

Programme scientifique Seine-Aval

15 • Zones humides de la basse vallée de la Seine

Coordinateur
Didier Alard



15 - Zones humides de la basse vallée de la Seine

15

Programme scientifique
Seine-Aval

1271
ENV



Ifremer





Présentation du programme Seine-Aval

Seine-Aval est un programme d'études et de recherches interdisciplinaires à caractère appliqué sur l'estuaire de la Seine qui a débuté en 1995. La zone d'étude couvre les 160 km de Poses (en amont de Rouen) à la baie de Seine.

Il réunit plus d'une centaine de chercheurs dans des disciplines aussi diverses que la physique, la géologie, la chimie, l'écologie, l'écotoxicologie, appartenant à plus d'une vingtaine de laboratoires répartis sur l'ensemble du territoire national et en Belgique.

Le programme Seine-Aval est piloté par un comité exécutif constitué par un directeur, M. Louis-Alexandre Romaña, et trois membres, MM. Daniel Cossa, Ghislain de Marsily et Robert Meyer.

Les objectifs principaux fixés au programme Seine-Aval sont de fournir les connaissances nécessaires à la compréhension du fonctionnement de l'écosystème estuarien et de développer des outils d'aide à la décision pour les acteurs régionaux et nationaux :

- dans l'optique d'une restauration de la qualité des eaux de la Seine et de la préservation des milieux naturels de la vallée,
- dans le souci de concilier les différents usages identifiés.

Pour structurer la démarche opérationnelle, quatre axes de recherche ont été développés :

► **Hydrodynamique et transport sédimentaire** : sont concernés le régime des eaux, l'érosion et la sédimentation. Ces processus ont une incidence directe sur la formation du bouchon

vaseux, phénomène majeur pour le fonctionnement du système estuarien. Cet axe permet aussi de comprendre le transport et le devenir des contaminants qu'ils soient chimiques ou biologiques ;

► **Microbiologie et oxygénation** : ont été étudiés les organismes microscopiques jouant un rôle essentiel dans le maintien de la qualité de l'eau, notamment le taux d'oxygène dissous qui connaît de graves déficits en période estivale. Sont concernés aussi les germes d'intérêt sanitaire ;

► **Dynamique des contaminants** : on cherche la détermination des niveaux de concentrations des contaminants chimiques et à mieux connaître les processus régissant le comportement de certaines espèces chimiques dans l'estuaire ainsi qu'à développer et intégrer la modélisation biogéochimique aux modèles hydro-sédimentaires ;

► **Édifices biologiques** : le constat de l'état biologique de l'estuaire, l'étude des relations trophiques entre les organismes vivants, la bioaccumulation le long de certaines chaînes alimentaires font partie de ce thème. Cela a impliqué de connaître l'état des populations, d'évaluer leur niveau de contamination et d'apprécier les effets de cette contamination sur les organismes (poissons, mollusques bivalves, etc.).

En outre, un important travail de modélisation mathématique a permis d'intégrer les données obtenues dans ces différents domaines. La traduction, sous une forme synthétique et simplifiée, des mécanismes étudiés permet de produire, dans la mesure du possible, des outils descriptifs et prédictifs du fonctionnement de cet écosystème continuellement en cours de réaménagements.



Partenaires du programme Seine-Aval

Le programme scientifique Seine-Aval est inscrit au contrat de plan État-Région de Haute-Normandie et au contrat de plan interrégional du Bassin parisien.

Les travaux et recherches réalisés dans ce cadre sont financés par les partenaires suivants :

- la Région Haute-Normandie (maître d'ouvrage) et les autres Régions du Bassin parisien (Ile-de-France, Basse-Normandie, Pays de la Loire, Centre, Picardie, Champagne-Ardennes, Bourgogne) ;
- le ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement ;
- les industriels de Haute-Normandie ;
- l'agence de l'Eau Seine-Normandie.



ASICEN



Moyens nautiques

Les moyens nautiques sont fournis par les partenaires suivants :

- l'Ifremer ;
- l'Insu/CNRS ;
- la cellule antipollution de la Seine.

Ifremer



Zones humides



DREAL NORMANDIE
SMCAP/BARDO
N° d'inventaire : 7078

DATE: 3/04/2002
02.03-13/7473

Zones humides de la basse vallée de la Seine

Coordinateur : Didier Alard⁽¹⁾

Auteurs : Didier Alard, Alban Bourcier⁽²⁾,
Fabrice Bureau⁽¹⁾, Dominique Lefebvre⁽³⁾, Valérie Mesnage⁽³⁾,
Isabelle Poudevigne⁽¹⁾

Contributions : Christophe Bessineton⁽⁴⁾,
Jean Côme Bourcier⁽²⁾, Olivier Chabrierie⁽¹⁾,
Antoine Cuvilliez⁽⁵⁾, Bernard Hoyez⁽⁵⁾, François Leboulenger⁽⁶⁾,
Pierre Margerie⁽¹⁾, Frank Morel⁽⁷⁾, Thomas Pouchin⁽²⁾

(1) Université de Rouen, laboratoire d'écologie, Upres-EA 1293
(2) Université du Havre, Cirtai, UMR CNRS 6063
(3) Université de Rouen, laboratoire de géologie, UMR CNRS 6143
(4) Cellule de suivi du littoral haut-normand, Le Havre
(5) Université du Havre, laboratoire de mécanique
(6) Université du Havre, laboratoire d'écotoxicologie, Upres-EA 3222
(7) Université de Caen, groupe ornithologique normand

3/04/2002

Sommaire

Introduction	3	Chapitre III - L'évaluation écologique des zones humides	
Chapitre I - Les zones humides : présentation générale		<hr/>	
L'origine et l'histoire des zones humides de la basse Seine	5	Définir la biodiversité dans les zones humides	20
La période postglaciaire	6	Quelles espèces? : la composition	20
La transgression flandrienne	6	Combien d'espèces? : la structure	20
La dynamique récente des zones humides	6	Quelles relations entre espèces? : l'organisation	20
Typologie des zones humides	8	Populations et communautés végétales	21
De la carte des formations végétales...	9	Le paysage végétal de la plaine alluviale	21
...à une cartographie fonctionnelle	9	Les espèces patrimoniales	22
Chapitre II - Les zones humides : une approche fonctionnelle		La faune des zones humides	22
<hr/>		Les oiseaux	22
L'hydrologie des zones humides de la vallée de la Seine	11	Les poissons	26
Les conséquences du réchauffement et de la transgression	11	Chapitre IV - Pour une gestion intégrée des zones humides	
Contexte hydrologique et hydrochimique du marais du Hode	11	<hr/>	
Fonctionnement hydraulique des marais : options de gestion	12	Les mesures de sauvegarde	27
Processus écologiques dans les zones humides :	12	Les conflits d'usages dans les zones humides	28
Productivité et stabilité	12	Appréhension hydrologique des conflits d'usages	28
Les sols et leur rôle dans les cycles de matières	14	Les conflits d'usages liés aux implantations d'équipements	30
Les sols de la plaine alluviale	14	La gestion et la restauration écologique des zones humides	30
Le transect du marais du Hode	15	Quelques principes méthodologiques	30
		La notion de milieu « naturel »	30
		La gestion des zones humides par le pâturage : une étude de cas	31
		L'expérience dans la gestion des zones humides de l'estuaire aval	31
		Conclusions et perspectives	33
		Références bibliographiques	34
		Glossaire	35

Introduction

Un espace de diversité...

La basse vallée de la Seine abrite de nombreuses zones humides (vasières, prairies humides, tourbières...) et représente un ensemble écologique de première importance pour la biodiversité au niveau international. En outre, les fonctions écologiques de ces zones sont multiples, à l'image de leur diversité : régulation des régimes hydriques, des cycles biogéochimiques... (Bernard, 1994).

Ces « services » naturels rendus, ajoutés à l'accueil d'un fort patrimoine biologique, font des zones humides des espaces produisant des ressources et assurant des fonctions essentielles pour notre environnement. La prise de conscience générale de l'intérêt de ces écosystèmes, traduite notamment par la loi sur l'Eau de 1992 (art. 5), en fait maintenant des milieux soumis à protection.

... mais un espace menacé

Cependant, la vocation industrialo-portuaire imposée à la vallée de la Seine par l'homme dès le début du XIX^e siècle a largement altéré la biodiversité et les fonctions hydrologiques et écologiques de la plaine alluviale*. La construction du chenal de navigation, les endiguements successifs et l'extension des terres agricoles ont considérablement réduit la surface des zones humides. Ces aménagements, en empêchant les débordements du fleuve, ont aussi perturbé le fonctionnement hydrologique de ces zones humides, autrefois lié aux épisodes de crues, maintenant essentiellement dû aux variations de la nappe souterraine.

De plus, ces milieux fragiles ont été fortement exploités : le creusement des ballastières (sables, graviers alluvionnaires), commencé à la fin du XIX^e siècle, s'est accéléré par la demande croissante en granulats pour l'industrie du bâtiment. L'extraction de la tourbe pour l'horticulture a été un autre facteur de disparition des biotopes humides, abritant des plantes rares, comme à Heurteauville.

Ces transformations se sont faites aux dépens des écosystèmes initiaux, zones alluviales ou tourbières. Elles ont parfois produit de nouveaux milieux comme des plans d'eau, attractifs pour l'hivernage d'oiseaux (foulques, grèbes...) mais peu propices à leur nidification en nombre. La nature est donc encore présente mais quelle nature exactement ?

La pression anthropique croissante a eu des conséquences graves, parfois irréversibles sur les zones humides de la basse vallée de la Seine. Malgré tout, de nombreux espaces remarquables subsistent encore qui nécessitent une attention particulière, à l'image d'autres sites sur l'ensemble du territoire national. Dans cet esprit a été initié, en 1997, un Programme national de recherche sur les zones humides (PNRZH ; voir p. 4).

Les travaux présentés dans ce fascicule ont été menés pour l'essentiel dans le cadre du projet « Zones humides de l'estuaire et des marais de Seine - Structure, fonctionnement, gestion », contribution normande au PNRZH, constituant de fait un apport connexe au programme Seine-Aval. Ce projet a été mené dans un cadre pluridisciplinaire et s'est attaché logiquement à :

- connaître l'état présent des zones humides de la basse vallée de la Seine, ce qui suppose également la compréhension de leur histoire et de leur dynamique actuelle ;
- évaluer, outre le fonctionnement de ces zones humides et notamment les « services » que l'on peut encore en attendre, leur intérêt sur le plan du patrimoine naturel et leur degré de « naturalité » ;
- aborder, dans une démarche intégrée, le développement de la basse vallée, par l'évaluation et le bilan des outils de protection et de gestion des zones humides avec les autres usagers de ces espaces.

Deux enjeux apparaissent primordiaux et ont été soulevés :

- protéger ou restaurer le patrimoine naturel mais sur quelles références et à quelles échelles ? Quelle nature peut-on préserver dans un espace où émergent les nouveaux projets d'aménagement, où augmente une population suscitant une demande sociale toujours croissante d'espaces récréatifs ?
- protéger ou restaurer des fonctions écologiques mais des seuils n'ont-ils pas déjà été franchis et certaines fonctions déjà perdues ?

En outre, les réponses à ces questions sont-elles les mêmes dans l'estuaire aval ou dans les boucles de la Seine, plus en amont ?

La basse vallée de la Seine constitue un site atelier idéal pour poser ces questions aux scientifiques, mesurer les enjeux environnementaux et jeter les bases conceptuelles d'une politique de préservation de la nature et d'un développement durable.

(*) expliqué dans le glossaire.

Le Programme national de recherches sur les zones humides (PNRZH)

En 1995, un plan d'actions « Zones humides » a été adopté en Conseil des ministres annonçant, entre autres, la mise en place de l'Observatoire des zones humides et le lancement d'un programme de recherche. Le PNRZH, qui a débuté en 1997, a été financé pour trois ans à hauteur de 15 MF principalement par les agences de l'Eau et le ministère de l'Environnement. Un comité de pilotage et un comité scientifique ont été créés, le GIP* Hydrosystèmes assurant la maîtrise d'ouvrage. Le BRGM a repris le flambeau en mars 2000, suite à la dissolution du GIP.

Les thèmes de recherches retenus dans le PNRZH sont :

- structure et fonctionnement des zones humides ;
- rôle écologique et importance économique des zones humides ;
- interactions homme-nature ;
- modes d'action pour la conservation ou la restauration.

Le PNRZH a été organisé également autour de thèmes transversaux tournés vers l'approche sociale, l'évaluation économique, le développement durable. Ces thèmes devaient permettre une démarche globale et comparative au sein du PNRZH dont les objectifs visent une utilisation durable des zones humides et une reconnaissance de leur

valeur au travers de la notion d'« infrastructure naturelle ». Vingt projets inter-disciplinaires ont été sélectionnés sur le territoire national, regroupant les quatre grands types de zones humides existant (zones littorales, alluviales, intérieures, tourbières). L'estuaire et les marais de Seine constituent l'un des sites ateliers retenus au titre des zones littorales.

L'étude des zones humides de l'estuaire moyen de la Seine constitue un volet spécifique du programme Seine-Aval, en même temps qu'elle représente une contribution au programme national, notamment dans le cadre de la mise en place de l'Observatoire des zones humides. Les thématiques étudiées dans ce site atelier visent à mieux connaître la biodiversité de cet espace, les fonctions écologiques réalisées ou potentielles, les valeurs et conflits d'usages. Elles s'articulent autour d'une démarche intégrée et globale et se traduisent par la mise en place de l'Observatoire régional des zones humides sous la forme d'un SIG*.

Le PNRZH, clôturé en 2000, a fait l'objet d'un colloque de restitution, à Toulouse, en octobre 2001. Les projets et résultats de chacune des équipes sont consultables sur le site Web du programme (www.pnrzh.com).



Saint-Martin-de-Boscherville, Quevillon.

Chapitre I

Les zones humides : présentation générale

Les zones humides sont des espaces de transition entre les milieux terrestres et aquatiques. Elles se caractérisent par la présence d'eau en surface ou dans la zone racinaire, de façon permanente ou temporaire. On distingue généralement quatre grands types de zones humides : les zones humides littorales, de plaines intérieures, de vallées alluviales et les tourbières.

Les zones humides de l'embouchure de la Seine (carte) comprennent : des prairies marécageuses de bas-marais alcalin (marais Vernier), des roselières (marais du Hode), des prairies humides riveraines du fleuve (marais de la Risle), des vasières intertidales, des tourbières (Heurteauville, Grand-Mare). Elles forment une mosaïque de milieux aux caractéristiques hydrobiologiques et physico-chimiques différentes mais d'une richesse écologique très forte.

Les zones humides sont également le fruit d'une histoire d'environ dix mille ans. Mais chaque zone a la sienne qui affecte sa qualité et son fonctionnement actuel.

