intervention, il n'existe, hormis les domaines de l'agronomie et de l'avifaune sauvage, pratiquement aucune information directement utilisable dans le contexte spécifique du marais. On ne donnera comme exemple que le cas des normes de qualité d'eau de surface, qui apprécient le meilleur des marais dans la moindre des classes.

Ceci nous a contraint, pour la plupart des thématiques étudiées, à procéder en parallèle à l'acquisition de connaissances, à la standardisation de méthodes et à la recherche d'indicateurs susceptibles d'être inclus dans le système.

Les échelles de représentation

L'approche interdisciplinaire, associant des thématiques allant de la connaissance des sols ou des végétaux à l'étude des peuplements piscicoles ou aviaires, met en évidence le problème de l'échelle de représentation des phénomènes. Ce problème se retrouve dans les questions de gestion et les modalités d'intervention humaine sur ces territoires. Dans chaque cas, il renvoie directement à l'organisation physique des milieux aquatiques, qui d'une part détermine le caractère humide des milieux et structure fortement les écosystèmes, et d'autre part permet (ou impose...) les actes de gestion essentiels dans ces territoires.

La confrontation entre scientifiques et gestionnaires a mis en évidence une convergence des échelles de représentation, s'appuyant sur un principe de vision hiérarchique des milieux aquatiques à trois niveaux (tableau 1).

- Une échelle **régionale** correspondant à la représentation de l'entité marais, avec des limites naturelles physiques : courbe de niveau (coteau en amont), limite des eaux marines (digues, ouvrages à la mer en aval). Les paramètres de fonctionnement des milieux aquatiques sont du type bassin versant. Au plan écologique, cette échelle peut être associée par exemple au fonctionnement de certains peuplements aviaires.

- Une échelle, ou plutôt un groupe d'échelles plus réduites, pouvant varier suivant les phénomènes pris en compte, mais pouvant se superposer dans une représentation spatiale **intermédiaire**. Elle correspond du point de vue gestion à l'emprise humaine sur le fonctionnement hydraulique (syndicat de marais ou encore îlot de drainage). Elle permet d'analyser des phénomènes écologiques liés à la juxtaposition d'habitats (peuplements piscicoles par exemple).

- Une échelle **locale** est à la fois échelle de fonctionnement élémentaire des processus écologiques (qualité de l'eau, habitats) et échelle d'intervention de l'individu (fossé, parcelle).

Alors que les questions de gestion s'expriment régulièrement aux trois niveaux, les connaissances sur les milieux aquatiques sont très inégalement réparties. Le fonctionnement hydrologique et

hydraulique de surface est relativement connu à l'échelle de la parcelle, mais on commence à peine à explorer certains fonctionnements à l'échelle intermédiaire ou régionale (relations surface-nappes souterraines). La méconnaissance et la complexité de la topographie et des structures du réseau ne permettent pas de construire des modèles dynamiques de surface à grande échelle.

Quant au fonctionnement écologique et aux mécanismes d'évolution des habitats, la plupart des acquis se situent au niveau local (stationnel). C'est d'ailleurs à ce niveau que se sont investies les équipes participant au programme.

En effet, la compréhension de ces mécanismes est primordiale, alors que peu de travaux ont été conduits sur les milieux aquatiques de ces territoires.

Mais il est tout aussi important d'évaluer les processus aux échelles supérieures afin de mettre au point des méthodes propres à satisfaire les attentes des gestionnaires en matières d'indicateurs de qualité et d'outils de suivi du fonctionnement de ces milieux. Ceci ne doit pas seulement se concevoir comme une simple agrégation de processus locaux, mais comme une approche mettant en jeu des connaissances et des méthodes propres à l'échelle étudiée. Dans cette perspective, nous avons procédé lors de la dernière année du programme, à l'étude de certains compartiments à des échelles intermédiaires : étude des peuplements piscicoles à l'échelle de l'unité de gestion hydraulique, recherche d'indicateurs d'état écologique à l'échelle de périmètres de gestion syndicale.

▼ Tableau 1 – Différentes échelles d'information et de gestion.

Échelle	Organisation physique	Fonctionnement des écosystèmes	Aménagement et gestion
Locale	<ul style="list-style-type: none"> · Fossés, groupes de fossés · Plans d'eau, prairies humides, mares · Biefs 	<ul style="list-style-type: none"> · Habitats, peuplements (végétaux, invertébrés) · Comportement individuel · Écophases 	<ul style="list-style-type: none"> · Individu (propriétaire, exploitant)
Intermédiaire	<ul style="list-style-type: none"> · Îlot de drainage · Unité de gestion hydraulique · Périmètre syndical 	<ul style="list-style-type: none"> · Mosaïques d'habitats · Peuplements (poissons) 	<ul style="list-style-type: none"> · Individu · Syndicat, association · Réserve naturelle
Régionale	<ul style="list-style-type: none"> · Marais 	<ul style="list-style-type: none"> · Peuplements (oiseaux, anguilles) 	<ul style="list-style-type: none"> · Union de syndicats, SAGE, EPTB

L'organisation du système d'information

« Un système d'information est un objet artificiel greffé sur un objet naturel qui peut être une organisation. Il est conçu pour mémoriser un ensemble d'images de l'objet réel à différents moments de sa vie... Il constitue ainsi une extension de la mémoire humaine, qui amplifie la capacité de mémorisation des acteurs et facilite leur prise de décision. » (Rolland 1986).

Il est constitué par un ensemble de ressources humaines et matérielles, non obligatoirement mais le plus souvent informatiques (serveurs et postes de travail en réseau, logiciels d'acquisition et de gestion des données – SGBD, SIG –, applications pour le traitement et la restitution des informations).

L'évaluation des attentes des gestionnaires

Les principaux gestionnaires¹ concernés par le site atelier choisi, et plus largement par l'ensemble de la partie nord du Marais breton, ont été consultés lors d'entretiens organisés autour de quatre thèmes :

- les actions menées et les informations détenues par chaque organisme ;
- les besoins en informations, les pratiques d'échanges avec d'autres structures déjà existantes et les éventuelles attentes sur ce plan ;
- la place des données spatialisées dans les informations traitées ;
- l'intérêt pour un échange formalisé de données et les conditions dans lesquelles il pourrait être instauré.

Cinq points essentiels ressortent de cette enquête.

1. La grande diversité des données traitées, des échelles d'approche des problèmes et des besoins identifiés en informations, soit, par ordre décroissant de nombre de citations : les caractéristiques de l'agriculture (parcelles, exploitations et pratiques agricoles), les zonages, l'hydraulique (fonctionnement du marais, zones inondables, gestion des syndicats), les milieux naturels, l'eau, les données socio-économiques.

2. L'importance croissante de l'information géographique dans les données utilisées. Deux raisons principales sont évoquées pour expliquer ce fait : d'une part une raison technique (c'est indispensable pour bien traiter un certain nombre de questions posées), d'autre part l'aspect didactique et pédagogique des cartes, indispensable pour

communiquer. La grande majorité des structures enquêtées se sont dotées d'un équipement SIG, ou sont en voie de le faire.

3. Un intérêt certain de la majorité des structures enquêtées pour le principe de l'échange de données, jugé intéressant, voire très souhaitable pour favoriser la mise en cohérence des données déjà existantes, pour l'amélioration des connaissances et l'acquisition de nouvelles informations, en particulier grâce aux croisements sur un même site de données d'origines diverses.

4. La conscience, partagée par l'ensemble des personnes interrogées, de la difficulté de ce type d'entreprise. Les difficultés rencontrées sont techniques (compatibilité des outils et des données à échanger, modalités techniques des échanges à définir), structurelles (échelle des phénomènes observés et logiques d'approche des phénomènes différentes, manque de temps), psychologiques (réticences à ce type d'échanges).

5. L'importance de la définition préalable des conditions d'échange des données. Les conditions à réunir pour espérer réussir ce type d'échanges sont multiples. L'accent est mis par beaucoup sur l'importance de « règles du jeu » bien définies : les contreparties des échanges (pas nécessairement financières) doivent être précisées, les échanges doivent être aisés et les conditions réunies pour une continuité dans le temps.

La conception d'un système d'information

Étant donné l'importance de la dimension spatiale dans la compréhension du fonctionnement et dans l'analyse des usages des marais du littoral atlantique, nous avons privilégié un système d'information à références spatiales (SIRS) qui s'appuie sur les fonctionnalités de deux types d'applications informatiques : les systèmes de gestion de bases de données et les systèmes d'information géographique. Les actions engagées concernent les problèmes techniques de la représentation spatiale des milieux aquatiques, la définition du référentiel des objets spatiaux susceptibles de porter une information pertinente, et la mise en place de méthodes de description des jeux de données intégrés au système d'information.

La représentation spatiale des zones humides. Hormis les réseaux primaires (rivières ou chenaux constituant les émissaires), il n'existe actuellement aucune cartographie fiable des systèmes aquati-

1. • Structures administratives régionales (DRAF, DIREN, Agence de l'eau) et départementales (DDAF, DDASS) ;
 • Collectivités locales (Conseils régional et général, Mairie) ;
 • Gestionnaires locaux (syndicats de marais) ;
 • Forum des Marais ;
 • Organismes en charge de l'agriculture (Chambre d'agriculture, ADASEA) ;
 • Organismes concernés par la protection de l'environnement (ONC, Conservatoire du littoral, LPO).

ques des marais atlantiques, c'est-à-dire des réseaux secondaires et tertiaires (95 % du linéaire pour le Marais nord breton, soit 1 000 km pour 4 200 ha) et des plans d'eau permanents et temporaires. Devant cette absence de références suffisamment précises, qui auraient permis une représentation correcte des milieux aquatiques et de leurs relations spatiales avec les usages, nous avons établi différentes méthodes pour cartographier et renseigner les objets spatiaux décrivant les milieux aquatiques et les territoires associés.

La création de supports numériques

Deux supports numériques ont été créés sur la partie nord du Marais breton (environ 4 200 ha). Un support en mode point (figure 2) a été construit à partir d'une mosaïque de photos aériennes verticales au 1/10 000^e, numérisées à 400 dpi. Après corrections géométriques et chromatiques, on obtient une orthoimage restituée à une résolution de 80 cm par pixel et géoréférencée à la précision de la carte au 1/25 000^e. Le fichier obtenu est proposé sur CD-Rom au format TIFF en couleurs composites (35 Mega-octets). Ce référentiel spatial en mode point constitue une représentation fidèle du territoire, mais son utilisation passe par le traitement numérique, en particulier pour la définition d'entités spatiales.

Un support en **mode vecteur** a été obtenu par numérisation du cadastre. Ce procédé présente l'avantage de définir rapidement une représentation des entités spatiales sur l'ensemble du territoire, mais présente deux inconvénients : les distorsions géométriques exigent un travail important pour le raccordement des planches et de nombreuses vérifications (erreurs et mises à jour) doivent être faites. Pour ces vérifications, on a eu recours à des missions de terrain et/ou à la photo-interprétation de clichés réalisés au 1/3 000^e et au 1/10 000^e. Ce fond peut être exploité isolément pour la représentation des milieux aquatiques, mais pour respecter le principe d'échange et bénéficier du croisement des informations provenant d'autres systèmes (voirie, trait de cote, réseau hydrographique et toutes autres données spatialisées), il est absolument nécessaire de procéder à une rectification géométrique du fonds cartographique. Cette correction a été partiellement appliquée en utilisant la couverture en mode points.

L'acquisition de données par la télédétection [D2]² Des essais de caractérisation des systèmes humides (figure 3) ont été menés à partir de deux types d'images (photographies aériennes infrarouge couleur au 1/10 000^e et fichier numérique CASI). Ces deux méthodes donnent une meilleure repré-

2. Les lettres « D » suivies d'un numéro renvoient à une liste de documents de référence placée en fin d'article.



◀ Figure 2 – Marais nord breton – support spatial en mode point à partir de photos aériennes au 1/10 000^e (1 pixel = 80 cm).

sentation du terrain que le fond IGN au 1/25 000^e ou le cadastre au 1/5 000^e.