L'origine et l'histoire des zones humides de la basse Seine

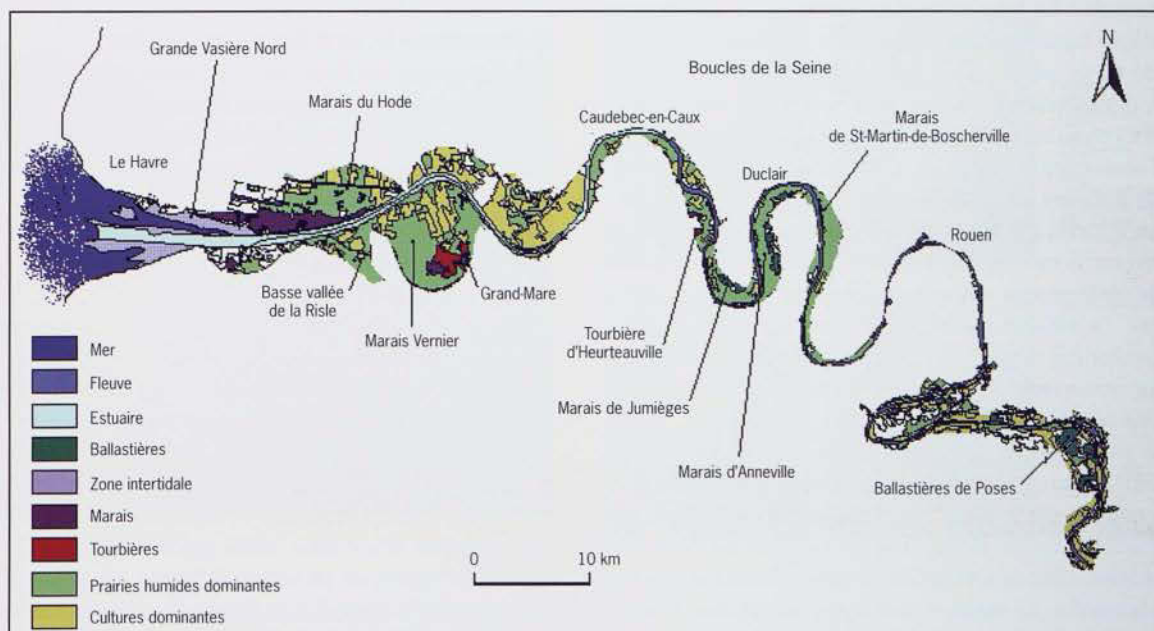
Les zones humides sont apparues au cours des temps post-glaciaires*, qui ont débuté il y a environ dix mille ans.

Au cours des périodes froides qui, plus au nord, donnaient des glaciations, les vallées étaient plus profondes qu'actuellement. La géomorphologie des fleuves et rivières était bien différente de celle qui existe aujourd'hui : les plaines allu-

viales ainsi que les zones humides riveraines des fleuves n'existaient pas.

La géologie actuelle des zones humides de la vallée de la Seine, superposition de sédiments limoneux et tourbeux sur une base de cailloutis, reflète l'histoire passée du fleuve Seine et, notamment, la variation des régimes hydrodynamiques.

Les régimes torrentiels de la Seine et de ses affluents pendant les climats froids ont transporté des cailloutis. On peut se représenter les inondations de cette période comme de violentes débâcles saisonnières qui charriaient des cailloux abrasifs sur le fond crayeux. De grands radeaux de glace emportaient des pans entiers de rives avec des cailloux et de gros blocs enchâssés, radeaux qui s'échouaient plus loin ou fondaient au fil de l'eau. L'été, le fond des vallées apparaissait à sec. De modestes ruisseaux sinuaient entre les vastes bancs de cailloux. Cela ressemblait au lit des rivières alpines : peu d'eau visible mais des ruissellements cachés, entre les cailloux, en profondeur sur le fond rocheux, et dans les fissures de la craie, au-dessous. Cet enfoncement des écoulements était la conséquence du niveau très bas de la mer, environ cent mètres au-dessous du niveau actuel. Localement, des flaques, de petits marécages existaient certainement, à la faveur d'une plaque d'argile ou de suintements, mais il n'y avait pas de plaines horizontales et gorgées d'eau. La pente du fleuve était sensible et les courants étaient très vifs.



Carte générale des zones humides. Écodiv - Aude Ernoul d'après la typologie Corine Land Cover - Institut français de l'environnement (IFEN) & Agence européenne de l'environnement. NB : Les limites de la carte sont calées sur la topographie +5 m de part et d'autre du fleuve.

La période postglaciaire

Quand le climat devint tempéré, les paysages ne furent pas immédiatement transformés. D'abord, la végétation réagit seule : forêt plus dense, essences plus variées. Mais les formes du relief restaient héritées de la période froide. Le fleuve avait toujours son fond caillouteux. Un chenal fixe s'était établi, un peu encaissé entre les bancs de cailloux, localement divisé pour contourner ceux-ci. Le débit était devenu plus régulier mais le courant restait toujours vif car la pente n'avait pas changé. Dans l'eau très claire - car la végétation maintenait les sols - les conditions étaient idéales pour le développement d'algues cyanophycées* encroûtantes. Elles ont construit dans le fleuve et ses affluents des masses de tuf* calcaire formant barrage à certains endroits.

Les premières zones humides sont nées à l'abri des obstacles constitués par des tufs* ou des barrages plus anciens formés par certains bancs de galets. Le calme de ces abris a permis la décantation de particules argileuses et le développement des végétaux. Le processus de reconquête de la vallée de la Seine postglaciaire par les espèces végétales et animales a débuté dans ce contexte.

Cependant, les dépôts alluvionnaires seraient restés bien minces, sans comparaison avec les accumulations décamétriques constatées maintenant dans la vallée, si n'était intervenu le facteur capital que fut la montée générale des eaux.

La transgression* flandrienne*

Partie de très bas, la mer atteignit la basse vallée de la Seine il y a un peu plus de huit mille ans. La montée du niveau marin s'est traduite par l'élévation du niveau de base des rivières et des nappes souterraines. Plus que le changement climatique, ce fut pour les hommes la vraie révolution, sans doute vécue comme une catastrophe durable : deux mètres de plus chaque siècle !

Quand la mer envahit l'estuaire, elle commença d'y accumuler un prisme* de sédiments marins à surface plate : des zones humides. En même temps, en amont, dans un contexte hydraulique bouleversé par l'apparition de courants alternés (marées) et de périodes de décantation permises par les étales*, des sédiments continentaux se sont empilés - bancs de sables coquilliers, argiles tourbeuses, tourbes franches - dans d'autres zones humides. Cette phase d'accumulation verticale intense s'est prolongée au-delà de la fin de la transgression, il y a six mille ans, car la sédimentation prit d'abord du retard sur la montée très rapide des eaux. L'accumulation verticale majeure s'est amortie nettement il y a environ trois mille ans. La sédimentation s'est toutefois prolongée grâce au tassement des dépôts antérieurs et aux déplacements des chenaux estuariens responsables d'érosions, de remaniements, de nouvelles accumulations.

Dans la partie amont, schématiquement à l'est de Caudebec-en-Caux (carte), des marais tourbeux contigus au fleuve se sont maintenus pendant plusieurs millénaires grâce à la remarquable stabilité de répartition en plan des bras, des îles, des bourrelets de rives et des secteurs abrités où s'accumulait la tourbe. La marée dynamique, même avec le mascaret, n'avait plus dans cette partie amont assez d'énergie pour détruire et remanier le dessin des bras et des îles.

Ainsi, se sont maintenus les marais bordant le fleuve, ceux de Saint-Martin-de-Boscherville, d'Anneville, de Jumièges, du Trait, etc. Certaines tourbières furent scellées tardivement par des limons apportés par le fleuve, à partir du Néolithique*, conséquence des défrichements et de l'érosion des sols du bassin de la Seine. Les zones humides ont subsisté mais les vraies tourbières devenaient moins nombreuses, ne persistant que là où les limons ne venaient pas décanter. Comment expliquer la pérennité de certaines tourbières alors que d'autres ont été couvertes de limon ? Le rapprochement des connaissances sur le passé et de la description des mécanismes hydrauliques et sédimentaires actuels semble la bonne voie pour trouver une explication. En aval de Caudebec, les îles et les bancs ont toujours eu une existence fugace, à cause de l'énergie importante dissipée par la rencontre du flot et du fleuve. La célèbre île de Belcinac, sans cesse détruite puis reconstituée, se trouvait juste au contact des deux domaines : amont et aval de Caudebec.

En aval, il n'y avait pas de tourbières pérennes en bordure du fleuve. Elles ne pouvaient être que dans les diverticules bien abrités par des cordons littoraux : la vallée de Lillebonne, le marais Vernier, le sous-sol du Havre.

Il y a environ sept mille ans, le paysage de la vallée de la Seine était constitué d'un ensemble d'habitats aquatiques, semi-aquatiques et terrestres en relation directe ou non avec le fleuve. Cet ensemble hétérogène était essentiellement maintenu grâce aux régimes de perturbation liés au fleuve : érosion, alluvionnement, variation du niveau des eaux, inondations. Les espèces qui ont colonisé ces milieux étaient adaptées à ces régimes de perturbation imposés par le fleuve. Les zones humides le long de la vallée formaient alors des ensembles dynamiques, notamment aux abords de l'estuaire. Si, dès le Néolithique, l'homme a occupé la vallée, le principal facteur d'organisation du paysage végétal de la basse vallée de la Seine restera, pendant ces temps géologiques, le régime fluvial (fig. 1).

La dynamique récente des zones humides

L'endiguement du fleuve au XIX^e siècle crée un chenal fixé et surcreusé. Les étendues ainsi séparées du fleuve, en arrière des digues, peu à peu colmatées par les apports des hautes eaux, furent conquises par l'agriculture. La place des activités humaines dans ce paysage devient prépondérante et donne une vocation résolument agricole au paysage de la vallée. Jusqu'au milieu du XX^e siècle, le paysage de la vallée de la Seine est façonné par la spécialisation des terres. Il en résulte une mosaïque de bois, de prairies sèches, de terres agricoles sur les pentes de la vallée qui contraste avec les prairies humides en zone inondable. Dans cette dernière, un réseau de haies vives constitue une zone de bocage autour des prairies d'embouche*.

Dans les marais peu à peu asséchés, les perturbations auxquelles les espèces végétales et animales s'adaptent ne sont plus celles du fleuve mais celles apportées par l'agriculture : régime de fauche, de pâturage, de labour. Les zones humides qui occupent la totalité de la plaine alluviale restent soumises à la remontée des eaux par la nappe phréatique.

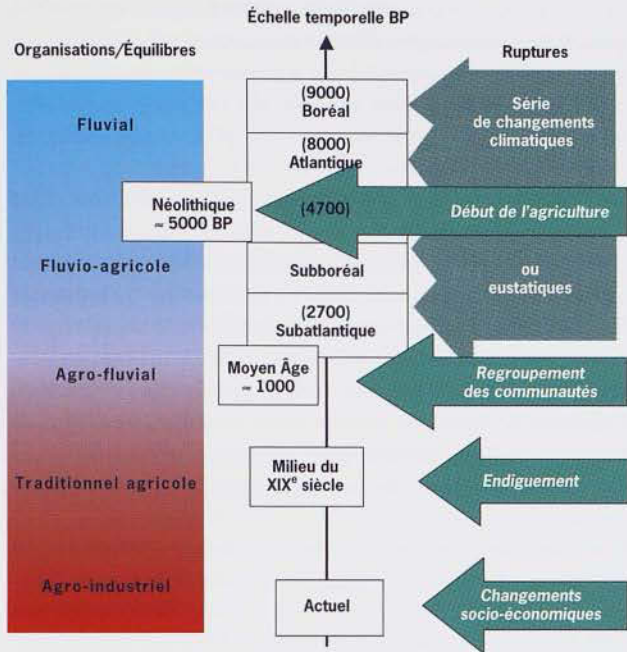


Figure 1 - Ruptures et équilibres dans la basse vallée de la Seine.

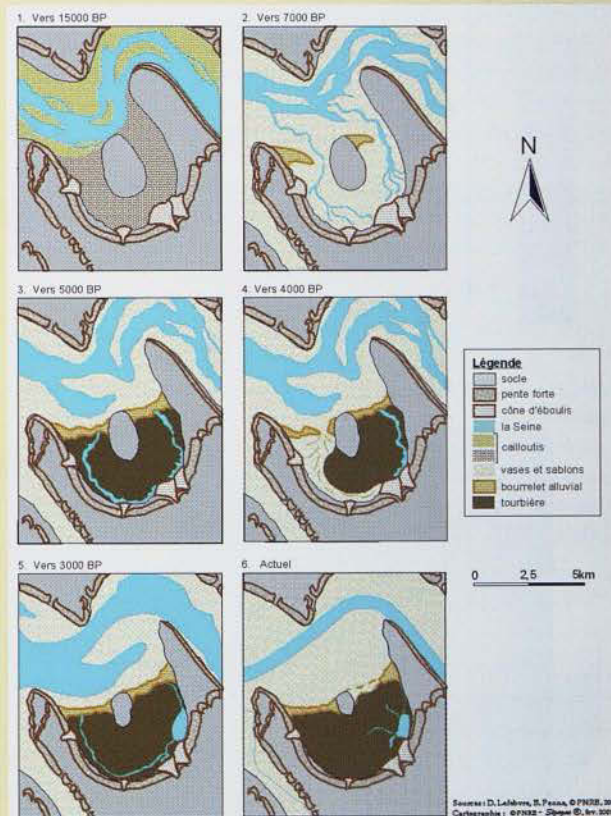
L'organisation du paysage de la vallée change à nouveau sous des pressions humaines qui sont agricoles (intensification, abandon, drainage) mais aussi liées aux activités portuaire et industrielle ou à l'urbanisation. Les changements agricoles ont conduit les zones humides maintenues jusqu'alors en pâturages extensifs ou en prairies de fauche à être asséchées pour la culture de maïs ou la plantation de peupliers. De nombreux marais, zones les moins propres à l'intensification agricole, ont été abandonnés. Ces terres ont été laissées à l'urbanisation ou à l'activité industrialo-portuaire. Aujourd'hui, si le régime de perturbations agricoles reste encore dominant, ce paysage est soumis à des facteurs dynamiques de plus en plus nombreux. La vallée est de moins en moins organisée selon un équilibre « milieu-agriculture ». Dans le même temps, l'estuaire se colmate et poursuit sa dynamique sédimentaire au détriment des milieux les plus humides. Les impacts de ces changements sur les peuplements animaux et végétaux des zones humides continuent de se faire sentir. La banalisation des zones humides se traduit par une diminution de leur singularité dans le paysage au profit de modes d'occupation, et d'espèces qui les accompagnent, plus largement répandus.

Évolution géologique du marais Vernier

Le marais Vernier est un ancien méandre recoupé de forme semi-circulaire, héritage des actions de la mer et du fleuve. L'histoire géologique des quinze mille dernières années explique la géomorphologie du système. L'état actuel résulte des endiguements successifs depuis le XVIII^e siècle (digue des Hollandais) et de la chenalisation du fleuve.



Les coursils, marais Vernier.



Typologie des zones humides

Les zones humides de la vallée de la Seine sont distribuées de part et d'autre du fleuve, dans la plaine inondable qui regroupe la plupart des habitats naturels du lit majeur actuel. Les inondations par remontée de la nappe (et non plus par débordement du fleuve) de vastes secteurs de ce corridor fluvial constituent le principal lien fonctionnel entre toutes les zones humides de la vallée. Les zones humides de la basse vallée de la Seine sont influencées par deux types de facteurs écologiques :

- des processus naturels combinant, en plus de l'influence du régime hydrique saisonnier, la proximité de la mer, l'hétérogénéité des matériaux de la plaine alluviale ;
- des activités humaines liées à la gestion hydrique (drainage, assainissement) et aux gestions agricoles ou industrielles.

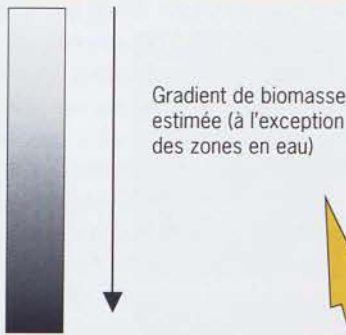
La plaine alluviale peut être ainsi considérée, au plan écologique, comme une mosaïque hétérogène où s'exercent ces gradients naturels et anthropiques. Vouloir rendre compte de la complexité fonctionnelle de cette mosaïque suppose de décrire les différentes combinaisons de ces facteurs, leur variabilité spatiale, soit directement, soit au travers d'indicateurs, biologiques ou non.

Toute cartographie des zones humides suppose un exercice préalable de typologie, c'est-à-dire un choix de critères privilégiant une information par rapport aux autres. Chaque typologie, selon son but, utilisera des critères propres, relatifs aux écosystèmes et aux espèces qu'ils contiennent, au degré d'artificialisation, à la taille, aux usages, etc.

Deux catégories de typologie peuvent être décrites. Une typologie basée sur la couverture végétale des écosystèmes de la zone humide. Cette information sur les espèces et leur répartition permet de constituer une première cartographie écologique qui utilise le pouvoir intégrateur de la végétation spontanée. Celle-ci constitue en effet un bon indicateur de nombreux facteurs écologiques car la présence ou l'absence de certaines plantes renseigne sur la salinité, la mobilité de l'eau, la durée et la périodicité d'inondation, la nature et l'intensité de la gestion agricole (intrants chimiques, fauche, pâture, friche...), par exemple.

Une typologie fonctionnelle met davantage l'accent sur un processus écologique* (le fonctionnement hydrodynamique, la productivité biologique) au sein des écosystèmes plutôt que sur leur composition floristique ou faunistique.

Typologie fonctionnelle par l'image NDVI* Spot 1997



Typologie des groupements végétaux

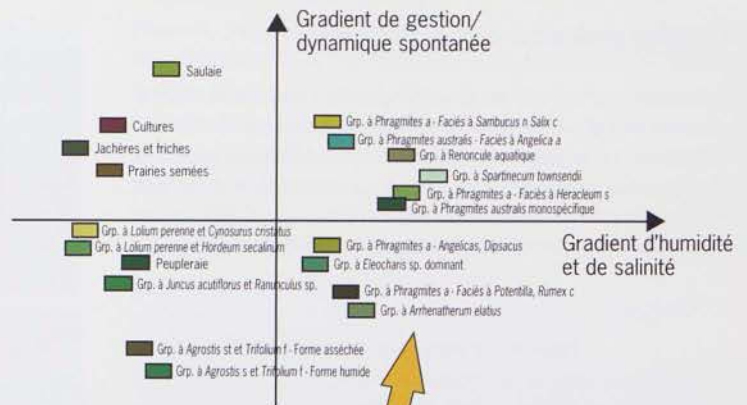


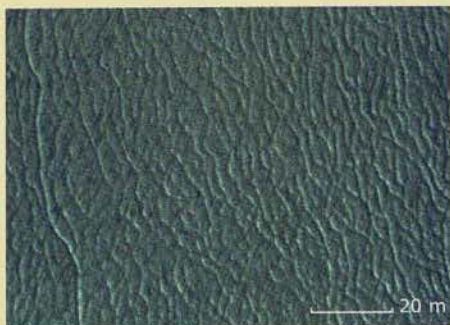
Figure 2 - Typologies des zones humides basées sur une campagne de terrain (secteur est) et sur l'analyse de l'image Spot 1997 par l'indice NDVI. Application au marais du Hode.

De la carte des formations végétales...

La typologie des formations végétales est réalisée sur la base de relevés de végétation, ces derniers consistant en un inventaire sur une surface standard, localisée géographiquement. La cartographie résultante peut se lire soit directement, elle fournit alors une carte des groupements végétaux, soit indirectement en utilisant le pouvoir indicateur de la végétation vis-à-vis de certains facteurs écologiques. Dans l'exemple du marais du Hode (fig. 2), la classification des groupements le long des principaux gradients environnementaux permet l'interprétation de la carte selon certains critères de salinité, d'humidité ou de gestion.

Aperçu méthodologique de la télédétection pour le suivi et l'évaluation des zones humides

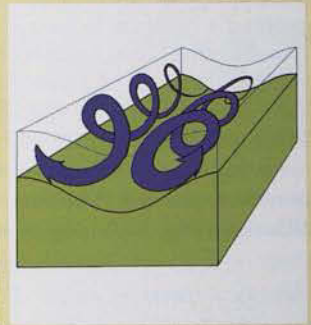
La télédétection aérospatiale est une technique bien adaptée à l'appréhension des zones humides, de par ses caractères multispectral, multi-résolution et multi-temporel. D'abord, la très large gamme de bandes spectrales utilisées par les différentes plates-formes de télédétection autorise une discrétisation fine et pertinente de l'espace. Ainsi, l'absorption massive des longueurs d'ondes infrarouges par l'élément hydrique permet de bien isoler les objets composés exclusivement d'eau (mares, canaux, filandres*...) ou très humides (prairies humides, nappes alluviales de surface...). L'utilisation des hyperfréquences, du fait de la pénétration importante des ondes radar dans les substrats gorgés d'eau, livre également d'excellents résultats. Chaque image satellite ou photographie aérienne numérisée est caractérisée par sa résolution spatiale qui est déterminée par la taille du plus petit élément décelable au sol. Lorsque la résolution est fine, il est possible d'identifier davantage d'objets fins (petits canaux, chemins, haies...). La grande diversité des données satellites fournit une gamme de résolution étendue allant du kilomètre (NOAA) au mètre (Ikonos, clichés aériens numérisés) en passant par les résolutions décimétriques (Spot = 10 m et 20 m, Landsat = 30 m). Chacune de ces résolutions est adaptée à une échelle de travail bien spécifique, pouvant aller jusqu'à 1/10 000, voire en deçà, souvent située autour du 1/25 000. Le choix de la finesse des données est déterminé par l'échelle d'analyse mais aussi par la problématique de travail. En effet, l'appréhension de la végétation, de l'humidité ou de la minéralisation des espaces ne nécessite pas une résolution aussi fine que l'identification du maillage des haies ou celui des chenaux de drainage.



1 - Vase cannelée en vue aérienne verticale. À gauche, une rigole de drainage se greffe sur le réseau.



2 - Vase cannelée, détail vu au sol, avec diatomées.



3 - Interprétation hydrodynamique.

...à une cartographie fonctionnelle

La productivité fait partie des attributs clés du fonctionnement d'une zone humide. Sa cartographie est possible, soit par estimation directe par échantillonnage de la biomasse au sol, soit par estimation indirecte à l'aide d'images satellites. L'exemple choisi est une image Spot 1997 modifiée par un traitement par indice NDVI qui permet d'établir une carte de biomasse estimée, les zones les plus claires étant interprétées comme les moins productives, les plus foncées comme les plus productives (voir ci-dessous).

Enfin, avec la technologie des satellites modernes, il est possible d'obtenir des images quasi quotidiennement. Grâce à cet atout majeur, des séries chronologiques importantes peuvent être élaborées pour observer un même espace sur plusieurs années, voire plusieurs dizaines d'années. Des traitements adaptés autorisent une qualification et une quantification (en termes de surface) précises de la cinématique paysagère. Savoir où ont eu lieu les principales mutations de l'espace et quelle surface est concernée est très important pour bien connaître les mécanismes de fonctionnement et d'évolution des zones humides.

Application à la typologie des zones humides par télédétection basse altitude

La méthode repose sur l'analyse d'une couverture photographique verticale à basse altitude et d'une observation comparative au sol. L'objectif est d'identifier des ensembles types, reconnaissables par un certain nombre de caractères texturaux ou radiométriques.

Un ensemble type de la slikke* médiane : la vase cannelée

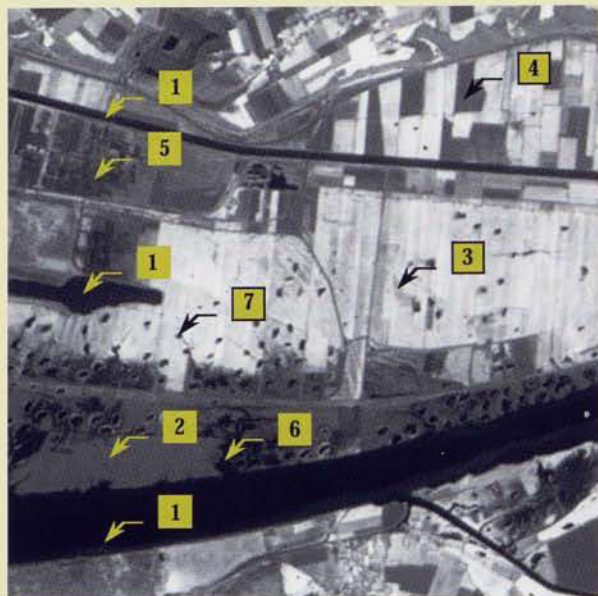
Cette texture apparaissant dans la partie orientale de la vasière Nord est caractérisée par des ondulations d'une étonnante régularité. La longueur est comprise entre 1,5 et 2,5 m avec une amplitude d'une quinzaine de centimètres. Le profil est très doux. La pente axiale est extrêmement faible, parfois inverse, dirigée vers le point bas local. Sauf par faible coefficient, la vase est inondée à chaque marée et une flaqua a tendance à séjourner pendant la basse mer. Il s'y dépose une vase gorgée d'eau. Les flancs ou le sommet sont un peu mieux égouttés et un biofilm à diatomées peut s'y fixer. En été, une croûte de dessiccation arrive à se former. La formation des cannelures est liée au contexte hydrodynamique de l'estuaire macrotidal.

Application au suivi de la végétation du marais du Hode

Les surfaces couvertes par une végétation importante ont une réponse spectrale assez faible dans les longueurs d'ondes visibles (rouge, vert et bleu) car celles-ci ne mesurent en général que la pigmentation des végétaux. Au contraire, la réponse spectrale dans les longueurs d'ondes infrarouges est forte car elles sont très sensibles à l'activité chlorophyllienne. De plus, les surfaces minéralisées, donc très peu végétalisées, ont un albédo maximal dans les longueurs d'ondes rouges.

À partir de ce comportement spectral spécifique aux végétaux, il est possible de créer une nouvelle information synthétique fournissant à l'observateur une image globale du couvert végétal. L'indice de végétation normalisé, appelé communément NDVI (Normalised Difference Vegetation Index), a été mis au point dans les années soixante-dix. Il génère, par une opération très simple, une nouvelle image présentant un gradient croissant de quantité de biomasse végétale. Sa formule simple $[(\text{proche infrarouge}) - (\text{rouge})] / [(\text{proche infrarouge}) + (\text{rouge})]$, couplée à son ambivalence, explique en grande partie son succès.

La figure ci-dessous présente le NDVI d'une partie du marais du Hode, réalisé à partir d'une image Spot du 12 mars 1997.

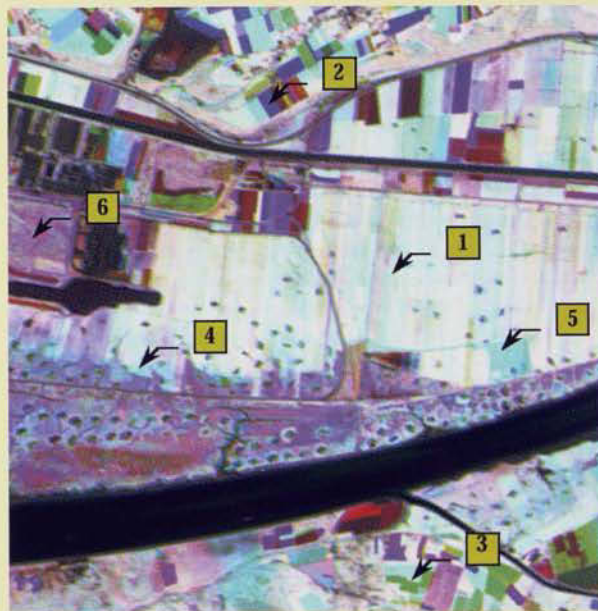


Le NDVI du marais du Hode le 12 mars 1997. Image Spot[®] CNES - Distribution Spot image[®].

L'eau de la Seine et des canaux portuaires (1) apparaît en noir profond à cause de la forte absorption dans les longueurs d'ondes infrarouges. Les zones bâties (5) sont également très sombres du fait de leur forte minéralisation. La grande roselière (2) a une activité chlorophyllienne importante mais l'omniprésence d'eau atténue nettement la réponse spectrale. Les prairies humides sont les surfaces qui présentent le NDVI le plus fort (3), contrairement aux zones de cultures (4) encore très clairsemées en mars.

Outre son grand intérêt pour l'étude de la végétation, le NDVI permet également une très bonne mise en évidence des objets hydrographiques, telles les filandres dans les vasières (6) ou les très nombreuses mares à gabions (7).

La superposition de canaux NDVI de plusieurs dates apporte une quantité d'informations considérable pour l'étude de la cinématique des zones végétalisées. En combinant un premier canal NDVI codé en rouge, un second en vert et un dernier en bleu, on obtient un composé diachronique. Les couleurs ne sont plus significatives de thèmes d'occupation du sol mais de changements d'état du sol, les zones codées en valeurs de gris étant représentatives des persistances.



Le NDVI du marais du Hode en octobre 1992, mai 1990 et mai 1987. Images Spot[®] CNES - Distribution Spot image[®].

Le composé diachronique de la figure ci-dessus affiche deux types de couleurs : saturées et très vives pour les changements profonds et pâles pour les variations saisonnières et phénologiques.

Alors que les prairies humides (1) sont caractérisées par une constance exemplaire, les parcelles agricoles (2 et 3) affichent de très fortes mutations qui s'expliquent par les différences saisonnières et la rotation des cultures. La progression de la roselière sur les prairies humides (4) ainsi que l'implantation des décharges (5) apparaissent en cyan vif, ce qui permet de dater ces mutations après mai 1990. Notons le comportement spécifique de la végétation qui couvre les remblais de la zone industrielle (6).

L'étude du NDVI autorise l'identification précise et le suivi à court, moyen et long termes des formations végétales en milieu humide. L'omniprésence de l'eau et les grandes différences inhérentes à la nature du couvert végétal des marais génèrent un NDVI très contrasté et bien représentatif d'une réalité complexe.

Chapitre II

Les zones humides : une approche fonctionnelle

L'hydrologie des zones humides de la vallée de la Seine

L'hydrologie de la vallée de la Seine est dominée par un fait : le fleuve draine vers la mer les eaux de son bassin, eaux du ruissellement superficiel et eaux souterraines.