La première méthode conduit à extraire et classer correctement les éléments du réseau (plans d'eau, linéaire, ouvrages) alors que la seconde est plus performante pour caractériser ces divers éléments et définir des entités spatiales support d'information. Les fichiers obtenus par scanner imageur (CASI) permettent un traitement informatique direct, alors que les processus de traitement des photographies est plus compliqué (numérisation, mosaïcage). La résolution de 2 m retenue lors du vol avec le CASI conduit à une perte d'environ 20 % des fossés de la classe de largeur de 2-3 m. La résolution de 80 cm choisie pour la numérisation des photographies aériennes restitue tout le linéaire, y compris les vestiges de réseaux et certains éléments de connexité.

Les traitements cartographiques et l'interprétation, avec ou sans informatique, sont plus simples sur les images issues des photographies que celles du

CASI et les résultats sont aussi satisfaisants. Les prises de vue hivernales permettent de bien caractériser les milieux aquatiques : zones humides et qualité des milieux aquatiques (bleus), grandes catégories de végétaux aquatiques émergés, rose-lières et végétaux flottants (verts) et de distinguer les divers éléments de situation (chemins et routes en jaune et orange). Le réseau hydrographique est très correctement classé à 97 %.

Le coût total est comparable (tableau 2), mais il varie par opération selon les types d'images retenus. Le faible coût de l'acquisition des photographies aériennes, sa souplesse de mise en œuvre, la simplicité d'exploitation des diapositives, nous conduisent à préconiser cette solution technique.

Le référentiel spatial commun et le modèle conceptuel de données [D3]

La structure minimale nécessaire pour instaurer un système d'information comprend un référentiel commun, un modèle conceptuel de données et des règles de description communes des jeux de données (métadonnées). Le système d'information proposé est un système réparti communicant : chaque organisation impliquée peut posséder un système d'information propre et procède alors à une extension grâce au référentiel spatial mis en commun grâce à une norme de description des entités spatiales. Les relations entre ces entités spatiales sont décrites dans un modèle conceptuel de données qui constitue une représentation collective du système de marais littoraux, par rapport à laquelle chacun peut référencer ses objets de recherche ou de gestion.

Nous avons limité l'étude du **référentiel spatial** à la représentation des fonctions et usages étudiés. Pour généraliser autant que possible le modèle, des domaines complémentaires ont été rattachés. Nous avons associé à cette étude des partenaires du « Programme national zones humides » (INRA, CNRS, Ifremer). Il faut souligner que le modèle ainsi construit est une représentation subjective dépendant des acteurs participant à l'élaboration du système. Pour une application finalisée, l'analyse devrait être reprise pour compléter le référentiel relatif aux utilisateurs du système d'information.

Certaines entités du référentiel spatial commun sont créées par le découpage spatial de référence. Ce découpage conduit à la définition d'entités spatiales élémentaires (supports d'information permettant les échanges entre participants).



► Figure 3 – Représentation du réseau de fossés d'un secteur du marais de Bourgneuf. Résultats comparés de trois méthodes d'acquisition :

1. Image CASI – Résolution de 2 m.
2. Traitement numérique sur diapositive IRC numérisée à une résolution de 80 cm.
3. Numérisation manuelle du cadastre (1/5 000^e).

Les entités retenues sont :

- la parcelle structurelle (polygone limitée par des fossés ou des plans d'eau permanents) ; les plans d'eau temporaires sont considérés comme des états de la parcelle structurelle ;
- le fossé (sous forme de ligne ou de polygone) ;
- le bassin permanent (polygone) ;
- la bordure (ligne dérivant d'une relation entre entités précédentes).

D'autres entités sont rattachées au référentiel commun :

- les divers supports de données disponibles (imagerie aérienne ou satellitaire, autres documents cartographiques) ;
- les entités d'accumulation de connaissances spatiales (stations de mesure, ouvrages hydrauliques) ou non spatiales (entités biologiques, usager...) ;
- les relations entre ces entités ;
- un catalogue des typologies et méthodes ;
- les éléments du contexte : information extérieure, utilisée directement dans le système (données climatiques, marées, pédologie, zonages divers, VRD...) ;
- des normes de codification pour les éléments du référentiel afin que toute information rattachée soit immédiatement interprétable par tous les participants.

La construction des relations entre les entités du référentiel commun conduit à un **schéma conceptuel de données**, qui peut être considéré comme une représentation de l'organisation d'un marais (figure 4, vue partielle). Le rattachement des informations à ces entités et ces relations dans le respect des normes permet une meilleure compréhension entre les participants au système, une circulation plus complète et plus rapide et, en définitive, une meilleure diffusion de l'information. Le référentiel commun ne couvre qu'une partie de l'information mobilisable à un moment donné sur un territoire donné.

La mise en place d'un système finalisé nécessite l'élargissement du modèle par l'ajout d'attributs ou d'entités spécifiques au domaine d'application. Pratiquement, deux types d'extension peuvent être envisagés :

i) la réalisation d'un système d'information centré sur un projet de gestion particulier : on cherchera alors à organiser l'information au travers d'un modèle restreint, selon un critère de pertinence aux objectifs du projet, et d'efficacité à court terme (action « curative », résolution de conflits,

	CASI	Photo aérienne IRC
Acquisition aérienne	160 KF*	50 KF
Traitement informatique		
Mosaïcage	5 KF	50 KF
Extraction de l'information	120 KF	160 KF
Total	285 KF	260 KF

(*) susceptible d'être abaissé selon la localisation de l'appareil.

mise au point de schémas opérationnels, tableaux de bords) ;

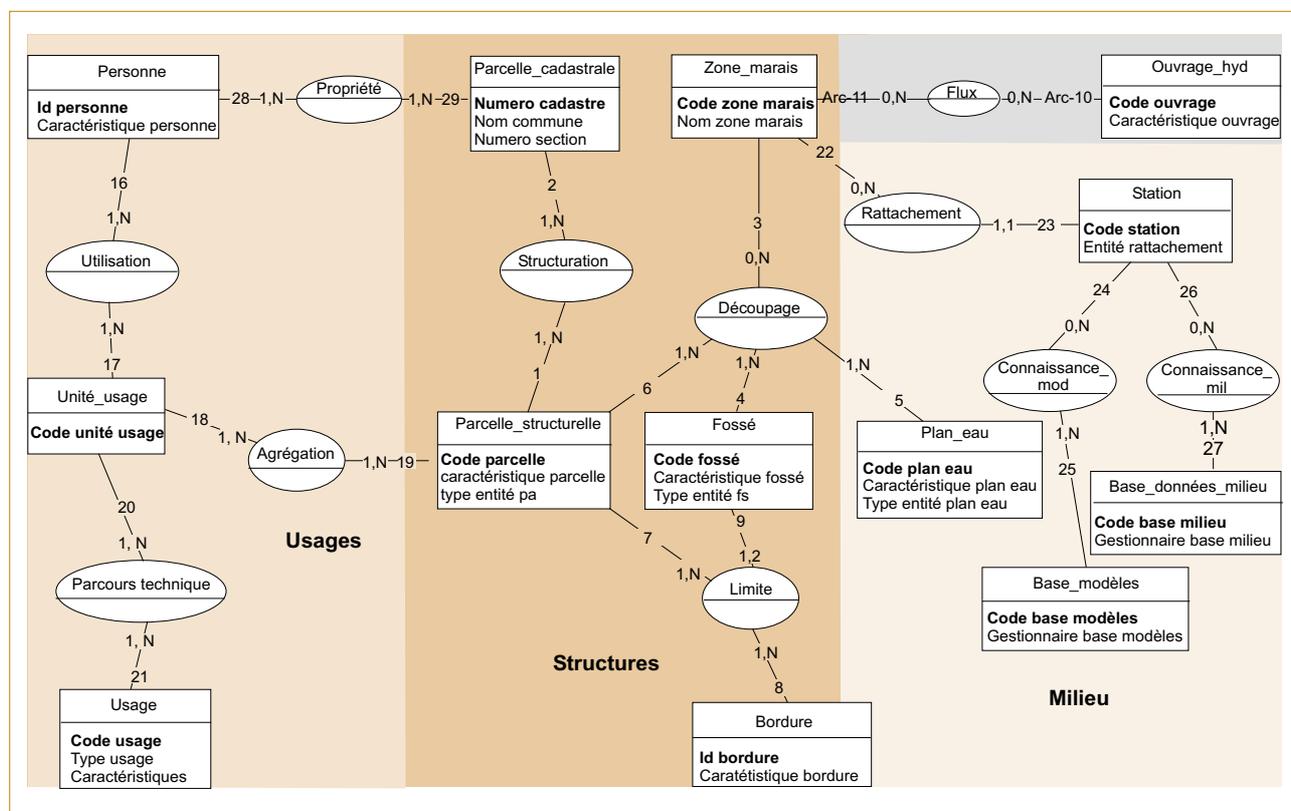
ii) la progression vers un système de représentation homogène du marais : cette logique à plus long terme est orientée vers l'optimisation des processus d'information. Il s'agit alors d'une action de type préventif visant la gestion durable par la recherche de la qualité des données, l'amélioration des modèles et la mise au point d'outils destinés à l'interprétation des connaissances et au perfectionnement des processus décisionnels.

Enfin, un travail spécifique d'animation a été conduit pour encourager la **normalisation de la description des jeux de données** (métadonnées). Ces métadonnées doivent renseigner sur le contenu du jeu de données et sur son étendue temporelle et spatiale ; elles doivent expliciter les noms utilisés, informer sur l'origine et la qualité des données, préciser les personnes ou organismes à joindre pour renseignements et les droits d'utilisation attachés aux données. La rédaction systématique de ces fichiers est une règle de base à respecter lors de la mise en œuvre d'un SIRS. Ils accompagnent toutes données pour l'archivage et pour l'échange, qu'elles soient sous forme de documents manuscrits, de fichiers de tableurs, de bibliothèques d'images ou de fichiers de systèmes de gestion de bases de données et de systèmes d'information géographique. La procédure utilisée s'appuie sur la norme préconisée au plan européen et devrait être reprise par tous les acteurs échangeant des informations au sein du système.

Les actions en partenariat avec les gestionnaires

Les nombreux contacts avec les acteurs locaux ont permis de développer plusieurs actions contribuant à l'instauration progressive d'un système d'information sur le territoire du Marais breton. Après une phase d'interrogation, la présentation régulière de l'état d'avancement du travail auprès des gestionnaires locaux a suscité un intérêt mar-

▲ Tableau 2 – Coûts TTC indicatifs pour un site de 30 m² (tarif 1997).



▲ Figure 4 – Schéma conceptuel de données « Zones humides du littoral atlantique ».

qué pour un outil qui répond à la fois à des besoins manifestes en terme de gestion technique (archivage de données, suivi de travaux), mais aussi en terme d'enjeux politiques liés au ressources en eau. Ces collaborations ont concerné :

- les syndicats de propriétaires et union des syndicats, dont une coopération suivie avec les syndicats gestionnaires de l'eau pour le bassin du nord Falleron (collaboration sur programme) ;
- l'Association pour le développement du bassin versant de la baie de Bourgneuf (collectivités locales), maître d'ouvrage du programme Life-Norspa et utilisatrice d'une partie du référentiel spatial réalisé par le Cemagref (opération « Restauration du réseau secondaire du marais ») ;
- les gestionnaires administratifs participant au financement de diverses actions sur le marais : DDAF (entretien du réseau), DRAF et DIREN Pays de Loire ;
- les trois communes couvrant le territoire du marais nord Falleron ;
- le Forum des Marais atlantiques ;
- l'Agence de l'Eau.

Conjointement, on note l'émergence, sur le Marais breton comme sur les autres régions de marais du littoral atlantique, de démarches convergentes visant à la création de systèmes d'information prenant en compte les milieux aquatiques :

- la mise en place d'un système d'information géographique par l'Association pour le développement du bassin versant de la baie de Bourgneuf dans le cadre du programme Life et la création d'un Observatoire de l'eau intégrant les réseaux primaires et secondaires du marais ;
- la cartographie fonctionnelle de l'étier de Sallertaine (Bureau d'étude SCE – programme Life) et la programmation concertée des travaux d'entretien ;
- le développement d'un SIG pour la préparation et le suivi des travaux d'entretien sur les réseaux de fossés vendéens financés au titre des objectifs 2 et 5B (ADASEA 85) ;
- la prise en compte des problèmes d'entretien du réseau de fossés permanents dans l'opération locale « Agri-environnement 1999-2003 », avec l'émergence de besoins en termes de suivi et d'archivage de données relatives au contrats ;

- la réalisation d'un système d'information pour le suivi des travaux d'entretien du réseau de l'Union des syndicats Sud-Loire (collectivités locales, Agence Loire-Bretagne) ;
- la concertation pour la mise en place d'un fonds cartographique commun des marais du littoral atlantique sous l'égide du Forum des Marais.