Les plateaux de Haute-Normandie qui encadrent la basse Seine sont profondément entaillés par de nombreuses vallées mais les cours d'eau sont rares et brefs. Les précipitations efficaces donnent majoritairement des infiltrations qui alimentent la nappe de la craie, réserve très abondante localisée dans la porosité, les fractures de la roche et le karst. L'eau dans cette région est donc surtout souterraine. Elle s'écoule vers la Seine, lentement par les fissures et très rapidement par les conduits karstiques. Ces conduits ont été percés par étapes, s'approfondissant à mesure que les rivières s'encaissaient. Les conduits les plus récents débouchent pour la plupart au fond de la gouttière creusée durant la dernière période froide, c'est-à-dire dans les cailloutis de fond de vallée.

Les conséquences du réchauffement et de la transgression

La montée du niveau de base a entraîné le comblement du fond de vallée par une grande épaisseur d'alluvions*, jusqu'à trente mètres dans l'estuaire. Ces alluvions sont soit marines, et ce sont majoritairement des sables fins, soit limoneuses et tourbeuses en amont de l'estuaire. L'une et l'autre catégories sont peu perméables si bien que, sous le prisme d'alluvions récentes de la basse Seine et de ses affluents, existe une nappe captive contenue dans la craie et les cailloutis de fond. Presque partout, la pression de l'eau qui se trouve dans les alluvions supérieures est plus forte que la pression de la nappe captive, ou à peu près égale à elle et, dans ces conditions, la nappe captive n'injecte pas d'eau vers le haut. Mais, localement, là où le versant qui borde la plaine est colmaté par un placage de colluvions peu perméables, la charge de la nappe de la craie s'élève suffisamment derrière le placage pour que la nappe captive devienne artésienne. C'est ce qui est constaté dans le marais Vernier dont la tourbière est partiellement alimentée par des griffons artésiens. C'est aussi ce qui avait permis aux Gallo-Romains d'installer à Rouen, dans la basse ville en bordure de la Seine, des fontaines jaillissantes. Néanmoins, les conjonctions permettant l'artésianisme* sont assez rares. Ce serait une erreur de considérer cela comme un processus général.

Comment les zones humides sont-elles alimentées en eau ? L'eau souterraine des plateaux de craie qui encadrent la grande vallée s'écoule vers la mer *via* les alluvions. La plus grande partie passe dans les cailloutis, en sous-écoulement. Une partie minoritaire gagne la Seine en traversant les allu-

vions supérieures, toujours saturées. La surface de la plaine alluviale coïncide avec le niveau de base régional. La surface de la nappe est donc constamment proche de la surface du sol, un peu au-dessous l'été à cause de l'évapotranspiration, un peu au-dessus l'hiver à cause des précipitations qui s'ajoutent et dont l'évacuation est difficile sur les surfaces horizontales. Une contribution supplémentaire de la nappe de la craie à l'humidité des plaines alluviales se fait par les sources de pied de versant, sources de dépression et sources de débordement à la limite des alluvions. Cette contribution est fortement minoritaire en comparaison de l'écoulement souterrain et des précipitations directes sur les marais. L'artésianisme joue aussi un rôle marginal dans les apports en eau sur les zones humides.

Contexte hydrologique et hydrochimique du marais du Hode

Le marais du Hode est l'exemple classique d'une zone humide littorale, trait d'union entre le continent et le littoral, où circulent et se mélangent des eaux douces et salées (fig. 3). Géographiquement, ces différentes eaux se répartissent selon un gradient nord-sud : la partie nord du marais du Hode est soumise aux eaux de l'aquifère de la craie. La nappe de la craie contenue dans le sous-sol du pays de Caux s'écoule vers l'estuaire *via* le prisme alluvial. Les émergences de cette nappe sont situées au nord du marais du Hode en pied de plateau crayeux et donnent aux eaux de surface la qualité physico-chimique suivante : des eaux douces de conductivité moyenne (400-500 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) oligotrophes* sans matière organique (indice $\text{KMnO}_4 < 1 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) ni sels nutritifs (PO_4 et $\text{NH}_4 < 0,1 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$).

En conséquence, même dans les tourbières de fond de vallée, le milieu n'est pas acide puisque l'eau qui les baigne vient de la nappe de la craie.

L'influence des eaux de l'aquifère de la craie est moindre dans la zone médiane du marais où s'accumulent les eaux de pluie (faible conductivité) sur les sols limoneux des prairies pâturées. Les eaux de surface gardent un caractère oligotrophe sur les parcelles non amendées : des eaux douces toujours oligotrophes mais de faible conductivité (250 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$).

La partie sud du marais est soumise à l'influence des eaux de l'estuaire qui remontent, au rythme des marées, par les filandres. Les eaux de surface baignant les vasières et les roselières au sud de la route de l'estuaire ont une forte conductivité et sont eutrophes. Cette même qualité se retrouve sur les prairies subhalophiles grâce au réseau de buses et de canaux qui permet la circulation des eaux au nord de la route de l'estuaire : des eaux saumâtres à salées (salinité = 0,2-5), de forte conductivité ($> 4 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$), riches en matière organique (indice $\text{KMnO}_4 = 7-15 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) et sels nutritifs ($\text{PO}_4 = 0,2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$; $\text{NH}_4 = 0,9 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$; P. total = $1 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$).

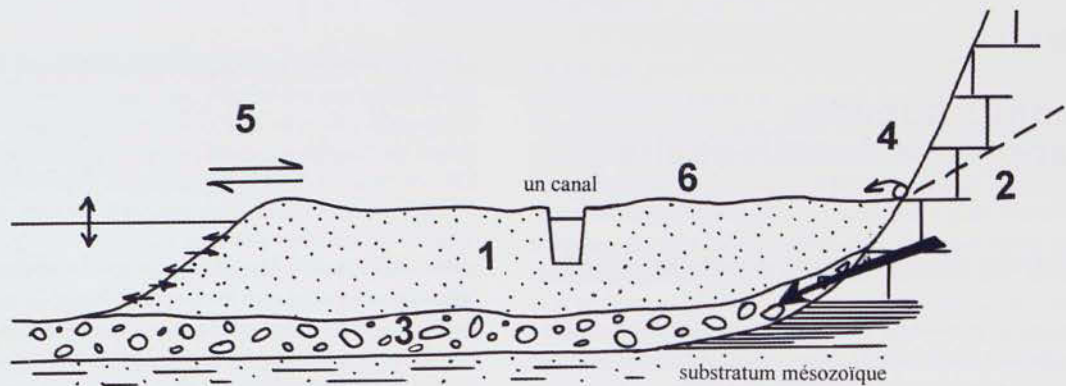


Figure 3 - Fonctionnement hydrologique du marais du Hode. 1- Les sédiments holocènes : sables fins, silts argileux et tourbes à la base, ensemble de très faible perméabilité qui en fait un réservoir dans lequel l'eau est quasi immobile; 2- La nappe de la craie : elle se déverse dans les alluvions de base, les graves de fond, de forte transmissivité; 3- Les cailloutis de base des alluvions : ils constituent un aquifère à nappe captive; 4- Sources de débordement à la limite de la plaine alluviale; 5- Les échanges entre la nappe des alluvions fines et l'estuaire, commandés par les variations de niveau dépendant des crues et des marées, négligeables à cause de la faible perméabilité; 6- Surface de la zone humide, surface du polder.

Fonctionnement hydraulique des marais : options de gestion

L'homme est intervenu depuis longtemps dans le fonctionnement hydraulique des marais. La plus ancienne démarche a été le creusement de fossés de drainage pour tenter d'assécher certaines zones. Dans les étendues sablo-limoneuses, cette opération est sans conséquence sur le terrain lui-même car il ne se tasse pas tandis que, appliqué aux tourbières, le drainage entraîne un affaissement. Ainsi, l'impact est spectaculaire et crucial dans le marais Vernier où l'altitude n'est plus que + 2 m, localement moins. Sans intervention humaine, l'altitude serait égale à celle des hautes mers, soit environ + 4 mètres.

Dans un but opposé à celui du drainage séculaire, des aménagements ont été créés plus récemment dans l'histoire de ces marais, pour les irriguer lors des étés secs ou pour remplir des étangs de chasse. Cette pratique n'est possible que dans l'estuaire où le marnage est assez fort pour permettre des introductions volontaires d'eau à marée haute. En même temps que l'eau, entrent des matières en suspension qui contribuent souvent à l'envasement des écosystèmes (voir p. 13, Les étangs du marais Vernier).

Processus écologiques dans les zones humides

Par rapport aux grands types d'écosystèmes terrestres, les zones humides sont des milieux très productifs. La fonction de production primaire assurée par la végétation est fortement liée aux conditions environnementales et à leur variabilité temporelle. Les zones humides sont aussi connues pour leur rôle particulier dans les cycles biogéochimiques du fait d'un fonctionnement spécifique de l'interface sol-végétation. Dans le cadre du PNRZH, le marais du Hode a été plus particulièrement étudié (voir carte). Un transect d'échantillonnage, orienté nord-sud, a permis d'aborder les différentes dimensions du fonctionnement écologique de cette zone humide.

Productivité et stabilité

À l'échelle d'une vallée, la télédétection peut constituer un outil pertinent de mesure de la production primaire.

De plus, l'utilisation de plusieurs images satellites prises à des dates différentes et leur confrontation permettent de détecter les changements dans le temps de cette fonction écologique majeure (voir p. 10).

L'indice NDVI est utilisé pour mesurer de manière relative la biomasse de la végétation. La comparaison de cet indice à deux dates différentes permet de mettre en évidence des changements dans la couverture végétale ou la variabilité de l'environnement (changement de la structure ou de l'humidité du sol).

La plaine alluviale de l'estuaire de la Seine est caractérisée par des gradients environnementaux (salinité, hydromorphie) s'étalant du sud vers le nord. Les activités agricoles s'opposent à ce patron spatial de contraintes naturelles en s'intensifiant dans le nord de la plaine alluviale (mise en culture, prairies ressemées, rotation rapide du parcellaire). Une évaluation de la production primaire (par des mesures de biomasse végétale et par NDVI) et de sa variation temporelle (différence entre NDVI 1987 et 1997) a été réalisée sur le transect. Cette étude montre que les prairies subhalophiles permanentes du centre de la plaine présentent une productivité homogène dans l'espace (biomasse et NDVI) et régulière dans le temps (indice de variabilité temporelle proche de 0). À l'opposé, les portions de paysage soumises aux variations naturelles (roselière dans le sud) et anthropiques (culture et prairies ressemées dans le nord) présentent une production hétérogène dans l'espace et dans le temps (fig. 6).



Flandre de la vasière Nord à l'aval du pont de Normandie.

Les étangs du marais Vernier

Menacés d'assèchement

Les étangs du marais Vernier (Petite-Mare, Crevasse et Grand-Mare) ont vu leur surface en eau diminuer de moitié au cours des cent cinquante dernières années, ceci accompagné d'une perte de la biodiversité de ces milieux. Cet écosystème fermé ne comporte qu'un seul exutoire, le canal St-Aubin, débouchant directement dans la Seine. L'ouverture régulière, en période sèche, de ce canal a permis d'introduire de l'eau du fleuve et, ainsi, de maintenir un niveau d'eau suffisant dans la Grand-Mare. Cependant, la position actuelle du maximum de turbidité (« bouchon vaseux », voir fascicule « Sables, chenaux, vasières : dynamique des sédiments et évolution morphologique »), au droit du canal St-Aubin, explique l'apport important en matières en suspension (MES) lors de l'introduction d'eau de la Seine.

Comblement : processus naturel ou anthropique ?

Ce mode de gestion des niveaux d'eau peut-il, à lui seul, expliquer le comblement progressif de l'écosystème de Grand-Mare ?

Dans le cadre du PNRZH, les moyens mis en œuvre pour répondre à cette question sont :

- une caractérisation de la chimie de l'eau interstitielle prélevée par la technique des dialyseurs (Hesslein, 1976), photo ci-dessous ; les dialyseurs ont été implantés aux stations 11, 14 et 15 ;
- une étude sédimentologique et géochimique des sédiments de surface (0-10 cm), prélevés par carottage sur 19 stations (carte ci-dessous).

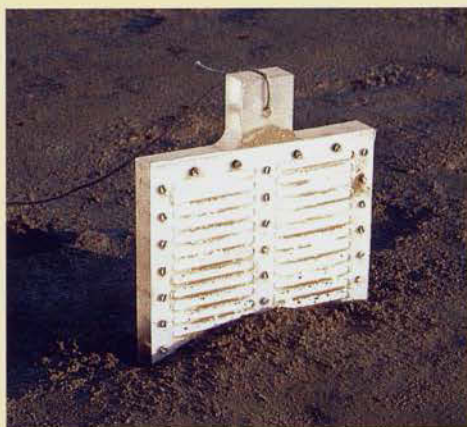


Grand-Mare.

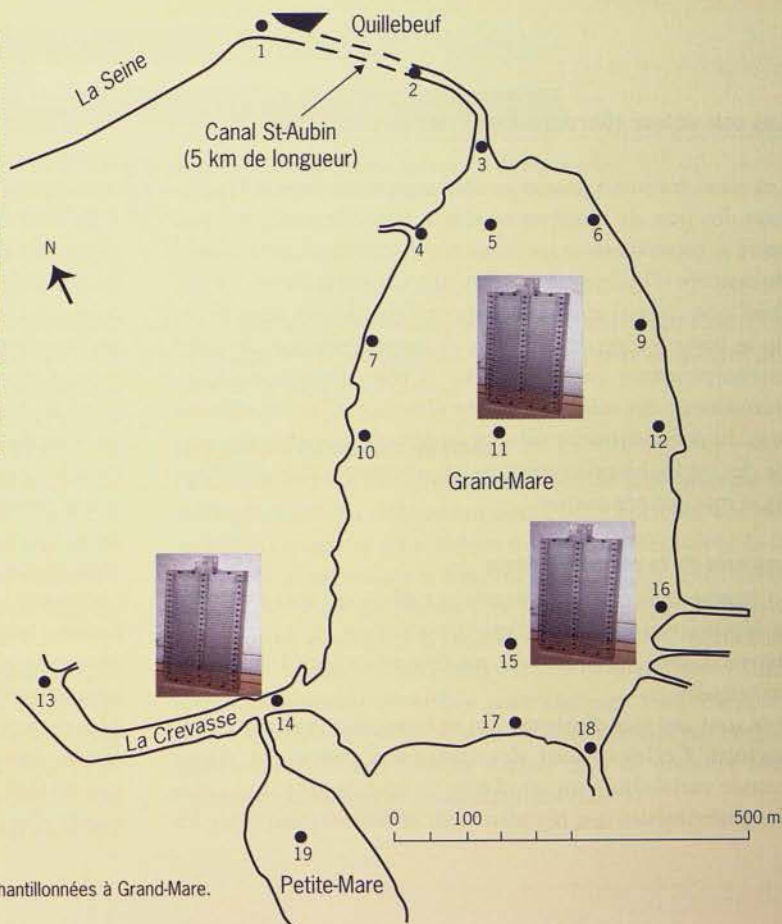
L'eau interstitielle présente des concentrations en phosphate et en ammonium beaucoup plus fortes au sud de l'écosystème qu'au nord.

Les résultats du carbone et du phosphore particulaire (Bonville, 1999; Mesnage *et al.*, in press) montrent que l'accumulation des sédiments au nord correspond à des particules minérogéniques de la Seine, transportées par le canal de St-Aubin, tandis qu'au sud, les sédiments sont très organiques, enrichis en phosphore organique particulaire réfractaire (P-lié aux acides humides).

Le comblement progressif de la Grand-Mare s'explique au nord par l'ouverture du canal et est donc d'origine anthropique alors qu'au sud, il s'agit essentiellement d'une évolution naturelle vers une tourbière, par accumulation de matière organique.



Dialyseur en place.



Qualité des eaux de surface dans le marais du Hode

L'une des questions primordiales pour la gestion d'un espace naturel est de savoir si les eaux ont la qualité requise pour l'usage que l'on en fait ou que l'on souhaite en faire.

Le tableau ci-contre dresse un diagnostic de qualité à partir des résultats d'un suivi physico-chimique des eaux de surface du marais du Hode (PNRZH, 2^e année-juillet 1999) et des classes de qualité des eaux et cours d'eaux (agence de l'Eau Loire-Bretagne d'après le décret 3 janvier 1989 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine et la directive CEE relative aux eaux potables du 16 juin 1975). Dans la zone médiane (prairies humides, « mares perchées ») et la partie nord du marais, les eaux de surface ont un niveau de qualité 1 (1A et 1B). Cette qualité est conforme aux usages actuels : présence d'animaux, ressource utilisée pour la consommation en eau potable.

On note un niveau de qualité moindre dans la zone sud (filandres et nord de la route de l'estuaire)

Ainsi, l'eau de ces secteurs ne peut être utilisée ni pour l'alimentation en eau potable (AEP) et l'abreuvement des animaux, ni pour la baignade. Il peut y avoir cependant des animaux au nord de la route de l'estuaire mais les eaux de ce secteur sont globalement de qualité 1B.

Les eaux des filandres n'ont pas non plus vocation à servir à l'abreuvement ni aux loisirs. La Seine n'a d'ailleurs pas vocation de lieu de baignade... Se pose cependant le problème de la vie piscicole car, pour le niveau de qualité 2, les poissons peuvent vivre mais leur reproduction est aléatoire. Plus inquiétante est la classe de qualité 3 (filandre aval) où la survie même des poissons est menacée.

Ces indices de qualité sont estimés en tenant compte des sels nutritifs et de la matière organique mais pas des micropolluants organiques ni des paramètres bactériologiques. Cette estimation « qualité » n'est donc pas complète car les classes de qualité observées, globalement satisfaisantes, seraient vraisemblablement moins bonnes si l'on prenait en compte les micropolluants organiques et métalliques.

Diagnostic de qualité des eaux de surface du marais du Hode.

	Classe de qualité			
	1A	1B	2	3
Classe de minéralisation 0 < 400 µS/cm	Zone médiane (prairies humides, « mares perchées »)			
Classe de minéralisation 1 400-750 µS/cm	Nord du canal de Tancarville (émergences nappe de la craie)		Filandre Nord de la route de l'estuaire	
Classe de minéralisation 2 750-1 500 µS/cm				
Classe de minéralisation 3 1 500-3 000 µS/cm				
Classe de minéralisation 4 > 3 000 µS/cm	Nord de la route de l'estuaire		Filandre	

Les sols et leur rôle dans les cycles de matières

Les zones humides jouent un rôle important dans la régulation des flux de matières et d'eau. Cette interdépendance entre le cours d'eau et les écosystèmes connexes est à la base du concept d'hydrosystème fluvial (Amoros & Petts, 1993). Bien que ceux-ci soient fortement déconnectés dans le cas de la basse vallée de la Seine, la compréhension de cette interdépendance passe aussi par la connaissance du fonctionnement des sols de la plaine alluviale. C'est en effet au sein du compartiment sol que se déroule une majeure partie des cycles biogéochimiques et, notamment, le recyclage de la matière organique.

Les sols de la plaine alluviale

La genèse et le fonctionnement actuel de ces sols sont sous la dépendance du niveau d'eau. Ils occupent le lit majeur du fleuve. Cette position leur confère trois caractéristiques principales :

- ce sont des sols d'apports qui se forment aux dépens d'alluvions. Celles-ci sont des matériaux parentaux d'une grande variabilité tant au niveau de leur origine qu'à celui des phénomènes qui régissent leur sédimentation (voir les

fascicules « Sables, chenaux, vasières : dynamique des sédiments et évolution morphologique » et « Matériaux fins : le cheminement des particules en suspension »);

- ils sont caractérisés par la présence d'une nappe phréatique sub-affleurante. L'eau constitue donc à la fois un facteur d'évolution du sol et un vecteur de transport d'éléments dissous (voir fascicule « Courants, vagues et marées : les mouvements de l'eau »);

- la végétation, donc l'occupation des sols, affecte également la dynamique de ces sols.

Au sein de la plaine alluviale, on peut rencontrer trois types de sols : des sols alluviaux (*fluviosols* selon AFES, 1995), des sols à caractère hydromorphe* (*réductisols*) et des sols tourbeux (*histosols*). Les sols alluviaux sont issus de l'altération d'alluvions fluviales. Ils sont caractérisés par une nappe circulante bien pourvue en oxygène dissous et à fortes oscillations, qui n'a donc pas une incidence marquée sur leur morphologie. À l'opposé, les sols hydromorphes ont des caractéristiques davantage marquées par un excès d'eau plus ou moins permanent (nappe moins circulante et à plus faibles oscillations que précédemment). Il existe, dans ce cas, un déficit en oxygène (anaérobiose*) à l'origine de processus d'oxydoréduction* qui affectent la mobilisation des

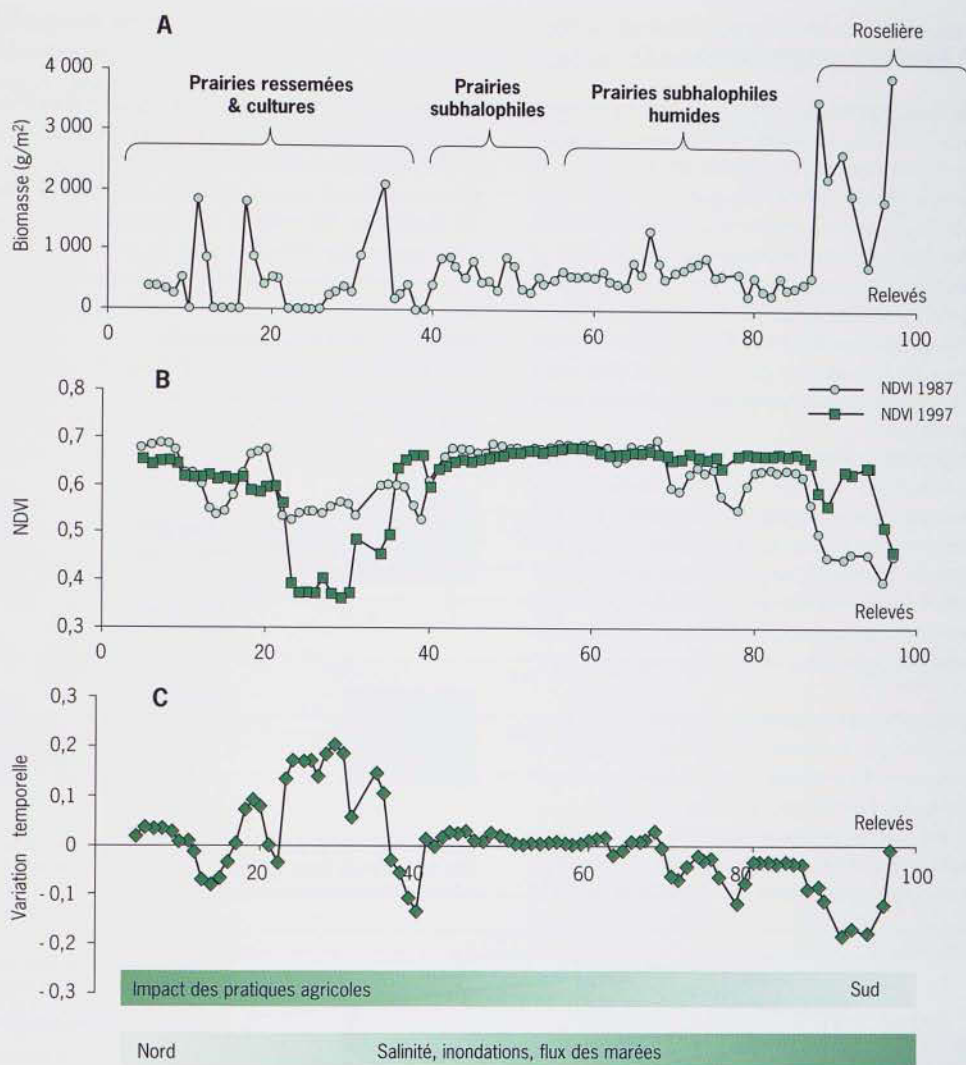


Figure 4 - Estimation de la productivité primaire* (A et B) et de la variation temporelle (C) correspondant à la différence entre NDVI 1987 et 1997 le long d'un transect orienté nord-sud dans la plaine alluviale de l'estuaire de la Seine. Le relevé 0 correspond au nord du transect et le relevé 100 se situe dans la Seine.

éléments minéraux comme le fer et le manganèse (voir fascicule « Fer et manganèse: réactivités et recyclages »). Ce mécanisme se traduit par une redistribution différentielle de ces éléments dans le sol. L'anaérobiose provoque également une modification de l'activité biologique des sols qui entraîne une production de substances spécifiques et un ralentissement de la décomposition de la matière organique qui, par conséquent, s'accumule dans le sol. Les sols tourbeux, mal aérés et saturés en eau de façon permanente, constituent ainsi un cas extrême d'accumulation de matière organique constituée de dépôts de tourbe.

Compte tenu de leur position au sein du lit majeur, les sols de la plaine alluviale constituent normalement le lieu de passage privilégié des échanges d'eau et de matières entre les écosystèmes connexes et le fleuve (Pinay *et al.*, 1990). L'endiguement est évidemment un obstacle à cette circulation qui ne peut être ici que très limitée. Ces sols interviennent

ainsi dans la régulation des pollutions diffuses par l'azote ou le phosphore et influencent corrélativement la qualité des eaux de la nappe phréatique.

Le transect du marais du Hode

Ce marais est situé dans l'estuaire moyen de la Seine, zone de mélange entre eau salée et eau douce (voir fascicule « Seine-Aval: un estuaire et ses problèmes »). L'étude des sols et de la végétation a été réalisée le long du transect nord-sud localisé dans la partie est du marais vers Tancarville (fig. 5). Sur ce transect, des sondages à la tarière pédologique ont permis de décrire les horizons constitutifs des sols et de prélever l'horizon organominéral de surface pour analyses. Parallèlement, l'eau interstitielle qui imbibe le sol a été extraite par centrifugation sur 25 horizons de surface afin de mesurer leur teneur en phosphate et en ammonium (tab. 1).

La productivité des vasières intertidales

L'estuaire de la Seine présente des vasières intertidales connues pour leur forte productivité biologique. Le macrozoobenthos intertidal est suivi depuis de nombreuses années sur la Grande Vasière Nord. Cependant, le rôle de ce compartiment écologique dans les réseaux trophiques* tant terrestres, *via* les oiseaux, que marins, *via* les poissons et crustacés, est encore mal connu. La régression rapide de ces vasières (leur surface diminue actuellement d'environ 25 ha par an) pose les questions d'un maillon faible dans les réseaux trophiques de l'estuaire et de la nécessité d'inverser cette dynamique, en protégeant les vasières existantes ou en en créant artificiellement.

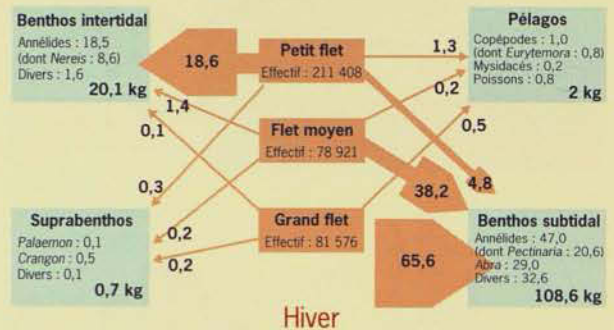
De nos résultats, il ressort que la répartition des différentes espèces du zoobenthos* est liée à la morphologie des vasières et notamment à la topographie, elle-même liée à la granulométrie et à la salinité. Les hauts niveaux de la slikke sont colonisés par le crustacé *Corophium volutator*, l'annélide *Hediste (=Nereis) diversicolor* et des tubificidés. Dans les niveaux moyens et bas apparaît le bivalve *Macoma balthica* et, sur la radiale 3, la plus en aval, la coque *Cerastoderma edule*.

Les niveaux topographiques les plus bas des radiales correspondent au fond sableux du chenal de la fosse Nord, où la vitesse des courants et l'instabilité des sédiments empêchent toute colonisation par le zoobenthos.

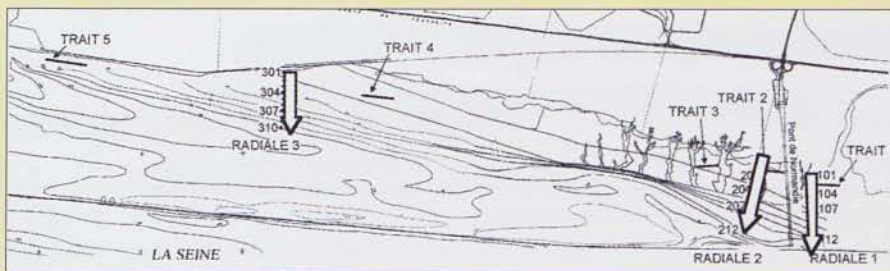
À marée haute, les jeunes poissons dont les nurseries* sont dans l'estuaire viennent s'alimenter de ce benthos. L'analyse des contenus stomacaux du bar *Dicentrarchus*

labrax, du flet *Platichthys flesus* et du gobie *Pomatoschistus microps* montre la place importante prise par la zone intertidale* dans le cycle biologique de ces espèces. La proie la plus consommée est *Corophium volutator*. La consommation de *Hediste* et des tubificidés, bien que moins importante, n'est pas négligeable non plus. La part des bivalves dans le régime alimentaire de ces jeunes poissons est très réduite, bien qu'ils représentent une partie importante de la biomasse du zoobenthos intertidal.

La fraction du zoobenthos intertidal effectivement exploitée par les jeunes poissons étudiés est donc surtout constituée de proies de la haute slikke plutôt que de la basse slikke.



Consommation (kg de poids sec) du flet (*Platichthys flesus*) en fonction de sa taille (Lt < 16 cm, entre 16 et 21 cm, > 21 cm) en hiver dans l'estuaire de la Seine et son embouchure.



Grande Vasière - Localisation des radiales 1 à 3 de prélèvement de zoobenthos et des traits de chalut des pêches à pied.