Au sein d'un territoire au fonctionnement complexe, dans un contexte de redistribution des rôles des divers acteurs, ces exemples révèlent une prise en compte manifeste des milieux aquatiques dans la gestion de ces territoires. La volonté d'harmoniser ces démarches apparaît dans des actions telles que mise en place du SAGE « Baie de Bourgneuf » ou encore les diverses initiatives lancées par le Forum des Marais.

Les connaissances sur l'état et le fonctionnement des milieux humides

Pour conserver un outil opérationnel, le champ des informations du système doit être circonscrit : dans une perspective de gestion et de préservation des zones humides, il privilégie l'information sur les milieux aquatiques et sur les usages qui s'y rattachent. On doit souligner que, paradoxalement pour des territoires de zones humides, cette information reste encore très fragmentaire et fortement dispersée. Les thématiques retenues sont limitées aux compétences des équipes collaborant au projet. Elles se rattachent à trois domaines : la structure et le fonctionnement hydrologique des zones humides, l'évaluation des relations entre les usages du marais et les milieux aquatiques, et les fonctions écologiques importantes du milieu aquatique (la qualité de l'eau, les peuplements végétaux et piscicoles).

La structure et le fonctionnement des zones humides

La description physique du réseau [D20]

Celle-ci avait été abordée de manière succincte dans le cadre d'un programme antérieur (Life-Norspa 1994-1995). À partir de ces travaux, une typologie a permis de préciser et quantifier la structure complexe des milieux aquatiques induite par i) la diversité des formes et des dimensions des fossés, ii) la multitude des connexions, iii) la variabilité de l'organisation du réseau-maillé, en poche, iv) la densité et les modes de fonctionnement des plans d'eau.

Bien que la gestion du niveau d'eau soit réalisée globalement par les ouvrages à l'aval, cette diversité est la cause d'une grande variabilité de situations hydrauliques (vitesses et sens d'écoulement, assèchements partiels de fossés...), encore accentuée par des aménagements et des pratiques individuelles de gestion. La restitution au 1/25 000^e, suffisante pour représenter les réseaux primaires relativement uniformes, est insuffisante pour traduire cette variabilité. La représentation cadastrale permet une restitution cartographique au 1/5 000^e des réseaux secondaires et tertiaire (95 % du linéaire) et des éléments de faibles dimensions mais de forte influence sur l'hydrologie locale (buses, colmatages partiels ou fermetures, fossés et dépressions permettant des communications temporaires...).

Les éléments du réseau ont été caractérisés par différentes méthodes : le recueil de données à l'échelle des arcs de fossés (portion délimitée par deux confluent et pouvant être subdivisée en arcs « parcelaires » en prenant en compte l'identité des deux riverains) ; les enquêtes auprès des propriétaires, exploitants agricoles, responsables des syndicats, entrepreneurs de travaux ; la photo-interprétation de cinq missions aériennes.

Les réseaux secondaire et tertiaire représentent en moyenne un linéaire de 240 m/ha (respectivement 37 et 203/ha) soit environ 2 400 km pour l'ensemble des 10 000 ha de marais doux situés au nord de l'isthme de Beauvoir. Leur largeur moyenne est de 3,40 m pour une profondeur moyenne (eau et vase) de 1 m. On relève au sein du réseau tertiaire un linéaire non négligeable de fossés isolés (21 m/ha) ou temporaires venant à sec l'été (20 m/ha) malgré l'apport d'eau de Loire. Ces chiffres montrent l'importance de ces canaux gérés en eau douce qui couvrent dans le Marais nord breton quelques 800 ha en eau, auxquels on doit ajouter les 1 500 à 2 000 ha de plans d'eau qu'ils desservent. Ces surfaces ne peuvent être négligées dans le cadre de la gestion de l'eau du bassin versant (30 000 ha) auquel est rattaché le marais.

Ces plans d'eau sont répartis inégalement dans les marais littoraux atlantiques. Le Marais breton est un bon exemple de cette variabilité qui se manifeste depuis la partie continentale, sans plans d'eau, jusqu'à la partie côtière, où ils représentent la dominante des milieux aquatiques. Un inventaire a été réalisé sur la zone atelier à partir de photographies aériennes (328 plans d'eau représen-

tant 91 ha, soit environ 10 % de la superficie échantillonnée). 73 d'entre eux ont été visités pour définir leur mode d'utilisation, leurs caractéristiques morphologiques et leur mode de fonctionnement en liaison avec le réseau hydraulique. Les plans d'eau sont analysés sous l'angle de la fonctionnalité hydraulique (rôle des plans d'eau dans le fonctionnement global du réseau). Des propositions ont été faites, en matière d'aménagement et de gestion, pour une meilleure intégration de ces milieux aquatiques privés dans la gestion collective, en particulier dans la perspective d'une amélioration de la gestion des peuplements piscicoles à l'échelle du marais.

L'état du réseau : le processus de comblement [D22]

Le processus de comblement du marais (érosion des berges par action de l'eau et des animaux, accumulation de débris végétaux, colonisation progressive par les héliophytes et atterrissement) a été étudié par l'analyse de l'état actuel de l'ensemble des fossés d'une zone atelier de 300 ha, parvenus à différents stades de colmatage avec des dates de curages réparties sur une période d'une quinzaine d'années.

Le **réseau primaire**, d'un linéaire relativement peu important, reste peu colmaté grâce à un entretien régulier. L'élargissement de ces canaux dû au curage mécanique remonte à une trentaine d'années. Selon les types de sols traversés, la pratique de marnages brutaux et importants aboutit à la fragilisation et à la détérioration des berges par éboulements.

Les **réseaux secondaires et tertiaires** montrent en moyenne un colmatage (hauteur de sédiment rapportée à la hauteur eau + sédiments) de 38 % après 10 ans et de 51 % après 15 ans. La vitesse de colmatage varie entre 3 et 6 cm/an suivant la localisation et l'ancienneté du curage. Sur la totalité des fossés de cette zone de 300 ha, la moitié du réseau secondaire et tertiaire laisse apparaître un colmatage supérieur à 50 %, ce qui met en évidence un processus de comblement très avancé. Ce phénomène est passé plus ou moins inaperçu du fait du maintien d'un niveau à peu près constant en période estivale, grâce à un apport d'eau de Loire depuis le début des années soixante. Auparavant, les fossés les plus envasés arrivaient régulièrement à sec en été et étaient ainsi aisément repérés.

Par ailleurs, les photos aériennes infrarouge permettent de mettre en évidence de multiples tra-

ces d'anciens fossés, dont on ne peut que rarement préciser l'historique. On constate cependant une tendance à la simplification du réseau par fermeture progressive des fossés de petit calibre, enclavés par exemple dans les parcelles mécanisées. Des modifications localisées mais importantes, dues notamment à divers travaux d'aménagement (en particulier pour la chasse), ont également été observées pendant toute la durée de l'étude.

On rappellera que l'entretien des réseaux secondaires et tertiaires sont à la charge des propriétaires riverains. Si l'entretien du réseau secondaire, par sa vocation collective, peut être soutenu par des fonds public, celui du réseau tertiaire ressort entièrement du bon vouloir du propriétaire. Un entretien assez régulier (curage tous les quinze ans) correspond à une dépense de 70 à 150 F/an/ha de marais selon les situations. Ce coût, autrefois couvert par les revenus liés aux ressources aquatiques qui ont fortement régressé voire disparu, est à mettre en perspective avec le montant des charges annuelles (environ 500 F d'impôt foncier et taxe marais) supportées par le propriétaire d'un hectare de marais. Il ne faut donc pas s'étonner d'un certain relâchement dans l'entretien de ces réseaux tertiaires, bien moins suivis et connus que les grands émissaires et dont l'intérêt collectif n'a été que peu perçu jusqu'à présent. Plus grave encore pour les milieux humides, la pratique du colmatage volontaire est de plus en plus fréquente : elle permet à la fois de résoudre radicalement les problèmes d'entretien et d'améliorer les conditions de mises en exploitation des parcelles.

Les apports de la télédétection et des relations topologiques pour la production d'indicateurs de l'état et du fonctionnement des zones humides [D4]

Pour intégrer des outils opérationnels de suivi et d'évaluation de l'état et du fonctionnement des zones humides au système d'information, nous avons entrepris de définir des indicateurs spatio-temporels de l'état et de l'évolution de ces milieux. Nous avons eu recours à l'association de deux méthodes : l'interprétation de documents issus de télédétection et les méthodes de formalisation des relations topologiques entre objets. Par rapprochement avec les connaissances thématiques relatives à l'hydrodynamique des marais, nous prévoyons de définir deux types d'indicateurs : des indicateurs simples résultant de la confrontation de descripteurs issus des images de télédétection avec la thématique étudiée ; des indicateurs composites, choix et combinaison perti-

nents de descripteurs en s'aidant de la structure en graphes plus ou moins robuste des relations d'espaces entre objets hydrauliques, dont l'analyse semble porteuse d'informations sur un fonctionnement dynamique.

Cette recherche consiste à caractériser le fonctionnement et l'état d'un milieu naturel au travers de deux ensembles de données : les données de caractérisation du milieu (E) et les relations entre ces données (I). Sachant que toutes ces données sont entachées d'erreur et sont souvent très incomplètes, l'objectif est de construire un ensemble $(E)_v(I)$ qui définisse le milieu de manière pertinente (point de vue de l'hydrologie) et cohérente (point de vue de l'intelligence artificielle) afin de qualifier simultanément les variables d'état (coté E) et de fonctionnement (coté I) et leurs interactions.

Deux axes méthodologiques ont été privilégiés.

L'utilisation de la télédétection

Les milieux humides de la zone expérimentale ont été restitués à travers un SIG alimenté par des données de télédétection satellitale (SPOT) et aériennes (clichés IRC, scan CASI), interprétées au moyen de nombreuses observations de terrain réalisées depuis 1996. **La structuration des zones humides** s'est focalisée sur l'étude du réseau des canaux et des connexions [D8]. Un schéma probabiliste de propagation des eaux à travers le réseau de canaux est proposé, il s'appuie sur des probabilités conditionnelles de circulation de l'eau entre tronçons successifs, et donne une vision synthétique de la phase de remplissage du marais, avec une possibilité de comparaison de scénarios. Cette solution mérite d'être améliorée par formalisation du problème par les techniques d'intelligence artificielle. Le **caractère humide du marais** [D1] a été étudié à travers la recherche d'indicateurs des capacités de remplissage en eau des parcelles. Ce travail procure un « point zéro » de l'état en eau du marais à la date des observations. Des relations temporelles entre l'état des parcelles ont commencé à être dégagées sur l'évolution inter-annuelle. La suite de ce travail nécessiterait des données étalées dans le temps sur plusieurs années pour valider leur apport dans le diagnostic de suivi du caractère humide.

La gestion des contraintes par l'intelligence artificielle [D5][D6][D7]

Bien que cette approche n'ait pas été appliquée directement sur le site de Bourgneuf, une première validation de la méthode a pu être faite sur des sites pour lesquels la caractérisation de l'espace

était déjà réalisée et les données recueillies, notamment dans la plaine d'inondation de l'Hérault, prise comme champ d'application des contraintes hydrauliques. Dans cette application, l'ensemble (E) concerne les estimations de cotes et niveaux d'eau par casier, l'ensemble (I) concerne les contraintes hydrauliques de circulation. L'algèbre de Allen est utilisée pour caractériser et résoudre les systèmes de contraintes. Les algorithmes de résolution des conflits relèvent des CSP (classiques et flexibles) et des méthodes de résolution binaires, type BDD, ou de diagnostic. Un second aspect méthodologique a été étudié sur un bassin versant du Gers dans le cadre de la classification d'image satellitale par parcelles : les contraintes sont ordonnées selon des règles de décision gérées par les « réseaux bayésiens ».

Le schéma général de cette approche s'est focalisé non pas sur le rassemblement d'un grand nombre de données et de sites, mais plutôt sur les méthodologies permettant d'utiliser et de rendre cohérents des ensembles de données de description d'un site : caractériser la cohérence globale d'une théorie simple sur les circulations d'eau, mais complexe par les interactions. L'application aux territoires de marais littoraux, sous condition de caractérisation assez fine de l'espace et des milieux aquatiques, peut déboucher sur des méthodes de gestion des informations qualitatives sur un espace naturel, ici hydraulique. Ces méthodes doivent permettre d'établir des diagnostics fondés sur des indicateurs de fonctionnement.

La mobilisation de données sur la connaissance et la typologie des sols de marais

Tous les sols de marais sont d'origine fluviomarine et présentent des caractéristiques semblables : topographie plane, profil pédologique peu différencié, texture très fine (50 à 60 % d'argile, 98 % d'éléments fins), avec des argiles de type illites, kaolinites ou smectites. Malgré ces caractéristiques physiques proches, ces sols possèdent un comportement hydrique, hydraulique et agronomique différent, lié à la variabilité de la stabilité structurale et à la perméabilité. On peut attribuer cette diversité de comportement à certains critères comme la teneur en sodium échangeable, à la présence de calcaire, de matière organique et à la salinité.

Compte tenu des difficultés d'évacuation des eaux (l'altitude des marais est généralement inférieure au niveau atteint par les plus hautes marées), il y a présence d'une nappe permanente dans ces sols. Le niveau de celle-ci est conditionné par diffé-

rents facteurs tels que la saison, le niveau d'eau dans les canaux, le type de sol, etc. Il est à noter que la saturation du milieu poreux du sol a des effets biologiques néfastes dont le plus important correspond aux conditions asphyxiantes imposées aux racines d'un sol engorgé.

Ces sols lourds présentent la particularité d'être peu perméables et plus ou moins stables en fonction de leur sodicité. Leur origine sédimentaire leur confère, à l'échelle de la parcelle, une relativement bonne homogénéité horizontale. Mais cette homogénéité n'est que locale, la variabilité spatiale est en fait importante. Les aménagements et la gestion, destinés à protéger les zones basses de l'invasion de l'eau marine et à limiter les terres cultivées des crues provenant des bassins versants avoisinants, ont fortement accru cette variabilité spatiale à différentes échelles. La variabilité est importante à l'échelle des grandes unités de marais, qui se distinguent par des historiques et des techniques d'aménagement différentes. Elle l'est à l'échelle régionale où apparaissent dans des proportions variables des zones fortement différenciées : les marais maritimes soumis aux marées, les marais desséchés et les marais mouillés (zones les plus en amont destinées à tamponner l'action des crues). Et à l'échelle locale, les modes d'exploitation ont conduit à une diversification des sols et de leurs caractéristiques hydrologiques.

Le sol est un élément fortement structurant de la zone humide, qui joue un rôle pivot dans la circulation de l'eau dans les marais tant dans les circulations superficielles que dans les transferts au sein de son milieu poreux. Les variations de son comportement hydrique dans l'espace et dans le temps sont un des facteurs clés du fonctionnement de la zone humide. Ses caractéristiques sont des paramètres déterminant de l'évolution des usages, et en particulier des modes d'exploitation agricoles.

C'est pourquoi le recensement des connaissances sur les sols de marais nous a paru indispensable dans le cadre d'une base d'information. De nombreuses études ont été réalisées sur ce domaine en particulier les caractéristiques des sols en présence de l'eau, leur évolution, leur répartition spatiale, les modèles de fonctionnement. Environ 300 documents ont été rassemblés à ce jour : documents bibliographiques, documents cartographiques et bases de données spatialisées, données expérimentales (mesures de terrain...) et modèles de fonctionnement (explicatifs ou prédictifs). Le classe-

ment de ces documents a été fait sur la base du thésaurus utilisé au *Cemagref*. Cette base de données bibliographiques a été testée sur un serveur intranet (OS Linux, SGBD Postgre SQL, CGI Perl) permettant la recherche par mots-clés. L'affectation de clefs complémentaires extraites du modèle conceptuel ou d'identifiants géographiques permet de rattacher l'information bibliographique aux éléments correspondants du système d'information. Cette démarche a été traitée au stade expérimental et demanderait à être finalisée en procédant par exemple à une édition numérique des documents cartographiques existants ; une mise en ligne de quelques modèles de comportement de sols ; la réalisation d'interfaces d'interrogation élaborés, s'appuyant par exemple sur une recherche spatiale par cartes interactives.

Ce travail a permis d'engager la réflexion sur les modalités de réalisation technique d'un système d'information. La thématique des sols de marais est pour cela un support intéressant, car elle recèle une information abondante, mais peu connue des non spécialistes (agronome, hydrologues ou agriculteurs), dont la diffusion plus large doit permettre de sensibiliser les gestionnaires et autres acteurs à son importance. Ce cas particulier peut être pris comme exemple dans la perspective d'un élargissement de la base de connaissance du système d'information à d'autres thématiques.

Les études des usages et de leurs relations aux milieux humides

Les territoires de marais sont soumis de façon permanente à des actes d'aménagement et de gestion qui accompagnent ou s'opposent à l'évolution naturelle. En postulant que les usages sont en grande partie à l'origine de la dynamique des milieux aquatiques, nous avons identifié quatre principaux groupes d'acteurs dont les pratiques et les motivations jouent un rôle dans le devenir des zones humides. Les acteurs **usagers** sont caractérisés par la présence *in situ* de leurs activités, ce sont actuellement les **exploitants agricoles** et les **chasseurs** qui exercent la plus grande emprise spatiale sur le marais. Les acteurs **gestionnaires** sont regroupés au sein de structures locales de décision et d'actions à différents niveaux d'organisation, **syndicats de marais** et **unions de syndicats de marais**. Les acteurs institutionnels comprennent les collectivités locales et leurs émanations (SAGE), les administrations venant en représentation de l'État et de l'Union européenne. D'autres acteurs interviennent comme par

exemple les associations représentant des groupes d'intérêt divers, en particulier pour la **défense de l'environnement**.

On constate que l'évolution de l'usage agricole a changé les pratiques et le regard des exploitants du marais, notamment en ce qui concerne les milieux aquatiques. Par ailleurs les gestionnaires traditionnels du marais remplissent de plus en plus difficilement leurs missions en raison de problèmes financiers et de la difficulté de prise en compte de multiples usages. On voit aussi de nouveaux acteurs s'affirmer (chasseurs, protecteurs de la nature, collectivités territoriales) et revendiquer d'autres usages et une autre gestion du marais.

Nous avons tenté d'évaluer l'évolution des pratiques de deux groupes d'acteurs ayant une influence directe sur les milieux aquatiques : les usagers et les gestionnaires. Les autres acteurs agissent de façon indirecte, soit par des mesures réglementaires, par des mesures incitatives (subventions), par des procédures judiciaires ou par pressions sur l'opinion publique. Dans le cadre de ce projet « Agriculture et Environnement », nous avons choisi de présenter les résultats concernant les agriculteurs. Le constat initial montre l'absence quasi-totale d'informations sur ce groupe d'acteurs importants du marais. Les sources identifient, au mieux, la localisation du centre d'exploitation. Par contre, les modes d'utilisation agricoles du marais, leur part dans les exploitations, les caractéristiques des territoires d'exploitations (distance au siège, répartition spatiale...) ne sont disponibles directement. Pour les caractériser, nous avons dû recouper plusieurs méthodes : enquêtes directes, recoupement de sources diverses (RGA, REA, registres des opérations locales).

L'étude a été conduite sur trois échelles :

- l'échelle régionale : typologie des exploitations (Marais breton) ;
- l'échelle intermédiaire : typologie des comportements (zone d'action des trois syndicats Bourgneuf-Fresnay-Machecoul) ;
- l'échelle locale : évaluation des pratiques à la parcelle.

La typologie des systèmes d'exploitation : l'agriculture du Marais breton [D9]

Pour décrire l'agriculture du Marais breton, nous avons réalisé une typologie de fonctionnement des exploitations agricoles intervenant dans le marais, en utilisant la méthode créée par A. Capillon. Fondée sur une approche systémique des exploi-

tations, cette méthode permet de définir des types, distingués par leurs logiques de fonctionnement et leurs trajectoires d'évolution. Un travail d'échantillonnage, conduit sur une base de 416 exploitations, a permis de sélectionner 39 exploitations (représentant 3 280 ha de SAU, dont 2 270 ha de surface de marais, soit un peu plus d'un 1/15 de la surface totale). Les entretiens menés avec chacun des 39 agriculteurs ont permis l'élaboration de synthèses individuelles, bases des résultats présentés ci-dessous.

La prairie naturelle non retournable, occupation dominante du sol

Il s'agit de prairies naturelles de marais, non retournables, mises en valeur par la fauche ou la pâture, que l'on regroupe sous l'intitulé STHm (Surface Toujours en Herbe de marais). Le critère STHm/SAU, bon élément de caractérisation des exploitations, a été systématiquement utilisé pour les décrire. Notons que, hors du marais, la STH est rare (82 ha sur les 39 exploitations, soit 2,5 % de la SAU totale) et que STH totale et STHm sont donc à peu près équivalentes dans les exploitations du Marais breton.

L'identification de dix types d'exploitations distincts

Quatre types « allaitants », quatre types « laitiers » et deux types « hors sols volailles » ont été décrits. Les principales caractéristiques utilisées pour les décrire sont : l'orientation du système de production, la taille de l'exploitation, la proportion de prairies naturelles, le niveau d'intensification et la localisation du siège. Les types allaitants localisés dans le marais ou à sa périphérie sont proportionnellement les plus nombreux. Ces élevages allaitants dominent en particulier dans le marais. Cependant, des élevages laitiers sont encore bien présents, malgré la perte importante de références laitières qu'a connue le Marais breton, et que l'on estime à 40 % pour ces dix dernières années (FDSEA de Vendée, 1997). Les exploitations spécialisées en productions hors sol sont maintenant bien implantées dans la zone, en partie grâce au développement des infrastructures régionales.

Un lien fort entre l'importance de la prairie naturelle dans l'exploitation et l'orientation du système de production

La prairie naturelle est un des principaux déterminants du système. En effet, non transformable en terre cultivée, cette surface en herbe « s'impose » aux exploitants. L'importance de la surface de prairie de marais est elle-même fortement liée à l'emplacement du siège de l'exploitation. Une partie

des choix stratégiques correspond à la manière de mettre en valeur cette prairie obligatoire. En examinant les exploitations sous cet angle, quatre niveaux d'importance de la prairie peuvent être distingués :

1. Une prairie naturelle incontournable.

Dans une partie des exploitations enquêtées, la prairie naturelle de marais représente la totalité ou la quasi-totalité de la SAU. La production d'herbe, sur des prairies naturelles conduites de façon très extensive, est la base du système fourrager.

2. Une prairie naturelle importante.

L'exploitant dispose, dans ce second cas, d'une proportion importante de marais (STHm supérieure à 55 % de la SAU) mais également de quelques parcelles de terres labourables (polders ou terres de bocage), permettant des cultures fourragères (maïs ensilage, céréales, prairies temporaires) et donc un troupeau aux besoins plus importants, incluant des taurillons ou des vaches laitières, voire les deux en même temps.

3. Une surface en herbe secondaire, mais un appoint intéressant.

Pour ces exploitations, la prairie naturelle de marais est peu importante, en valeur relative (surface inférieure à 40 % de la SAU) et en valeur absolue (surface inférieure ou égale à 30 ha). L'essentiel de leur système fourrager dépend des terres labourables (prairies temporaires ensilées, maïs ensilage souvent irrigué) et la production en herbe du marais devient secondaire. Cependant les exploitants ne parlent pas de se séparer de ces parcelles, même si elles représentent des surfaces modestes. Ils mettent en avant la souplesse qu'elles apportent dans l'organisation du système fourrager.

4. Un marais marginal, conservé par goût.

Dans une partie des exploitations enfin, le marais n'est pas une source de revenu importante. Il est conservé uniquement par goût. Les surfaces sont faibles (inférieures à 40 ha) et le mode d'exploitation est extensif. Les parcelles de marais sont valorisées par un troupeau de vaches allaitantes avec brouards, ou entretenues par une fauche, le foin étant vendu.