Les biomasses les plus importantes sont trouvées sur les niveaux moyens des radiales, entre +4 et +6 m CMH*. Elles sont en moyenne de 1 à 1,4 g.m⁻² PLC autour du pont de Normandie (radiales 1 et 2) et sont plus importantes sur la radiale 3 (2,8 g.m⁻² PLC) où la contribution des bivalves *M. balthica* et *C. edule* est plus forte.

Sur le transect (fig. 5), on rencontre des *réductisols* et un *anthroposol* sableux à horizon réductique profond. Tous ces sols sont calcaires (15 à 27 % de CaCO₃) et possèdent par conséquent un pH basique (7,6 à 8,0). Les *réductisols* sont caractérisés par la succession d'un horizon organominéral (Aca) et d'horizons minéraux à caractère hydromorphe (Go et Gr). Ces derniers apparaissent toujours à moins de 50 cm de profondeur et sont le plus proche de la surface dans la roselière. L'horizon Go se différencie par des taches de couleur rouille liées à la présence de fer oxydé alors que l'horizon Gr possède une couleur grisâtre dominante liée à la pré-

sence de fer réduit. L'horizon Go est donc temporairement réoxydé au cours de l'année, suite aux oscillations de la nappe phréatique, alors que l'horizon Gr traduit des conditions de saturation en eau presque permanente (milieu réducteur). L'influence de la mise en culture se traduit au niveau morphologique par un horizon organominéral labouré plus épais (LAca) et des signes d'hydromorphie moins marqués suite au drainage des terrains. Quant à l'*anthroposol*, il s'agit d'un sol recréé suite à la construction du canal de Tancarville.

Valeurs moyennes (\pm écart type) de quelques paramètres chimiques pour (a) l'horizon organominéral et (b) les eaux interstitielles extraites de ce même horizon en fonction du type de végétation rencontré sur le transect de la carte (74 horizons organominéraux analysés, 25 eaux interstitielles extraites).

	Roselière	Prairies subhalophiles humides	Prairies sèches	Prairies semées	Cultures	Prairies humides
a) Horizon organominéral						
Nombre de points mesurés	7	14	22	8	18	5
pH eau	8,0 \pm 0,3	7,8 \pm 0,2	7,8 \pm 0,1	7,9 \pm 0,2	7,9 \pm 0,1	7,6 \pm 0,1
Conductivité ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	1202 \pm 1036	528 \pm 285	325 \pm 95	199 \pm 69	282 \pm 125	748 \pm 285
CaCO ₃ total (% sol sec)	21 \pm 1	16 \pm 4	18 \pm 4	25 \pm 5	27 \pm 3	15 \pm 6
CaCO ₃ actif (% sol sec)	10,2 \pm 3,5	5,1 \pm 1,2	5,0 \pm 1,1	2,9 \pm 1,3	4,5 \pm 0,8	5,2 \pm 1,6
C organique (% sol sec)	4,85 \pm 1,39	6,77 \pm 2,37	6,75 \pm 2,80	1,53 \pm 0,95	2,96 \pm 1,38	7,50 \pm 2,87
N total (% sol sec)	0,55 \pm 0,12	0,58 \pm 0,20	0,61 \pm 0,14	0,17 \pm 0,14	0,28 \pm 0,11	0,76 \pm 0,25
b) Eaux interstitielles de l'horizon organominéral						
Nombre de points mesurés	2	4	10	2	5	2
Phosphate ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)	2651 \pm 187	216 \pm 91	131 \pm 86	67 \pm 85	148 \pm 66	62
Ammonium ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)	2270 \pm 495	957 \pm 357	468 \pm 169	1103 \pm 534	773 \pm 576	467 \pm 504

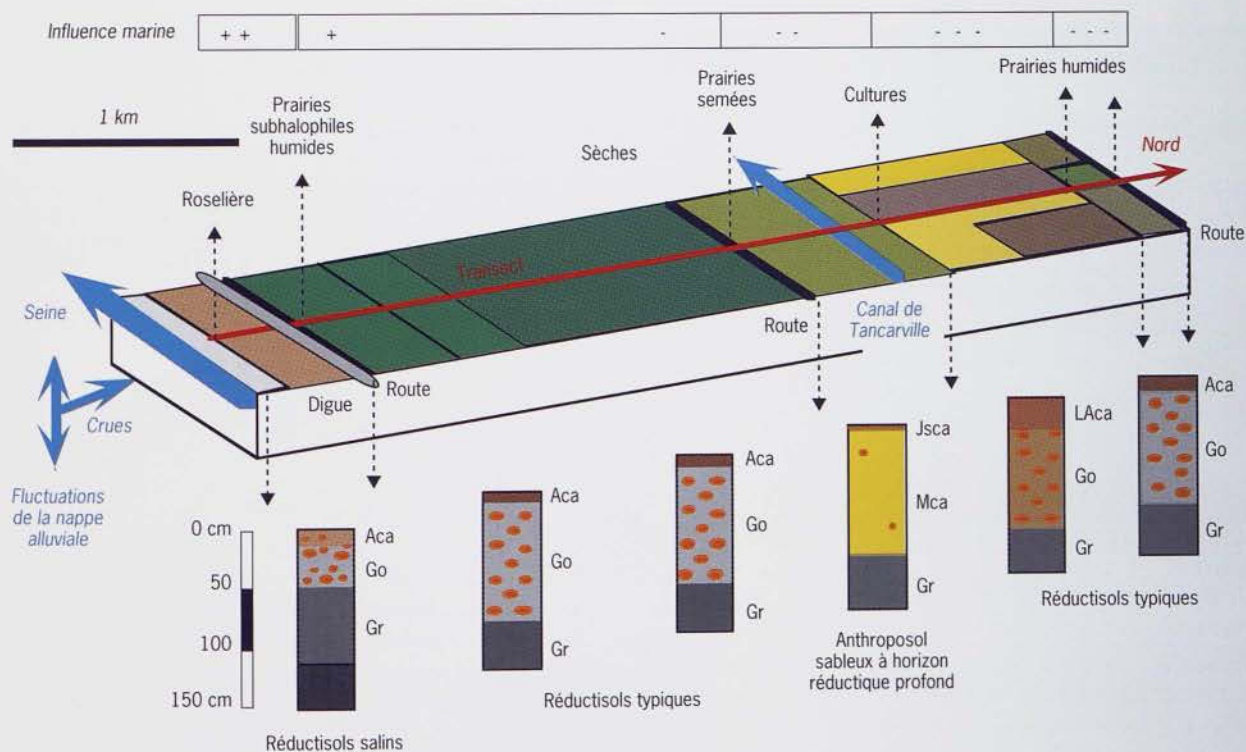


Figure 5 - Répartition des sols et de la végétation le long d'un transect nord-sud dans le marais du Hode, près de Tancarville.

D'un point de vue chimique, les sols de la roselière possèdent un pH moyen de 8,0 à mettre en relation avec une forte conductivité. Ce paramètre, mesuré sur un extrait aqueux de sol, traduit la teneur totale en sels dissous et indique une légère influence marine due au fait que la roselière, localisée en bord de Seine avant les endiguements, est régulièrement submergée par les eaux mélangées de l'estuaire moyen. À l'inverse, dans le nord du transect, les sols sont surtout inondés suite à des remontées de nappe car protégés de la submersion par les digues. Les sols de la roselière se développent aux dépens d'alluvions à texture fine (i.e. vase) déposées par la Seine. Ils possèdent logiquement la plus forte teneur en calcaire fin susceptible d'être facilement solubilisé (i.e. CaCO_3 actif) et de libérer du calcium. Les caractéristiques pédologiques au sein de la roselière expliquent également les fortes teneurs en phosphate et en ammonium des eaux interstitielles. La texture fine des dépôts vaseux est favorable (1) au piégeage du phosphore sous forme de phosphate et (2) à l'existence de conditions anaérobies dans lesquelles l'azote minéral se trouve principalement sous forme d'ammonium. Les *réductisols* de la roselière se distinguent assez nettement des autres *réductisols* sur les points précédents. Ceci met bien en évidence un fonctionnement particulier lié à leur position d'écotone* entre le fleuve et les prairies humides.

Les valeurs en carbone organique et azote total traduisent les teneurs en matière organique des horizons organominéraux. Les plus fortes sont trouvées dans les prairies humides. Ceci s'explique par l'importance de la biomasse racinaire comme source principale de matière organique fraîche dans ce type d'écosystème. Les faibles teneurs en matière organique dans les prairies semées et les cultures sont dues à la jeunesse du sol recréé (horizon organominéral encore en formation, donc faible enrichissement en matière organique) et à la minéralisation importante causée par le labour. Pour la matière organique, la roselière occupe une position intermédiaire. Les prairies humides sont des écosystèmes susceptibles d'assurer un stockage de matière organique, et donc de carbone organique, contrairement aux cultures dont le carbone est minéralisé et rejeté dans l'atmosphère sous forme de CO_2 . En d'autres termes, bien que l'on ait affaire à des *réductisols* dans les deux cas, on met ici en évidence une différence notable dans la dynamique de la matière organique en rapport avec deux types d'occupation du sol.

Les sols de la plaine alluviale présentent une morphologie variée. Celle-ci est la traduction d'un fonctionnement complexe lié à la multiplicité des interactions avec le fleuve (sédimentation, régime des eaux). L'exemple du marais du Hode illustre également leur rôle écologique en termes de stockage de matière organique ou de nutriments, comme les phosphates par exemple.



Grand-Mare.

Le marais du Hode : une fonction épuratrice ?

La **dénitrification biologique** est un processus bactérien par lequel les oxydes d'azote (nitrates et nitrites) sont réduits à l'état de produits gazeux (protoxyde d'azote, azote moléculaire) selon la séquence suivante :



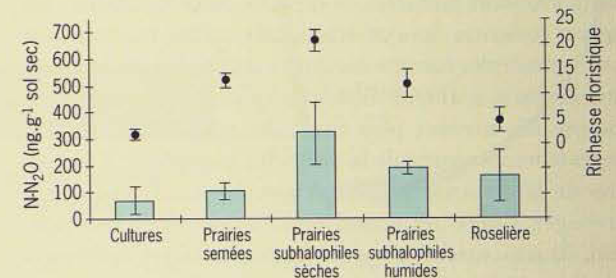
Cette transformation est réalisée par des bactéries anaérobies capables d'utiliser les nitrates comme accepteur final d'électrons à la place de l'oxygène. Pour que ce processus soit possible, il faut donc : (1) des bactéries possédant le métabolisme adéquat, (2) des composés réducteurs en quantité suffisante (carbone organique), (3) une disponibilité suffisante en oxydes d'azote (nitrates essentiellement) et (4) des conditions anaérobies. Les sols hydromorphes des plaines alluviales sont susceptibles de répondre à ces critères et de favoriser ainsi l'élimination d'un excès de nitrates d'origine naturelle ou dus à la pollution diffuse. C'est pourquoi, il est aujourd'hui admis que les zones humides ont une fonction épuratrice vis-à-vis des nitrates. Afin de comparer les potentialités dénitrifiantes des sols des cinq principaux types de végétation présents sur le transect du marais du Hode, on mesure expérimentalement le taux de dénitrification potentielle (Chabrierie *et al.*, 2001). La figure ci-contre donne les résultats obtenus sur le transect du marais du Hode. La dénitrification potentielle la plus élevée est trouvée dans les prairies subhalophiles. La valeur maximale est atteinte dans les prairies subhalophiles sèches, la valeur minimale dans les cultures. Les sols des prairies subhalophiles réunissent les conditions les plus favorables à la dénitrification : bonne saturation en eau (horizons hydromorphes), bonne teneur en matière organique (C organique) et faible teneur en sels totaux dissous (conductivité). À l'inverse, les sols labourés des cultures contiennent moins de matière organique et leur saturation en eau est réduite par le drainage.

Malgré une hydromorphie et une teneur en matière organique suffisantes, les sols de la roselière ont une dénitrification potentielle plus faible que les prairies subhalophiles.

Ceci peut s'expliquer par deux phénomènes : (1) l'antagonisme entre leur teneur importante en sels totaux dissous et la dénitrification et (2) l'opposition entre la réduction possible des nitrates en ammonium et la dénitrification (tab.). Néanmoins, la roselière constitue un lieu de stockage important des nutriments comme l'atteste les hautes valeurs de biomasse. Il est intéressant de noter que la richesse spécifique* des plantes vasculaires est maximale dans les prairies subhalophiles sèches, là où les conditions édaphiques* sont intermédiaires en termes d'anthropisation ou de teneur en sel dissous.

La dénitrification biologique est un processus complexe du fait de la multiplicité des facteurs qui la contrôlent. L'expérience menée sur la dénitrification potentielle des zones humides du marais du Hode montre une variabilité importante de ce processus pour des sols morphologiquement proches.

Le rôle épurateur (dénitrification dans les prairies humides) ou de stockage (roselière) vis-à-vis de l'azote apparaît donc dans le marais du Hode comme potentiellement lié aux écosystèmes les plus naturels, l'anthropisation diminuant fortement cette fonction écologique pourtant essentielle.



Variations de la dénitrification potentielle et de la richesse floristique le long du transect nord-sud du marais du Hode. La dénitrification potentielle (histogrammes) des horizons organominéraux est estimée après 48 heures d'expérience. Les points représentent la richesse spécifique des plantes vasculaires dans les 5 types de végétation.



Roselière.

Chapitre III

L'évaluation écologique des zones humides

Définir la biodiversité dans les zones humides

La vallée de la Seine représente l'un des principaux « points chauds » de la biodiversité du nord-ouest de la France (Barnaud, 1997). Si son intérêt écologique est maintenant démontré, avec ses espèces animales et végétales inféodées aux habitats fluviaux et aux zones humides, de nombreux problèmes restent à résoudre pour quantifier et hiérarchiser cette biodiversité : comment mesurer, quoi mesurer et quand, quelles espèces sont importantes, lesquelles sont secondaires... Si la biodiversité est un concept à la mode, c'est avant tout une réalité complexe qui suppose au préalable de définir ce qu'on prétend décrire pour proposer ensuite des outils opérationnels d'évaluation.

La biodiversité, ou diversité biologique, mesure la variabilité des organismes vivants dans les systèmes écologiques. Il existe plusieurs manières de mesurer cette variabilité. Les espèces présentes dans un écosystème ou une communauté sont considérées comme les unités de mesure de la biodiversité mais d'autres évaluations peuvent prendre en compte des niveaux plus fins (intraspécifiques) ou plus larges (communautés) de la hiérarchie biologique. L'évaluation de la diversité au niveau spécifique doit également envisager différentes dimensions (diversités de composition, de structure ou diversité fonctionnelle) et différentes échelles (spatiale et temporelle) pour rendre compte de la complexité de cette notion (Solbrig, 1991).

Quelles espèces ? : la composition

La composition, première dimension, mesure l'originalité des espèces présentes. Cette notion fait appel à la rareté des espèces qui coexistent dans la communauté. Pour de nombreux groupes taxonomiques (microarthropodes de la litière, faune du sol ou flore cryptogame*), l'information est inexistante ou très fragmentaire et ne permet pas ce genre d'évaluation. Au contraire, d'autres groupes, comme la flore phanérogame* ou les oiseaux, sont beaucoup mieux connus. Il est donc possible d'utiliser ces groupes dans des études comparatives entre sites, entre dates ou en référence à des connaissances régionales ou nationales. On utilise pour cela des indices relativement simples qui mesurent l'originalité d'un site (la présence d'espèces rares) ou sa représentativité vis-à-vis d'un pool régional d'espèces (Scheiner, 1992).