Un regain d'intérêt pour la prairie naturelle de marais

Les agriculteurs montrent un intérêt croissant pour l'acquisition de surfaces supplémentaires de marais, alors que ces prairies étaient délaissées il y a encore peu de temps. Deux motivations principales permettent d'expliquer cette évolution : la

volonté d'améliorer techniquement le système existant, et surtout celle de s'adapter aux textes des MAE pour optimiser le niveau des primes perçues.

En accroissant sa surface en herbe, l'agriculteur peut réduire le chargement et bénéficier de primes à l'extensification (seuil de 1,4 UGB/ha de SFP). Cette pratique est surtout le fait des éleveurs laitiers intensifs, les autres types ayant habituellement des chargements inférieurs à ce seuil (autour de 1 UGB/ha de SFP en général). Ce même raisonnement intervient lorsque l'agriculteur souhaite obtenir la prime à l'herbe. Son octroi nécessite d'avoir au minimum 75 % de la SFP en prairie permanente.

Reprendre des parcelles de marais est également intéressant lorsqu'un quota laitier y est attaché. Enfin, la prime OGAF-environnement a redonné un regain d'intérêt à l'exploitation du marais puisque son montant équivaut à peu près au coût de location des parcelles. Ainsi, alors que ces surfaces ont été longtemps considérées comme improductives et de peu d'intérêt, elles sont aujourd'hui, par la conjonction de diverses mesures, de nouveau recherchées par les agriculteurs.

Des évolutions diverses marquées par l'agrandissement et par l'adaptation aux nouvelles données de la politique agricole

En général, les trajectoires d'évolution des exploitations que nous avons identifiées vont dans le sens d'un agrandissement des exploitations. Cet agrandissement ne s'accompagne pas toujours d'une recherche de productivité maximale. La mise en place des quotas laitiers, l'aide à la cessation d'activité laitière qui l'a accompagnée, ainsi que le volet environnemental de la réforme de la PAC en 1992 (accompagnée des MAE), ont engendré de nouvelles stratégies prenant en compte ces aspects réglementaires.

Il est possible de pointer certaines évolutions probables. Parmi celles-ci, la poursuite de l'agrandissement des surfaces. Les exploitations situées en plein marais en particulier n'ont pas d'autre choix que d'accroître la taille du système de production actuel. D'autres types, stabilisés actuellement, pourraient évoluer vers de nouveaux systèmes que l'on ne connaît pas encore, et que l'on peut tout au plus imaginer. Il ne semble pas improbable, par exemple, que certaines exploitations importantes continuent leur expansion. La prairie naturelle restera le mode dominant d'occupation du sol dans un avenir proche, sa mise en culture étant difficile et sa valorisation étant favorisée à l'heure

actuelle par un ensemble de mesures agri-environnementales. Ces dernières semblent apporter aux exploitants un soutien financier appréciable qui devrait, autant que nous puissions en juger pour l'instant, se pérenniser.

La typologie des usages : comportement des agriculteurs vis-à-vis du marais [D10][D11]

Un travail d'enquête a été mené sur la zone située au nord du Falleron, visant à préciser les types de comportement des exploitants agricoles vis-à-vis des milieux aquatiques. L'agrégation des réponses aux enquêtes permet de décrire des types de comportements d'acteurs en fonction de leurs pratiques relatives à l'entretien et à l'aménagement de ces milieux. Les motivations à l'origine de ces comportements sont analysées en fonction de deux hypothèses. La première suppose que ces comportements sont gouvernés par des facteurs objectifs, notamment des caractéristiques parcellaires et des facteurs économiques. La seconde postule que ces comportements se traduisent par une rationalité autre qu'économique, sous l'influence de facteurs socioculturels, les représentations.

Quatre types d'exploitations utilisant le marais ont pu être décrits ; les « traditionnels en sursis », les « modernes bien établis » et deux autres types devant à terme rejoindre ce dernier, « les modernisants extensifs » et les « modernisants intensifs ». Au travers de cette typologie, les exploitations ayant leur siège en marais (elles occupent environ 1/3 de la surface du marais) se classent surtout en « traditionnels en sursis » et apparaissent très fragiles, voire menacées de disparition, essentiellement parce qu'elles ont conservé de petites structures, un parcellaire dispersé, et un système de production extensif, aux bâtiments anciens et mal équipés. Ce sont ces exploitants qui assurent l'entretien le plus régulier et réaménagent le moins le site. On assiste cependant à l'apparition d'un nouveau type de maraîchins, aux exploitations plus modernes et aux systèmes de production plus intensifs. Cette émergence peut impliquer une menace pour les équilibres écologiques du marais, confirmé par l'analyse des comportements : fertilisation des prairies, mécanisation croissante, agrandissement des parcelles. Pour ces exploitants, le réseau doit être simplifié, les efforts d'entretien portent sur les fossés extérieurs et les niveaux d'eau doivent être abaissés pour éviter la submersion.

Les deux autres tiers du marais sont occupés à parts égales par des exploitations de bordure de marais et par des exploitations du coteau. Ces agricul-

teurs aménagent peu le milieu, et si la moitié des exploitations de bordure assure l'entretien des fossés, la grande majorité des exploitations du coteau se désintéresse de cette question.

L'entretien reste ainsi une priorité pour un peu plus de la moitié des exploitants interrogés, alors que environ 30 % d'entre eux aménagent fortement leur milieu. L'entretien porte cependant presque exclusivement sur les fossés ceinturant des îlots parcellaires et sur ceux définissant une limite de propriété. Les atteintes portées aux milieux aquatiques, bien que concernant encore un faible linéaire, se situent sur des milieux peu intéressants du point de vue agricole : les mares, les fossés intérieurs des parcelles et les zones humides temporaires.

L'agrégation de ces différentes pratiques nous a conduits à regrouper les exploitants suivant trois principaux types de comportement vis-à-vis de l'eau.

Les « **consommateurs** », caractérisés par leur non-intervention en matière d'entretien et d'aménagement sur le marais et les milieux aquatiques, sont des exploitants qui n'utilisent le marais que dans une stratégie agricole. Ils n'y exercent aucune autre activité et sont profondément loin de ses traditions. D'ailleurs, ils sont aux deux-tiers, originaires du coteau.

Les « **entrepreneurs** » et les « **traditionnels** » sont identifiés par leur intérêt quant à l'entretien du réseau de fossés. Ils se distinguent les uns des autres par les pratiques d'aménagement ; dans un cas, ils se révèlent être fortement aménageurs (entrepreneurs) et dans l'autre cas, ne le sont pas (traditionnels). Ces deux groupes se ressemblent par leur représentation du marais ; pour eux le marais ne constitue pas qu'un support à l'usage agricole, ils y exercent également des activités ludiques (pouvant être parfois lucratives), telles que la chasse ou la pêche. Cependant cette représentation se traduit par des actes différents en matière d'aménagement. Les premiers cherchent à maîtriser leur production sur le marais, les seconds l'utilisent plus sous la forme de cueillette, sans le modifier. Les « entrepreneurs » sont principalement des maraîchins, à la tête d'exploitations se modernisant, et les « traditionnels » sont plutôt des exploitants de bordure ou de coteau, pour lesquels les pratiques d'aménagements ne recouvrent pas forcément un aspect de rentabilité.

L'évaluation des pratiques à la parcelle a été abordée par le biais d'une enquête auprès d'agricul-

teurs identifiés parmi les types définis (tableau 3). L'approche complète n'a pu être conduite à son terme : elle demanderait à être affinée par une description précise des itinéraires techniques et par l'évaluation des impacts correspondants sur les milieux aquatiques. Les résultats de l'enquête ont cependant permis de procéder à quelques simulations basées sur ces descripteurs, limitées au périmètre de la zone atelier où la structure du réseau était bien cartographiée. Ce schéma d'analyse spatiale permet de cartographier les risques de modification des milieux aquatiques en fonction du type d'usage étudié, du comportement de l'exploitant, de l'utilité des fossés par rapport à l'usage ou au fonctionnement hydraulique global (ordre hiérarchique), et de la situation des milieux humides par rapport à la structuration spatiale des exploitations.

Cette méthode d'analyse peut permettre de tester des scénarios d'évolution avec notamment une quantification du risque de disparition du linéaire de fossés et/ou de surfaces en eau temporaires, autant d'informations particulièrement utiles dans le cadre de l'élaboration de projets locaux de gestion et de valorisation de ces territoires.

Les fonctions écologiques : l'acquisition et la mobilisation de connaissances sur les milieux

Les études engagées sur la zone atelier ont eu trois objectifs. Le premier fut de caler des méthodes d'échantillonnage et de suivi adaptées et standardisées. Le deuxième fut d'identifier le niveau de variabilité spatio-temporelle des peuplements végétaux et piscicoles des fossés et canaux. Le troisième fut de préciser le niveau de relation existant entre ces peuplements et les caractéristiques physiques de ces canaux (colmatage, connexité...), caractéristiques directement liées aux actions d'en-

tretien et de gestion développées par les propriétaires et exploitants de ces zones.

La qualité physico-chimique des milieux aquatiques

Les campagnes d'analyses physico-chimiques ont privilégié le suivi de la phase été-automne correspondant à la période la plus critique pour les milieux aquatiques du marais (baisse de niveau, augmentation du confinement d'une grande partie du linéaire, prolifération végétale...). Les paramètres analysés ont été les suivants : température, pH, conductivité, matières en suspension avec fraction minérale, oxydabilité, formes azotées et phosphatées. Même en phase confinée, on ne constate pas de différences significatives, sur les paramètres pris en compte, entre les classes de fossés (réseau primaire, réseau secondaire, fossés tertiaires).

Azote et phosphore : le marais joue un rôle majeur dans le cycle de ces deux éléments avec des valeurs faibles à très faibles observées (P total inférieur à 1,7 mg/l, azote ammoniacal t inférieur à 1mg N/l, azote nitrique inférieur à 6 mg N/l) dans la grande majorité des cas. Une étude particulière de la dynamique de l'azote a montré qu'après une hausse des nitrates en période hivernale, en relation avec le renouvellement de l'eau et l'absence de développement végétal, on assiste dès le printemps à leur disparition par assimilation. On ne trouve en été que des formes ammoniacales correspondant aux cycles de la matière organique : pendant cette période, un apport de nitrates est immédiatement assimilé par les importantes quantités de végétaux aquatiques.

Matières en suspension : 70 % des relevés correspondent à des concentrations supérieures à 30 mg/l, la fraction minérale étant toujours très majoritaire (70 à 80 %).

▼ Tableau 3 –
Descripteurs pris en
compte pour la
typologie des
pratiques.

Entretien	Aménagement des fossés	Aménagement des parcelles
Pratique régulière de curage et/ou de faucardage des fossés	Modification du réseau de fossés (comblement, création)	Assainissement des parcelles (rigoles, drains enterrés...)
Prise du contrat d'entretien dans le cadre de l'OGAF (contrat D)	Restructuration du réseau de fossés	Nivellement des parcelles (passage du rotavator)
Participation à la lutte contre les rongeurs (rats musqués, ragondins)		Conversion de prairies naturelles (prairies temporaires, artificielles)

Conductivité : ce paramètre est celui qui présente dans la majorité des cas le niveau d'hétérogénéité le plus notable. Outre la signature d'intrusion d'eaux provenant de Loire en périodes critiques, ce paramètre signe parfaitement le niveau de confinement général du marais sur un cycle annuel ainsi que celui des éléments les moins bien renouvelés (poches isolées, fossés en cul-de-sac...).

Oxygène : Le paramètre oxygène (mesures de 14 h/16 h) est sous l'influence de la prolifération végétale, du niveau d'envasement et de l'intensité des mouvements d'eau : c'est le second indicateur qui présente une forte hétérogénéité dans le réseau de fossés. Plus du tiers du linéaire se retrouve ainsi en été avec des concentrations maximales en oxygène de 1,5mg/l.

Les peuplements de macrophytes aquatiques
[D13][D14][D15]

Les macrophytes aquatiques interviennent en tant qu'organismes au travers des divers processus liés à la production primaire. Ils jouent un rôle dans la consommation des nutriments disponibles dans les eaux et les sédiments, dans l'accumulation de sédiments fins et dans les cycles d'oxygène dissous et de pH. La connaissance des relations entre la qualité des milieux et la nature de leurs peuplements végétaux permet de tirer des enseignements en termes de bio-indication. Ces savoirs sont susceptibles de participer à l'appréciation globale de la qualité biologique des milieux aquatiques et du rôle de la dynamique végétale dans la fonction épuratrice du marais. En tant qu'habitats, les macrophytes aquatiques prennent une part très importante à la structuration de l'espace des animaux aquatiques.

Les connaissances acquises portent sur la diversité végétale et la répartition des plantes des trois strates (flottantes, immergées, fixées) dans la zone expérimentale ; la mise au point des protocoles de recueils d'information pour la quantification des biomasses d'hydrophytes immergées enracinées et flottantes ; le suivi très précis de l'évolution des peuplements végétaux au cours de la saison estivale ; les dynamiques de recolonisation par la végétation aquatique de stations récemment curées.

Les résultats obtenus montrent l'intensité de l'occupation du réseau secondaire et du réseau tertiaire par la végétation aquatique. La biomasse moyenne (en poids sec) hors hélophytes, toutes campagnes et stations confondues, atteint 500 g/m², dont 380 g de macrophytes flottants, 95 g de

macrophytes immergés et 25 g d'algues planctoniques. Ces données dissimulent une très forte variabilité spatiale. La dynamique saisonnière est tout à fait remarquable. On note par exemple un développement important d'algues filamenteuses au printemps ; après une régression estivale sous la dominance des hydrophytes immergés et flottants, un nouveau développement se produit lors de la phase de sénescence des phanérogames.

L'analyse des relations entre les paramètres physiques des stations et les modalités de la colonisation végétale permet de préciser partiellement les dynamiques d'évolution des fossés sans que, pour le moment, nous soyons en mesure de quantifier précisément l'ampleur des variations inter-annuelles de l'occupation de l'espace disponible par les végétaux.

Les travaux actuellement engagés visent à préciser l'ampleur de ces variations inter-annuelles induites par des paramètres internes ou externes au milieu, tels que les écoulements du premier semestre de l'année, les évolutions saisonnières de températures, les compétitions entre les divers types de végétaux pouvant se développer. Ils tendent aussi à poursuivre la mise au point de méthodes de quantification des développements des végétaux aquatiques, en privilégiant une méthode allégée permettant d'examiner un nombre important de stations pour s'adapter à la très grande variabilité spatiale du milieu. Enfin, ils ont pour but de préciser les signatures des peuplements d'hélophytes des berges dans l'interprétation des photos aériennes et utiliser l'analyse d'image pour évaluer la répartition des espèces et des habitats.

L'étude de la richesse piscicole
D18][D19][D21][D24]

La quasi-ignorance sur les peuplements de poissons de ces zones humides ainsi que l'intérêt des connaissances ichtyologiques pour la gestion de ces territoires nous ont incité à approfondir l'étude de ce compartiment biologique. En effet, la prise en considération des informations concernant le poisson correspond à divers types de préoccupations. Il s'agit d'abord de disposer d'**indicateurs de la qualité** (chimique et biologique) et du **type de fonctionnement** du système aquatique d'un territoire donné, le poisson ayant généralement une aire de vie englobant plusieurs habitats différents. Il convient aussi d'optimiser l'abondance de **ressources potentielles** pouvant contribuer, à leur niveau, à couvrir les frais d'entretien régulier de ces milieux soumis à une dégradation continue (éro-

sion des berges, colmatage des milieux aquatiques). Et enfin, il faut participer aux efforts de préservation de la **diversité biologique** et de maintien de chaînes trophiques riches et diversifiées.

Au cours de cette étude, nous avons développé des protocoles de recueil de données sur l'ichtyofaune prenant en compte les spécificités du réseau (forte hétérogénéité des habitats, réseaux maillés, forte variabilité saisonnière), nous avons caractérisé les peuplements piscicoles de ces territoires, évalué les relations entre ces peuplements et les habitats aquatiques, et procédé à une première analyse des conséquences en terme de gestion et/ou de caractérisation de l'état de ces milieux.

Les méthodes de suivi des peuplements

La lourdeur de mise en œuvre des campagnes de pêche électrique (maximum de quatre stations par jour avec passages multiples et présence de quatre intervenants minimum) nous a amenés à effectuer une comparaison avec d'autres méthodes d'échantillonnage (nasses et filets). Ces engins passifs présentent l'intérêt d'être manipulables par une ou deux personnes, sur un grand nombre de stations, et surtout permettent d'intégrer la présence diurne et/ou nocturne des poissons sur les stations contrairement à l'inventaire par pêche électrique (observation diurne et ponctuelle).

À partir des résultats obtenus, on peut faire un certain nombre de recommandations. Les périodes printanière (avril/mai) et automnale (septembre) apparaissent comme étant les deux plus favorables à l'observation de l'ichtyofaune dans ces réseaux. L'échantillonnage des réseaux intermédiaires entre grands émissaires et chevelus d'un secteur (secondaires ou tertiaires selon les zones) permettent d'accéder, par pêche électrique, à une image fiable du peuplement de la zone (diversité spécifique, niveau d'abondance). Ceci permet de focaliser l'effort d'échantillonnage sur environ 10 % du linéaire de fossés. Par contre la compréhension du fonctionnement des populations (analyse du niveau, du rythme et du type d'utilisation des divers habitats par l'ichtyofaune), le recours à des engins passifs (nasses, tramails) sur des périodes de quatre jours/nuits minimum est recommandé.

Les caractéristiques du peuplement piscicole d'un territoire

Les données recueillies pendant le projet sur différents secteurs du Marais breton et du Marais poitevin confirment les données obtenues par Feunteun (1994) au cours d'un travail de thèse sur le Marais breton : 23 espèces recensées et une

biomasse moyenne d'environ 300 kg/ha. L'extrême hétérogénéité de la répartition de l'ichtyofaune au sein des habitats disponibles est confirmée, et les indices d'occurrence (% de stations inventoriées où l'espèce a été observée) permettent de distinguer des types d'espèces à l'échelle de ces deux zones géographiques. Un groupe de **4 espèces** (anguille, perche-soleil, tanche, épinoche) **rencontrées dans plus de 50 % des stations**. Les deux premières peuvent être considérées comme permanentes (IO > 75 %), les deux autres comme communes. Un groupe de **15 espèces rencontrées dans moins de 20 % des stations**. Certaines d'entre elles peuvent même être considérées comme rares (brochet, sandre, perche commune, loche franche, éperlan, chevaine, grémille, vairon) avec un IO n'excédant pas 10 %, les autres étant peu fréquentes (gardon, able de Heckel, carpe commune, épinocette, bouvière, brèmes, gambusie). Un groupe de **3 espèces** (carassin, rotengle, poisson-chat) sont **régulièrement observées** dans les diverses zones de marais (IO compris entre 20 et 50 %).

Ces petits fossés plus ou moins végétalisés servent soit d'habitat permanent à un nombre relativement faible d'espèces (anguille, tanche, perche-soleil), les captures effectuées sur une station pouvant donc être constituées de toutes les classes de taille et d'âge, soit de zone de reproduction et de nurserie pour la majorité des autres espèces. À noter, la présence souvent épisodique des géniteurs, sauf pour les gardiens de nid (poisson-chat, perche-soleil, épinoche) et les captures essentiellement composées de jeunes individus. Les habitats permanents de ces dernières espèces sont localisés dans les émissaires et réseaux de canaux principaux.

Les caractéristiques des captures effectuées sur une zone donnée peuvent se décliner sous forme de divers indices. **La richesse spécifique** varie entre 7 et 14 espèces. La collecte systématique par divers intervenants (pêches scientifiques, observations par pêcheurs ou garderies...) permettrait d'affiner la connaissance de cet indicateur de base sur chaque secteur de marais.

Les niveaux **d'abondance absolue** s'expriment de différentes manières (nombre d'individus ou biomasses présents par unité de surface) au niveau global ou spécifique, mais cet indicateur est difficile à standardiser et à interpréter (forte variabilité spatio-temporelle) et surtout coûteux à obtenir (utilisation obligatoire de la pêche électrique).

Les **indices d'abondance** ont été développés comme des stratégies intermédiaires minimisant

le coût de l'information. Nous avons appliqué la méthode du passage sur des canaux de largeurs inférieures à 5 mètres : elle permet d'augmenter très sensiblement le nombre de stations inventoriées sur une période donnée, en conservant un niveau satisfaisant d'informations. La grande majorité des espèces présentes est en effet recensée lors du premier passage et le nombre des captures effectuées lors du premier passage est représentatif de l'ordre de grandeur des captures totales réalisées en inventaire classique avec plusieurs passages successifs.

L'analyse classique de la **composition du peuplement** par espèce ou par classes d'âge peut être complétée par d'autres analyses où les espèces sont regroupées suivant divers critères : comportements de reproduction, comportements alimentaires, tolérance vis-à-vis de la dégradation de la qualité de l'eau et/ou des habitats. À titre d'exemple, nous présentons ici la décomposition par guildes de reproduction des captures effectuées sur 48 stations du Marais breton et du Marais poitevin (tableau 4) [D17]. Un certain nombre de différences ou de similitudes y apparaissent sans qu'actuellement nous soyons en mesure de les expliquer.

Les rôles des divers habitats disponibles vis-à-vis de l'ichtyofaune

L'offre d'habitats aquatiques, permanents et temporaires, variés et organisés de manière fonctionnelle en mosaïques, correspond généralement à un peuplement riche et diversifié, où les espèces ont accès à un ensemble de sites aux fonctions diverses : croissance, reproduction (frayères), nurseries, abris lors d'épisodes extrêmes (mouvements d'eau violents, assèchements localisés, crises d'anoxie...). Dans le cadre de cette étude, nous avons essentiellement étudié les fonctions d'habitat permanent et de nurserie dans les fossés de

petit calibre. Les données recueillies sur les peuplements piscicoles ont été rapprochées des divers descripteurs : hauteur d'eau, hauteur de vase, paramètres physico-chimiques, distance au réseau principal, descripteurs de la végétation rivulaire, flottante et fixée. Un **protocole standardisé** ainsi qu'une **grille de description** de ces divers paramètres a été mise au point : ils permettent en une vingtaine de minutes de recueillir ce type d'informations sur un fossé donné. Ces « outils » pourraient dès à présent faire l'objet d'une large diffusion auprès des divers acteurs scientifiques et techniques qui travaillent dans ces zones de manière à standardiser la description de l'état des fossés réalisée dans des cadres divers (suivis de travaux, études, observatoire...). Ceci permettrait de constituer progressivement un référentiel reposant sur un nombre de plus en plus significatif de situations.

À titre d'illustration, nous indiquons à la figure 5 la relation observée entre la diversité piscicole et la conductivité. Ce paramètre synthétise l'information sur le niveau de confinement d'une station donnée au sein d'un réseau, ce confinement étant lié à la distance de cette station au réseau principal et aux difficultés d'écoulement (colmatage, ouvrages...). L'ensemble des données disponibles sur les divers sites étudiés (environ 250 stations) montre le caractère limitant de cette conductivité sur la diversité piscicole **maximale**. Cependant, la dispersion du nuage de points illustre l'influence d'autres facteurs du milieu sur la richesse effectivement présente sur la station concernée.

Les connaissances piscicoles et la gestion des milieux humides [D23][D25]

Bien que limitées à quelques sites, ces informations peuvent être traduites en un certain nombre de préconisations.

Site	Nombre d'espèces	Espèces lithophiles		Espèces phyto-lithophiles		Espèces phytophiles	
		Nb	%	Nb	%	Nb	%
Bourgneuf	14	3	21 %	4	58 %	3	21 %
Sallertaine	8	1	20 %	1	20 %	3	60 %
Angles	8	1	20 %	3	60 %	1	20 %
Moricq	9	2	34 %	1	16 %	3	50 %
Chaillé	7	1	20 %	0	0 %	4	80 %

▲ Tableau 4 – Guilde de reproduction des espèces piscicoles (48 pêches).