Combien d'espèces ? : la structure

La deuxième dimension, structurelle, vise à décrire la complexité des communautés en mesurant la richesse ou la diversité en espèces. Derrière ces mesures peut se formuler la question : « Combien d'espèces coexistent et lesquelles dominent ? ». Ces mesures sont spatialement dépendantes (Blondel, 1995) et on peut évaluer la richesse spécifique dans un milieu donné (diversité locale) ou sur la totalité des milieux d'un paysage (diversité régionale).

Quelles relations entre espèces ? : l'organisation

Cette dimension, plus fonctionnelle, vise à comprendre comment les espèces coexistent dans les communautés. Du fait du principe d'exclusion compétitive, les mécanismes limitant ou évitant la compétition interspécifique ont une part prépondérante pour expliquer une forte richesse dans les communautés.

Les mécanismes de coexistence, encore appelés règles d'assemblages, font appel à trois modèles d'interactions entre espèces. Le modèle de la *ségrégation écologique* est basé sur la complémentarité des niches écologiques des espèces. La limitation des interactions compétitives est obtenue par un partage des ressources, notamment trophiques. Ce modèle est rencontré lorsque des espèces spécialistes pour des ressources nutritives coexistent et que les ressources sont nombreuses et diversifiées.

Le modèle de l'*hétérogénéité spatiale* constitue un autre mécanisme pouvant être impliqué dans le maintien de la diversité spécifique. La *ségrégation* est ici spatiale, chaque espèce utilisant un micro-habitat dans un environnement hétérogène. Cette hétérogénéité peut être d'origine abiotique (des dépressions humides dans une prairie sèche) ou biotique (créée par des animaux pâturant).

Si les deux précédents modèles de coexistence peuvent engendrer des situations à l'équilibre, donc durables, d'autres modèles sont basés sur les situations *hors équilibre*. Le caractère instable et dynamique de certains habitats est une condition parfois *sine qua non* de l'existence de communautés à forte richesse. Cette instabilité est entretenue par un régime de perturbations qui empêche l'exclusion compétitive et l'élimination de certaines espèces en concurrence. Ce cas est très répandu dans les écosystèmes riverains rajeunis et recolonisés (perturbation du fleuve) mais également dans de nombreux agro-écosystèmes (perturbations d'origine humaine contrôlant la compétition).

Dans la plupart des milieux de la vallée de la Seine, ces trois mécanismes de coexistence peuvent se retrouver, parfois se succéder dans le temps, selon les conditions écologiques créées par le fleuve ou par l'homme (fig. 6).

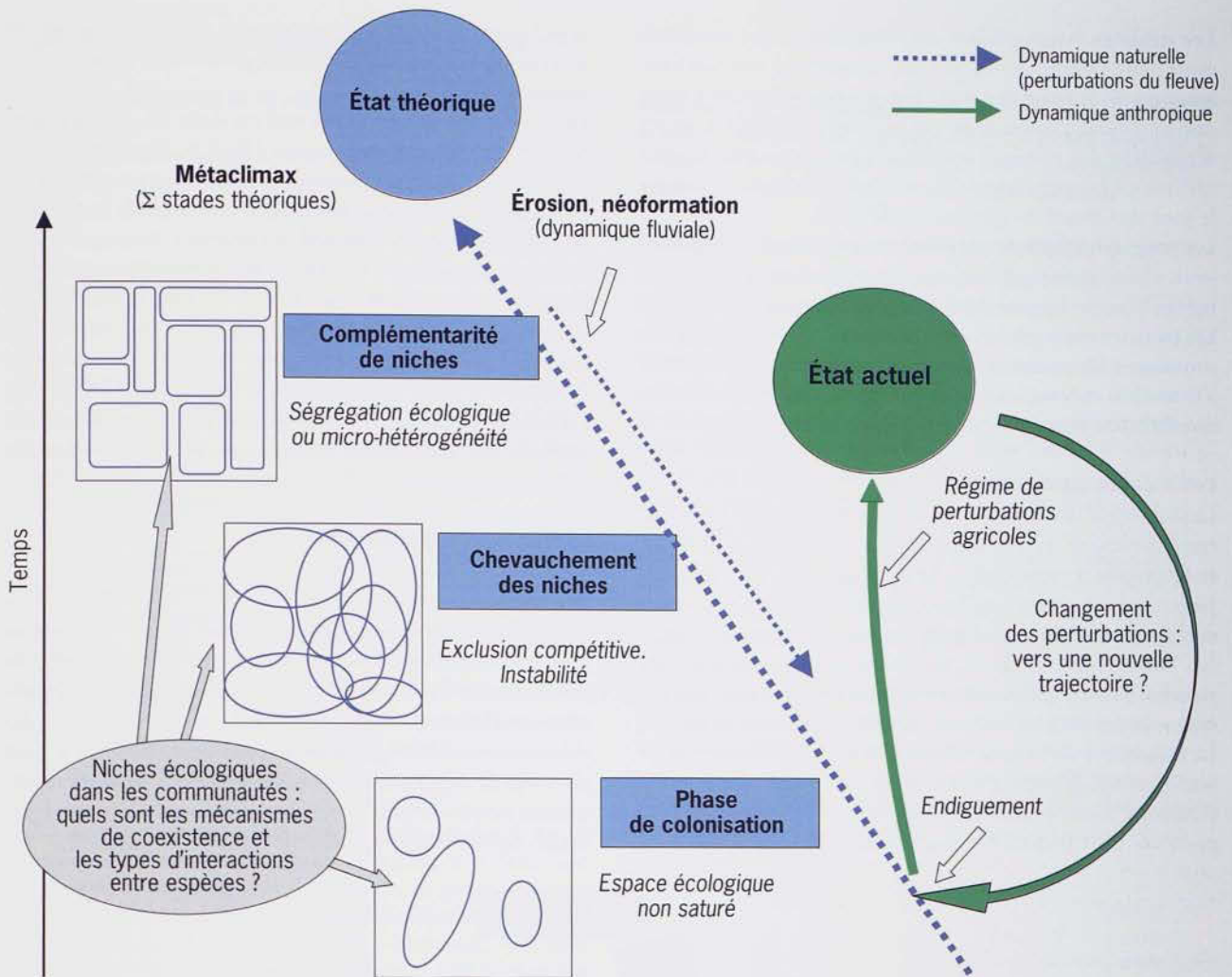


Figure 6 - Les mécanismes de coexistence d'espèces dans les zones humides. Les états théoriques (ligne pointillée) sont basés sur l'hypothèse qu'une communauté écologique tend spontanément vers un état d'équilibre dynamique, en réponse à une perturbation donnée. Ce processus est représenté par une trajectoire ou succession de différents états de la communauté impliquant différents mécanismes d'interactions spécifiques ou règles d'assemblages. Cette trajectoire aboutit à une communauté « organisée », c'est-à-dire basée sur la ségrégation écologique après être passée par des stades de non-équilibre. Ces derniers peuvent être stables si le régime de perturbations persiste. Les états présents (ligne continue) illustrent comment des changements dans le régime de perturbations, notamment par la gestion agricole, réinitialisent une nouvelle trajectoire vers un nouvel état d'équilibre. D'après Alard & Poudevigne, 2001.

Populations et communautés végétales

Les populations et communautés végétales de la zone inondable sont conditionnées par la durée d'inondation, liée à la topographie, et la nature des matériaux alluvionnaires. À ce déterminisme naturel s'ajoute une influence liée aux activités humaines, notamment agricoles. La typologie des groupements végétaux, qui définit les habitats, permet de distinguer différentes unités dans le paysage végétal.

Le paysage végétal de la plaine alluviale

Des milieux les plus humides vers les plus secs, il existe une série de groupements qui se retrouvent régulièrement dans la vallée. Ces groupements possèdent des espèces caractéristiques qui constituent des indicateurs des conditions de milieu.

Les **roselières** et **magnocariçaies** sont des peuplements denses de roseaux, de baldingères ou de grandes laïches (*Carex* sp.) qui occupent les dépressions engorgées ou les bords des eaux libres et les fossés.

Les **tourbières** caractérisent des milieux ouverts, sur substrat organique accumulé dans des eaux riches en calcium (eau de nappe) ou peu minéralisées et acides (eau de pluie). Leur flore, très originale, recèle des raretés comme l'épipactis des marais sur tourbe alcaline, les rossolis ou la canneberge sur tourbe acide.

La **forêt alluviale**, sur les graves et cailloutis instables, est caractérisée par les saulaies pionnières à bois tendre, habitat du houblon et de la valériane. En zones plus stabilisées, sur les cours secondaires ou les fossés, c'est la forêt de bois durs à base d'aulnes, d'ormes, de frênes et de chênes qui succède aux groupements pionniers. C'est une formation très relictuelle* en vallée de la Seine.

Les **prairies hygrophiles** des « bassiers » sont marquées dans leur composition par les œnanthes, cardamines, renouées et la reine des prés. Les prairies de fauche à lychnis et grande consoude ou les prés pâturés à joncs accueillent des cortèges spécifiques bien tranchés. La salinité est un facteur d'apparition d'espèces halophiles comme le jonc de Gérard, la guimauve officinale.

Les **mégaphorbiaies** succèdent à ces prairies lorsqu'elles sont abandonnées. Elles sont dominées par de grandes herbes comme la reine des prés.

Les **prairies mésophiles** des « hautiers », les terres les moins soumises à l'inondation, sont souvent des prairies de fauche à fromental et *Hordeum secalinum*. Elles accueillent parfois des raretés botaniques comme le colchique et l'ophioglosse.

Les espèces patrimoniales

La présence d'une espèce dans un habitat donné est liée à une combinaison de facteurs locaux, caractéristiques de l'habitat et favorables à cette espèce. Les espèces rares sont d'autant plus fragiles qu'elles sont spécialistes de certains habitats et de faible amplitude écologique. Elles constituent souvent des populations faibles et très localisées. Par exemple, les rossolis, plantes carnivores remarquables, sont des plantes typiques des stades pionniers sur sols tourbeux et acides.

La présence d'un habitat favorable n'est pas nécessairement une garantie de présence de l'espèce. Pour une raison locale (l'histoire récente du milieu a provoqué l'extinction de l'espèce) ou plus générale (l'absence dans les sites voisins de

populations pouvant coloniser un site nouveau), les espèces n'occupent souvent qu'une faible proportion de leurs sites potentiels (fig. 7).

Les conditions de survie des espèces dans un paysage mettent en jeu des processus locaux liés à la démographie des populations (extinction, renforcement) et des processus plus globaux liés à la circulation des espèces dans le paysage (migrations d'un site favorable à un autre). Une espèce persiste dans un paysage tant que le taux des extinctions locales est inférieur au taux de migration. C'est donc à l'échelle des sites mais aussi à celle du réseau de populations (ou métapopulation) que peuvent intervenir les facteurs responsables de la régression ou de la disparition d'une espèce. Ces facteurs s'organisent autour d'un schéma hiérarchique mettant en jeu à la fois différentes échelles spatiales et temporelles (fig. 7).

La faune des zones humides

Les oiseaux

La basse vallée de la Seine abrite environ un tiers des espèces d'oiseaux nichant en France (GONM, 1989) et accueille en hiver plus de 80 % des 116 espèces d'oiseaux d'eau hivernant en France parmi lesquelles de nombreux limicoles (bécasseau variable) et canards (pilet et tadorne). Le long des voies de migration, les zones humides de la vallée représentent autant de haltes pour de nombreuses espèces migratrices comme la spatule blanche ou le courlis corlieu.

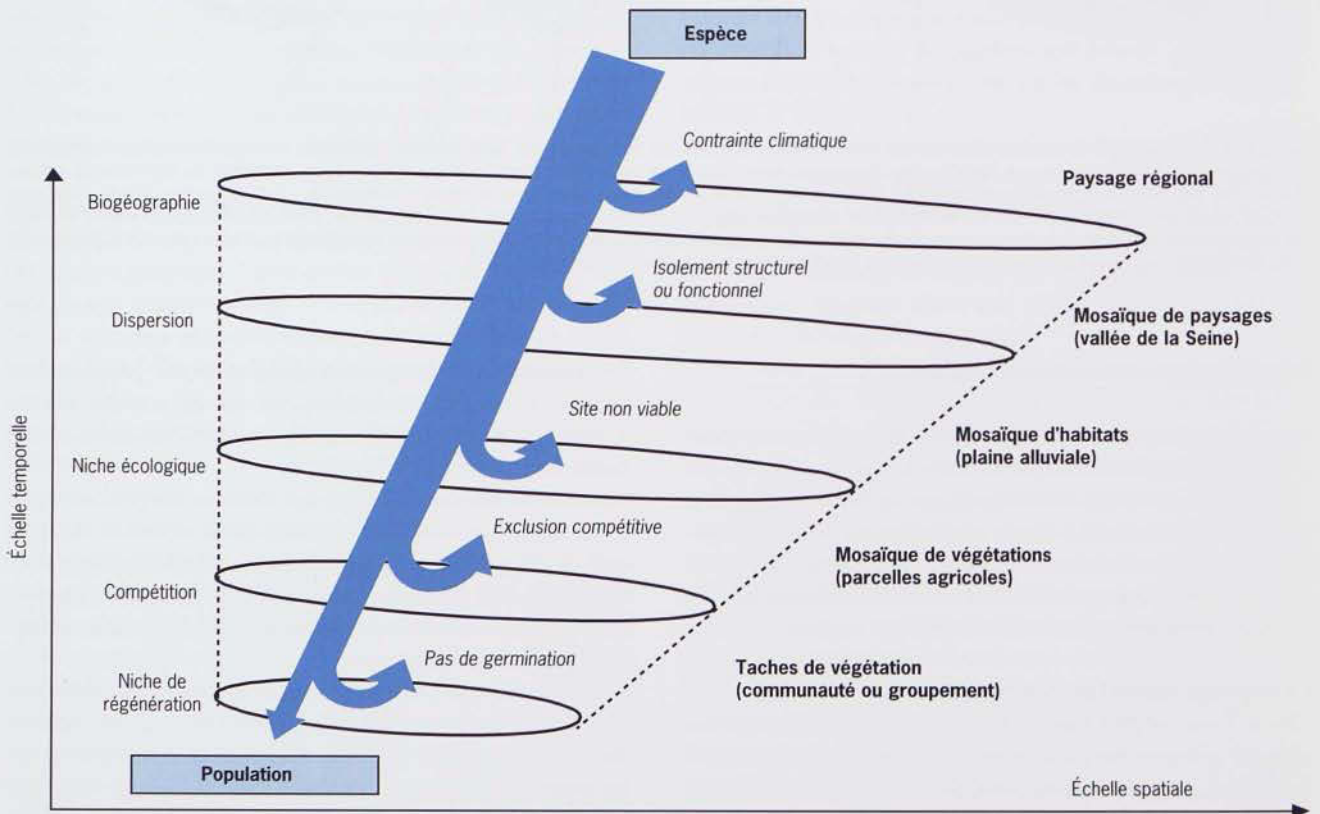


Figure 7 - L'environnement joue le rôle d'un filtre entre l'ensemble des populations d'une espèce, représenté par son aire biogéographique et une population particulière sur un site donné. Pour que l'espèce soit présente sur le site, il faut qu'elle passe tous les éléments du filtre, représentés ici de façon hiérarchique. Les processus sélectifs agissent à des échelles spatio-temporelles emboîtées pour expliquer la présence ou l'exclusion de l'espèce. L'espèce peut ainsi être absente d'un site pour une raison locale et immédiate (absence de germination) ou au contraire une raison globale et à long terme (changement de l'aire de distribution). En position intermédiaire sont localisés des processus liés à l'exclusion compétitive, les changements de qualité des habitats et la fragmentation des paysages. D'après Alard & Poudevigne, 2001.