La notion de mosaïque d'habitats est essentielle. Les stratégies d'intervention (aménagement, entretien) doivent intégrer la notion de territoire. Les différents sites répertoriés doivent être accessibles pour les poissons au moment voulu (écophase), donc être reliés par voie hydraulique et répartis dans l'espace en respectant des motifs de proximité. Les poissons peuvent par exemple coloniser des zones trophiques riches mais pauvrement oxygénées, à condition de disposer d'abris de bonne qualité à proximité. Ceci implique des actions étalées dans le temps (multiplicité des générations de curage) et réparties dans l'espace (coordination des travaux sur le réseau secondaire par la collectivité et sur le tertiaire par les propriétaires).

Les réseaux primaires et secondaires apparaissent comme les habitats de vie/croissance d'une grande majorité d'espèces. De leur entretien régulier mais étalé dans le temps, garant d'une qualité de milieu convenable et du maintien à tout moment de stocks significatifs de géniteurs potentiels, va donc dépendre la richesse piscicole des chevelus qu'ils drainent ou irriguent selon les périodes.

Le réseau tertiaire a essentiellement un rôle de frayère et/ou de nurserie pour les juvéniles de multiples espèces, rôle lié à leur richesse en proies et à l'abondance des abris qu'ils recèlent. L'entretien par curage y apparaît impératif en termes piscicoles pour les stations colmatées à plus de 75-80 % (moins de 25 cm d'eau dans la plupart des cas) surtout dans un contexte d'apport d'eau en période estivale par pompage. Jadis, ces stations très colmatées, après avoir rempli leurs fonctions

de frayère et de nurserie au printemps, s'asséchaient l'été lorsque le marais ne recevait pas d'eau de la Loire. Le pompage estival actuel les maintient en eau mais le poisson ne semble pas les utiliser de manière significative. Ce type d'habitat très riche en matière organique, s'échauffant rapidement et siège fréquent de crises d'anoxie, est par contre susceptible de dégénérer en termes de qualité d'eau (développement bactérien notamment).

Les plans d'eau ouverts, avec une communication (seuil déversoir) entretenue pendant les périodes critiques, et les fossés avec une phragmitaie en rive, constituant, lorsqu'ils sont à proximité de fossés primaires ou secondaires, sièges de mouvements d'eau violents, des lieux d'abris importants pour de nombreuses espèces.

Enfin, les milieux aquatiques temporaires accessibles (têtes de berges végétalisées, prairies humides à submersion temporaire, rouchères ou scirpaies) sont autant de sites potentiels de fraie de certaines espèces telles que carpes et brochets, et de zones d'abris pour les jeunes alevins lors des mouvements d'eau. Ces sites de fraie ne seront opérationnels que si aucun retrait de l'eau ne survient pendant la période printanière. Ceci peut aisément être obtenu pour de nombreux plans d'eau (de chasse notamment) et sur de nombreuses zones, par l'installation de seuils amovibles ou non.

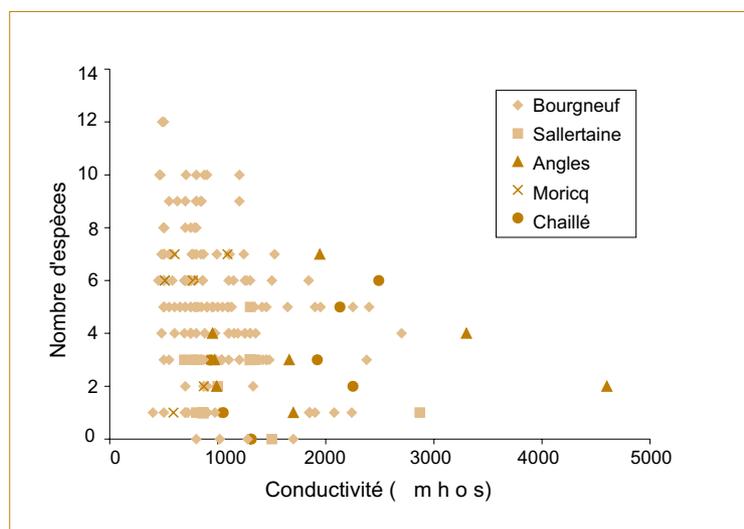
L'application à l'entretien du réseau de fossés [D16][D17]

Au cours d'une action engagée en 1999 par le Forum des Marais sur la mise au point d'une méthodologie de diagnostic et de suivi d'entretien de fossés, nous avons pu procéder à une mise en application des résultats acquis pour établir une série d'indicateurs correspondant aux objectifs du gestionnaire. Ces indicateurs ont été étendus à d'autres thématiques grâce à la collaboration avec d'autres organismes (université de Nantes, ADEV).

Pour cette approche biologique du problème du curage et du colmatage, certaines hypothèses ont été retenues :

- l'existence d'un emboîtement d'échelles (bassin versant/marais/fossé) aboutit à une forte diversité de situations ;
- l'entretien n'est que l'une des facettes de la gestion de ces zones (gestion des niveaux d'eau, fragmentation des systèmes, mise à plat, qualité de l'eau...) ;
- les moyens techniques ont notablement évolués depuis une quarantaine d'années ainsi que la con-

▼ Figure 5 – Relation entre diversité piscicole et conductivité de l'eau (250 pêches).



tribution financière de la collectivité « Hors Marais » depuis une quinzaine d'années.

L'étude n'a volontairement retenu que des fossés secondaires ou tertiaires en marais doux, en zone de prairies permanentes ou temporaires (limitation des impacts sur la faune/flore et non directement liés au curage). Le protocole décrit 7 à 10 stations (**échelle locale**) reflétant le plus fidèlement possible les divers types et états de fossés les plus représentés (curage récent, fossés très colmatés, états intermédiaires). Ces fossés sont répartis dans plusieurs secteurs (**échelle intermédiaire**) considérés comme homogènes quant à la gestion hydraulique et les caractéristiques et usages du territoire. Les descripteurs retenus sont indiqués au tableau 5.

Les données récoltées ont permis de compléter les connaissances sur la **dynamique des fossés** après les phases de curage (évolution physique, recolonisation végétale, effets des préconisations techniques sur la préservation des habitats aquatiques). Les éléments les plus intéressants résident dans la confirmation **d'une variabilité aux échelles globale et intermédiaire**. La superposition de ces effets avec la variabilité stationnelle doit à l'ave-

nir être étudiée afin de pouvoir discriminer les rôles respectifs des diverses échelles d'influence.

Une **démarche standardisée** de description des fossés a pu être testée. Ceci permet d'envisager dès maintenant un travail en réseau pour augmenter le nombre de cas observés. Ce travail en réseau constituera la première assise d'un système d'information général sur l'état des réseaux et les modalités techniques d'entretien des milieux.

Conclusion

Ainsi que nous l'avons déjà souligné, cette action pluridisciplinaire en est restée au niveau de l'approche théorique de la mise en application d'un système d'information. Ceci essentiellement parce qu'elle n'a pas correspondu, dans le temps, à une demande précise d'un gestionnaire sur laquelle les efforts auraient pu se focaliser.

Nous avons cependant maintenu un dialogue permanent avec plusieurs acteurs concernés. Ces échanges ont constitué un ensemble d'actions de sensibilisation à la nécessité de prendre en compte les milieux aquatiques dans diverses décisions portant sur l'aménagement de ces territoires (ca-

▼ Tableau 5 – Information sur l'état des fossés : descripteurs retenus.

Thème	Passages	Méthodes	Infos recueillies
Topographie	1	2 profils topo	pente des berges, colmatage
État des berges	1	observation systématique	Nb éboulements, nb terriers, indices de piétinement
Végétation des rives	2	description par berge	richesse spécifique, étagement, % recouvrement
Végétation flottante	2	estimation visuelle	% global de recouvrement, importance relative des espèces
Végétation fixée	2	15 points contact	biovolume compacté, indices spécifiques
Physicochimie	2 (matin et soir)	Mesures <i>in situ</i>	Température, oxygène dissous, conductivité
Odonates	4 à 5	visuel sur adultes	Richesse spécifique, indices d'abondance, modes d'utilisation
Amphibiens	3	repérage des exuvies inventaire des larves, observation et écoute des adultes	id
Oiseaux	2 mini	observation visuelle et écoute	id
Poissons	1	nasse (4 jours) et tramail (2h)	richesse spécifique et indices d'abondance

hier des charges OLAE, mise en place du SAGE). Il s'agit d'une avancée importante si on considère que les milieux aquatiques (hormis les fonctions d'assainissement) étaient quasi totalement écartés de ces réflexions. C'est en effet le constat qui ressort de ce travail, qui a montré, dans son approche thématique, le manque flagrant d'informations sur ces territoires (pas de cartographie, pas de suivi de la qualité des eaux ni de l'évolution des milieux, méconnaissance des usages et de leurs impacts).

La validité d'un système d'information repose sur la mise à disposition de connaissances pertinentes. Nous avons essayé de conduire un travail méthodologique dans ce sens, en utilisant des objets de référence par découpage de l'espace à différentes échelles. Les thématiques étudiées constituent à la fois des exemples de la démarche et des éléments encore fragmentaires de la connaissance de ces milieux.

Il faut souligner que si ce projet ne s'est pas totalement concrétisé dans le terme du programme, plusieurs initiatives sont maintenant lancées sur les marais atlantiques. À l'échelon local, plusieurs syndicats de marais et collectivités locales sont en train de se doter de systèmes d'information ciblés sur la gestion des réseaux ou la qualité des milieux aquatiques. À l'échelle des marais atlantiques, les actions que nous avons contribué à engager sont relayées (Forum de Marais, programme Zones Humides), en vue d'une généralisation, à l'ensemble de ces territoires. L'attention croissante portée à ces zones par les administrations, les Agences de l'Eau, les Fédérations de Pêche et le CSP, au travers notamment des démarches CTE, SAGE, Habitats, offre une bonne perspective de valorisation du travail engagé, en particulier grâce au relais d'équipes de plus en plus impliquées dans la gestion locale.



Résumé

Les marais atlantiques (250 000 ha) sont des territoires où s'expriment divers intérêts privés. Aux propriétaires et exploitants agricoles s'ajoutent de nouveaux occupants tels les chasseurs. Ces territoires représentent également un enjeu collectif lié aux diverses fonctions que remplissent ces espaces naturels.

Dans ces milieux soumis aux aléas naturels, à l'action des hommes et à un fonctionnement physique complexe où terres et eau sont fortement imbriqués, la spécialisation croissante des usages rend de plus en plus difficile la mise en œuvre d'une gestion raisonnée et concertée.

En fédérant les recherches de plusieurs disciplines, nous avons tenté de proposer des méthodes et d'apporter des connaissances pour favoriser la mise en place de systèmes d'information. Ces systèmes, en favorisant le partage de ces connaissances, permettent de faciliter les négociations entre usagers et gestionnaires en les associant autour d'outils de communications fondés, par exemple, sur des représentations spatiales. Pour cela, nous avons développé une double approche : une recherche technique sur les procédures de mise en place de tels systèmes, et une série de recherches thématiques sur le contenu de bases de connaissances pertinentes.

Nous avons distingué trois échelles de représentation qui correspondent à la fois à des modes de fonctionnement des marais et à des cadres d'intervention des gestionnaires et usagers : le local (individu, parcelle/fossé), l'intermédiaire (syndicat/association/commune, périmètre de gestion/îlot) et le régional (bassin versant/collectivités territoriales/agences/SAGE).

Plusieurs thématiques ont été étudiées : la structure et l'état physique des réseaux de fossés, le fonctionnement hydrologique des milieux humides, la qualité des eaux et des habitats aquatiques, les communautés de végétaux aquatiques et de poissons. Une attention particulière a été portée aux usages du marais et aux impacts qu'ils avaient sur l'évolution et le fonctionnement des milieux aquatiques.

Si la demande n'a pu être validée aux différentes échelles retenues, des actions sont engagées pour la mise en place d'outils pour la gestion locale de ces zones humides et pour engager la structuration d'information sur l'état de ces marais (tableau de bord) à l'échelle régionale.

Abstract

Atlantic marshlands (250,000 ha) are areas where diverse private interests are expressed. New occupants, such as hunters, join landowners and farmers. These areas also have a collective stake in relation to the various functions occupying these natural areas.

In these environments subject to the hazards of nature, man's actions, and complex physical operations where land and water are closely linked, increasingly specialised uses make it increasingly difficult to establish reasoned, joint management.

By federating research in several fields, we have attempted to propose methods and provide knowledge to favour the establishment of information systems. These systems favour shared knowledge to facilitate negotiations between users and managers, associating them by means of communication tools founded on spatial representation, for example. We have developed a dual approach to accomplish this: technical research on establishment procedures for these types of systems, and a series of thematic research concerning the content of the relative knowledge bases.

We have distinguished three representation scales corresponding simultaneously to marshland operational modes and intervention contexts for managers and users: local (individual, patch/ditch), intermediate (syndicate/association/community, management parameter/lot) and regional (catchment area/ local authorities/ agencies/ SAGE).

Many theme groups were studied: structure and physical condition of ditches networks, hydrological operation in wet environments, water and aquatic habitat quality, aquatic plant and fish communities. Special attention has been given to salt marshland users and their impact on aquatic environment evolution and operation.

While the demand was not validated at the different chosen scales, actions have been taken to establish tools for local management of these wetlands, and to introduce information structuring concerning the state of these marshlands (operating report) on a regional scale.

Documents produits en cours de projet (référéncés D dans le texte)

Structure et fonctionnement des zones humides

1. ALSUMARD, M., 1999, *Apport de la télédétection et des SIG pour la connaissance du fonctionnement des zones humides, Le caractère humide des parcelles dans le marais*, DEA, ENGEES Strasbourg, 50 p.
2. LIEUTAUD, A., EUDES, X., 1997, *Traitement d'images des données CASI pour la caractérisation des canaux, Marais de Bourgneuf*, Publication dans le cadre du projet NORSPA, 1997.
3. MARTIN, F., 1997, *Étude de faisabilité d'un référentiel commun pour les équipes de recherche du projet Aramis*, Mémoire Mastère SILAT, Laboratoire Commun de Télédétection Cemagref/Engref, Montpellier, 55 p. + 35 p. annexes.
4. PUECH, C., JEANSOULIN, R., MASSE, J., BAILLY, J.-S., 1999, *Apports de la télédétection et des relations topologiques pour la production d'indicateurs de l'état et du fonctionnement des zones humides*, Rapport PIR-EVS, 16 p. + annexes.
5. RACLOT, D., PUECH, C., 1998. Photographies aérienne et inondations : globalisation d'informations floues par un système de contraintes pour définir les niveaux d'eau en zone inondée, Marne la Vallée. *Revue internationale de géomatique*, volume 8, n°1-2/1998, *Actes des Journées CASSINI 1998*, p. 191-206.
6. RACLOT, D., WURBEL, E., PUECH, C., JEANSOULIN, R., 1998. Flood estimates using Allen representation and revision over constraints. *Proceedings de la Conférence AGILE, ITC, Enschede, NL, 23-25 April 1998*.
7. RACLOT, D., PUECH, C., 1999. Champs d'inondation et Photographies aériennes. Détermination des hauteurs de submersion. *Ingénieries*, n°17, mars 1999, p. 3-17.

8. SAMAALI, M., 1999, *Apport de la télédétection et des SIG pour la connaissance du fonctionnement des zones humides, Étude des circulations hydrauliques dans le marais anthropisé de Bourgneuf et dans le marais naturel de Kaw (Guyane)*, DEA SEEC, Engref-Montpellier, 99 p. + annexes.

Études des usages et de leurs relations aux milieux humides

9. BROUCA, C., DRIQUE, E., 1998, *L'agriculture du Marais breton : diverses stratégies développées face à une contrainte naturelle forte – Typologie de fonctionnement*, Mémoire ENITA Bordeaux, 90 p.

10. MERLE, V., *Les usages, facteurs de structuration et de dynamique des milieux aquatiques : cas du Marais breton*, Thèse de Géographie et Aménagement du Territoire, Université de Pau et Pays de l'Adour, sous presse.

11. MERLE, V., RIGAUD, C., MASSE, J., 1997. La gestion de l'eau et des milieux aquatiques en zone humide littorale endiguée, une dimension multi-usages à affirmer et de nouvelles démarches à mettre en œuvre : l'exemple du Marais breton. *Cahiers Nantais* p. 47-48.

12. NASR, T., 1998, *Le Marais breton ou la vie dans un site « sauvage »*, Cemagref, Division Écosystèmes forestiers et Paysages, 20 p.

Fonctions écologiques : acquisition et mobilisation de connaissances sur les milieux

Hydrophytes

13. MOREAU, A., DUTARTRE, A., 1998, *Guide de détermination des principales espèces de végétaux aquatiques, Zone expérimentale de Bourgneuf-Machecoul (Marais breton)*, Cemagref, Division Qualité des Eaux, Bordeaux, 46 p.

14. MARCHAIS, J.-F., 1997, *Approche typologique des peuplements de macrophytes aquatiques du Marais Breton-Vendéen. Suivi du réseau hydraulique d'une zone expérimentale*, Cemagref, Division Qualité des Eaux, Université de Bordeaux 2, mémoire de DESS « Eau, Santé, Environnement ». 120 p. + annexes.

15. LAPLACE-TREYTURE, C., 2000, *Note sur les algues filamenteuses de la zone expérimentale du marais Breton-Vendéen, Comparaison des données relevées en 1997 et 1998*, Cemagref, Unité de Recherche Qualité des Eaux. Rapport, 37 p.

Poissons et autres peuplements

16. BOTTO, S., 1999, *Curage et fonctions biologiques des fossés de marais doux endigués*, DESS Gestion des Ressources Naturelles Renouvelables, Université de Lille I, 59 p. + annexes.

17. BAUDET, J., BOTTO, S., DEAT, E., MASSE, J., RIGAUD, C., THOMAS, A., 1999, *Curage et fonctions biologiques des fossés en marais doux, Suivis en Marais breton et Marais poitevin*, Rap. Cemagref/Univ. Nantes/ADEV, 200 p.

18. FEUNTEUN, E., RIGAUD, C., ELIE, P., LEFEUVRE, J.C., 1999. Les peuplements piscicoles des marais littoraux endigués atlantiques : un patrimoine à gérer ? Le cas du Marais de Bourgneuf-Machecoul (Loire-Atlantique, France). *Bulletin Français de Pêche et de Pisciculture*, 352, p. 63-80.

19. MASSE, J., RIGAUD, C., 1997, *Éléments de connaissances sur la faune piscicole du marais. Prise en compte dans l'élaboration d'un cahier des charges pour les opérations de curage et d'aménagement des réseaux de canaux*, Cemagref, Document de travail pour DDAF Vendée, 6 p.

20. MASSE, J., RIGAUD, C., DUTARTRE, A., MERLE, V., 1997, *Programme Norspa/Baie de Bourgneuf, Restauration du réseau secondaire du marais doux*, Cemagref, Rapport intermédiaire n°3, 110 p.

21. MASSE, J., RIGAUD, C., FEUNTEUN, E., 1997, *L'ichtyofaune des fossés et canaux gérés en eau douce du Marais breton-vendéen, Étude des habitats disponibles et de leur utilisation, Retombées en termes de gestion de ces milieux et d'étude des relations Héron/Poissons*, Cemagref, Document de travail, groupe Aramis-PNRZH, 6 p.

22. RIGAUD, C., MASSE, J., DUTARTE, A., MERLE, V., 1997, *Programme Norspa/Baie de Bourgneuf. Restauration du réseau secondaire du marais doux*, Cemagref - Rapport de synthèse, 15 p.

23. RIGAUD, C., 1998, *Les milieux aquatiques des zones humides littorales – réseau hydraulique et diversité piscicole, L'exemple de la gestion de l'eau dans les zones humides*, Université d'automne – IFREE, p. 21-25.

24. RIGAUD, C., MASSE, J., 1998, L'anguille et les marais littoraux atlantiques, *Actes du colloque n° 19 "Marais maritimes et aquaculture"*, IFREMER, p. 141-154.

25. RIGAUD, C., MASSE, J., 1999, *Le Marais breton, Étude de cas n° 3*, Publication LPO.

Le point de vue d'un partenaire

Le Forum des Marais Atlantiques

Loïc Anras
Hydrobiologiste
Forum des Marais Atlantiques
Quai aux vivres, 17300 Rochefort

Le Forum des Marais Atlantiques est une structure de mise en réseau des acteurs, d'appui méthodologique et de ressources documentaires. Nous travaillons de manière transversale et inter-régionale avec tous les organismes qui s'intéressent aux territoires de marais de la façade atlantique. Le Forum des Marais Atlantiques est une structure de promotion de la qualité : qualité des marais et de leur réseau hydraulique, qualité de l'environnement, qualité du cadre de vie, qualité des productions, dans une optique de développement durable.

Un premier objectif, la ressource en eau et l'hydraulique

Dans un premier temps, nous avons axé toutes nos actions autour de l'eau. En la matière, nous avons pu bénéficier du savoir-faire du *Cemagref* (outils techniques et ressources documentaires). Nous avons également coordonné l'été dernier un travail multi-disciplinaire sur des modalités d'entretien des marais au niveau du réseau hydraulique. Dans ce cadre, nous avons pu bénéficier de méthodologies mises au point par le *Cemagref*. Le *Cemagref* avait déjà un pool de descripteurs qui leur a permis d'apporter des réponses dans un délai court (quatre mois). L'équipe du *Cemagref* de Bordeaux a travaillé sur des concepts qui existaient déjà, les échelles stationnelles, et amorcé une réflexion sur ces fameuses échelles intermédiaires qui sont très intéressantes. En effet, les gestionnaires de territoires sont intéressés par des données agrégées, globales : les échelles stationnelles ne sont pas adaptées pour lire ces données. L'équipe du *Cemagref* a engagé un travail de construction d'outils d'agrégation, qui va prendre toute sa dimension dans les mois qui viennent. Nous allons continuer à entretenir des relations étroites avec le *Cemagref* et d'autres partenaires pour bâtir ces indicateurs et construire des boîtes à outils pour alimenter le système en cours de construction.

En ce qui concerne le système d'informations qui a été présenté par Jacques Massé, le Forum des Marais ne peut que se féliciter qu'une initiative de ce type ait déjà été menée. A l'époque, elle était déjà un peu en avance par rapport à l'environnement local. Ce travail arrive à point nommé par rapport aux demandes.

Les structures des marais de sud-Loire vont pouvoir se nourrir du travail méthodologique que vous avez déjà mis en place.

Au niveau du Marais poitevin, quatre structures vont se doter d'un outil SIG : le Parc inter-régional du Marais poitevin, l'Union des Marais de la Charente-Maritime, qui fédère 200 structures de Charente-Maritime, une association de syndicats de marais et le SAGE Sèvres.

Dans un premier temps, les informations recueillies seront restreintes au réseau hydraulique. Ensuite, les thèmes développés par l'équipe du *Cemagref* seront intégrés progressivement, pour une gestion globale du territoire.

Vers une homogénéisation des outils

En parallèle, le Forum des Marais Atlantiques a développé des méthodes et des outils opérationnels à l'échelle des marais. Nous allons essayer de les faire fusionner avec le travail fait par le *Cemagref* et par d'autres structures, qui ont élaboré des modèles conceptuels et des modèles de données, de manière à aboutir à une normalisation d'un minimum de concepts et de nomenclature sur ces outils. Il s'agit d'éviter que les systèmes ne se referment sur eux-mêmes. Nous sommes très vigilants quant à la qualité du contenu méthodologique et des outils qui ont été mis en place. Nous veillerons à ce que les différents systèmes restent interopérables.

Pour conclure ...

Je souhaite bien entendu que l'on puisse continuer ce type de développement. Aujourd'hui, sur le territoire du littoral atlantique, une vraie dynamique est en train de se construire. Dans les quatre à cinq ans à venir, je pense que nous disposerons de toute une panoplie de systèmes d'informations sur le littoral atlantique, qu'il faudra orchestrer. Nous aurons besoin de l'expertise des personnes qui ont déjà un savoir-faire en la matière.

Je voudrais féliciter l'ensemble de l'équipe qui a travaillé sur ces thématiques. Je peux témoigner de la considération dont jouit cette équipe auprès des gestionnaires locaux. Elle a su en effet faire partager ses travaux et leurs résultats au fur et à mesure de leur évolution. D'ailleurs, sur place, les gens ont bien senti que ces efforts aboutiraient à des outils très utiles pour améliorer la gestion de leur territoire. □