Les oiseaux indicateurs de la qualité des habitats

Intérêt patrimonial de la roselière de l'estuaire de la Seine

Une importante surface de roselière s'est développée au cours des vingt-cinq dernières années sur la rive nord de l'embouchure de la Seine. L'estimation des populations nicheuses des espèces paludicoles* dans cette roselière a été réalisée par différentes méthodes de recensement (points d'écoute, parcours pédestres et baguages). Les résultats sont résumés par le tableau ci-dessous, pour la période 1997-1999.

Nombre de couples de certaines espèces paludicoles dans la roselière de l'estuaire de la Seine (source GONm, 1989).

	Hode (nombre de couples)
Butor étoilé	14
Locustelle lusciniöide	10-15
Râle d'eau	plusieurs dizaines peut-être plus de 100
Phragmite des joncs	720 ?
Gorge bleue à miroir	260
Bouscarle de cetti	200 +
Panure à moustaches	420 +
Bruant des roseaux	750 +
Rousserolle effarvatte	6400
Busard des roseaux	7

En période de reproduction, le nombre de couples de 8 à 10 espèces confère à la roselière de l'estuaire de la Seine une importance nationale. Les populations de gorge bleue, de mésange à moustaches et de rousserolle effarvatte représentent une forte proportion des effectifs nationaux. Pour trois de ces espèces, faisant partie de l'annexe 1 de la directive Oiseaux 79/409/CEE (le butor étoilé, le gorge bleue, le busard des roseaux), les effectifs nicheurs dépassent même le seuil d'importance dans l'Union européenne.

La roselière joue un rôle important pour les fauvettes paludicoles lors de la migration postnuptiale puisque plusieurs milliers d'individus y stationnent chaque année. Durant cette période, le marais du Hode abrite également le migrateur le plus rare d'Europe : le phragmite aquatique. Le seuil d'importance de la CEE, pour cette espèce, est atteint dans l'estuaire de la Seine.

Il est donc important de maintenir d'importantes surfaces de roselière. Les espèces paludicoles ayant des besoins différents, il est également primordial de préserver une mosaïque hétérogène avec différents stades dynamiques de la roselière et différents niveaux d'inondation.

Utilisation des vasières de l'estuaire par le tadorne de Belon et populations d'invertébrés

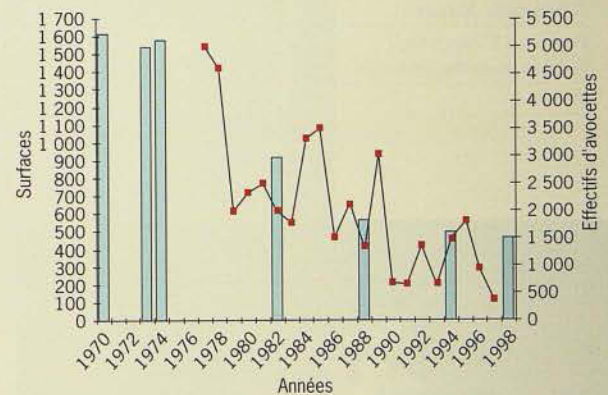
Il existe une corrélation importante entre le mode d'exploitation des vasières par le tadorne et la distribution de densités du zoobenthos. Les tadorne exploitent préférentiellement les parties haute et moyenne de la vasière et leur présence est accrue sur les secteurs de vasières les plus à l'ouest (si l'on excepte la CIM), la partie est de l'estuaire

étant très peu exploitée par cette espèce. Ces secteurs de vasières correspondent aux zones les plus riches en *Nereis diversicolor* et *Corophium volutator*, proies principales des tadorne de Belon et, en particulier, de ses poussins.

Évolution sédimentaire et variations d'effectifs hivernaux de trois espèces typiques des zones intertidales (avocette élégante, huîtrier-pie et canard pilet)

L'estuaire de la Seine est un site d'importance internationale par les effectifs hivernaux du canard pilet et de l'avocette et nationale pour l'huîtrier-pie. Un bilan des observations réalisées dans l'estuaire de la Seine depuis le milieu des années soixante-dix a été réalisé. La comparaison des effectifs dans l'estuaire de la Seine avec ceux dénombrés au niveau national dans le cadre du BIROE (Bureau international de recherche sur les oiseaux d'eau) permet d'interpréter les variations localement ou plus globalement. L'importance trophique de la vasière Nord pour chacune des trois espèces étudiées est estimée par des recensements à marée basse et à marée haute.

Les résultats montrent que seule l'évolution des effectifs d'avocette peut être corrélée à celle des surfaces de vasières en estuaire de la Seine (fig. ci-dessous). En effet, l'avocette est la seule espèce qui, à la fois, exploite de façon très importante la Grande Vasière Nord et connaît, dans l'estuaire de la Seine, une évolution inverse de celle observée au niveau national.



Histogramme : surfaces de vasières (en hectare). Courbe : effectifs maximums d'avocettes notés entre novembre et janvier. Les années indiquées en abscisse correspondent à des recensements de novembre et décembre.

La surface de vasière est passée de plus de 1500 ha au début des années soixante-dix à 460 ha en 1998. Cette réduction des vasières s'est accompagnée d'une baisse globale très importante des effectifs d'avocette. Durant l'hiver, l'estuaire pouvait parfois accueillir près de 5000 individus en 1977 et 1978; en 1984 et 1985, ces effectifs se situaient aux alentours de 3400. Depuis 1990, ils n'ont plus dépassé 1900 individus et le minimum a été noté lors du dernier hiver pris en compte (1997-1998) avec moins de 400 individus.

La situation du râle des genêts dans la basse vallée de la Seine

Le râle des genêts est identifié par Bird Life international comme l'une des 27 espèces européennes globalement menacées d'extinction à l'échelon mondial. Au cours du XX^e siècle, l'espèce a régressé dans la plupart des pays européens. En France, la population nicheuse de râle des genêts a chuté de 40 % entre 1983-1984 et 1991-1992 (Broyer, 1994). Depuis, elle semble s'être stabilisée (Deceuninck & Broyer, 1998) et certaines régions voient leur population augmenter grâce à la mise en place de mesures de conservation.

En vallée de Seine, la situation du râle des genêts est très préoccupante. Les principales causes de sa régression sont (1) la diminution des surfaces en prairies humides et (2) les changements des pratiques agricoles sur les prairies qui subsistent. Le premier facteur est lié à l'extension de la culture du maïs ou des peupleraies, voire à l'abandon des exploitations sur les terres les plus difficiles qui s'enfri-

chent. Le second facteur est lié aux dates de fenaison qui sont de plus en plus précoces, entraînant la destruction des nichées, voire des adultes. Le tableau donne une idée de l'évolution des effectifs de râle des genêts pour les treize dernières années dans les principales zones de prairies humides de la vallée de la Seine en aval de Rouen.

L'ensemble des prairies de la vallée de la Seine représente une forte potentialité pour l'installation du râle des genêts. Pour éviter la disparition totale de l'espèce dans la vallée, on peut proposer : (1) de retarder les dates de fauche (jusqu'au 15 ou 20 juillet); (2) de pratiquer la coupe depuis le centre vers l'extérieur de la parcelle (ceci favorise la fuite des nichées et des adultes puisqu'ils ne sont alors plus obligés de quitter le couvert végétal) et non la fauche classique (de l'extérieur vers le centre). Des aides financières incitatives ont été proposées aux agriculteurs exploitant les prairies humides du marais du Hode, dans la réserve naturelle de l'estuaire de la Seine.

Nombre de mâles chanteurs de râle des genêts dans les différents secteurs favorables de la vallée de la Seine.

Année	1987	1992	1994	1995	1996	1999
Site						
Estuaire de la Seine (Hode + Saint-Samson-de-la-Roque)		10-11	6-7 +	13-15+	12-15+	2
Marais Vernier		0		0	0	
Marais de Petitville		0		0	0	
Prairies de Brotonne		1		1	1?	
Marais de Jumièges		1+		6 à 8	3	1
Prairies de la boucle d'Anneville-Mauny		2-10		0	0?	
Prairies d'Hénouville - St-Martin-de-Boscherville		5-10		12 à 18	10-12	3+
Total	50-60	19 à 33+	?	32 à 42	?	6+



Avocette.

L'étude de la distribution des oiseaux nicheurs dans la vallée de la Seine souligne à quel point un même espace hétérogène peut être perçu par différentes espèces. Chaque espèce, en fonction de sa biologie, exploite une portion variable de paysage selon sa propre perception de l'espace. Selon l'échelle d'analyse, ce sont des facteurs différents qui

servent à expliquer la distribution des espèces. Les données permettent d'illustrer la notion de dépendance entre échelle d'analyse et facteur explicatif (fig. 8).

À l'échelle de la région, sur un échantillonnage couvrant une aire de 50 mailles de 3 km x 2,3 km (Trémauville, 1992), l'analyse distingue des cortèges d'oiseaux en fonction des grands modes d'occupation de l'espace : forêts, bocages, lieux de pression humaine forte, zones humides. Elle permet de recenser toutes les espèces présentes sur l'ensemble des habitats de la basse vallée de la Seine : c'est le pool d'espèces régional qui comprend aussi bien des espèces généralistes (moineau domestique...) que des espèces spécialistes (butor étoilé, râle des genêts...). Les analyses statistiques (méthodes multivariées) permettent de corrélérer à cette échelle grossière les espèces et les paysages. On définit ainsi des groupes écologiques* à l'intérieur du pool régional d'espèces.

À l'échelle d'une zone humide (le marais du Hode), sur un échantillon couvrant une aire de 75 mailles de 500 m x 500 m, la répartition des espèces se fait selon la configura-

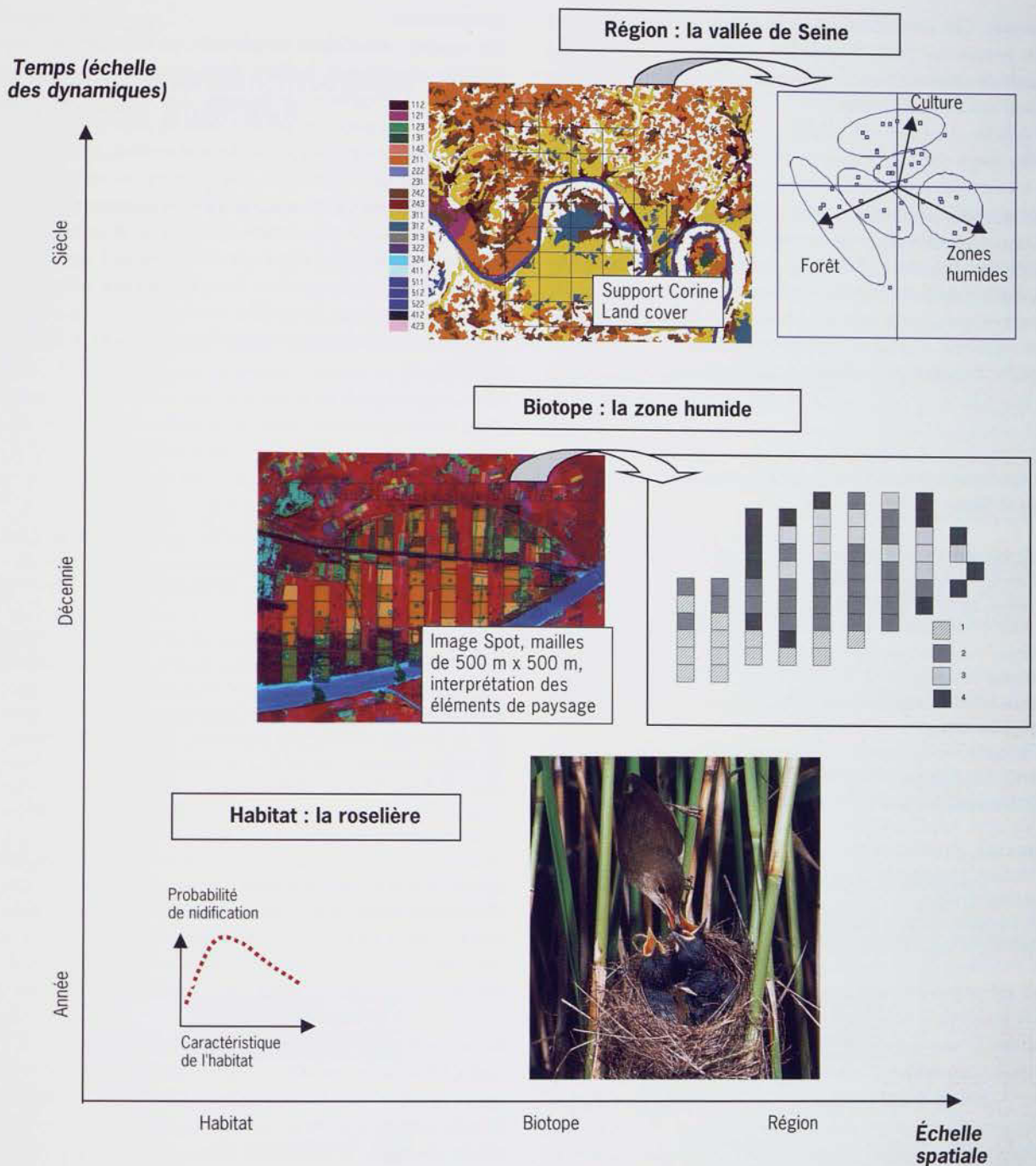


Figure 8 - Facteurs écologiques contrôlant la distribution de l'avifaune à diverses échelles d'espace et de temps dans la vallée de la Seine. Les facteurs qui contrôlent la distribution des oiseaux peuvent s'appréhender à trois niveaux hiérarchiques. La vallée de la Seine est le cadre général, ses grands ensembles paysagers déterminent la répartition régionale des espèces. La zone humide est une mosaïque d'habitats, la configuration spatiale de ces habitats détermine la capacité d'accueil de ce biotope. L'habitat est le niveau limitant dont les caractéristiques expliquent la probabilité de développement des espèces.

tion et la composition des éléments du paysage (haies, rivières, fossés, cultures, roselières). Les méthodes statistiques permettent, là encore, de mettre en relation gradients de paysage et répartition d'espèces. À cette échelle, c'est la nature de l'occupation mais aussi la structure de la mosaïque paysagère (grain, hétérogénéité, richesse) qui expliquent la distribution des espèces. De nouveaux groupes écologiques d'oiseaux sont ainsi définis, en rapport

avec ces facteurs à ces échelles. Les corrélations établies permettent de construire des modèles statistiques couplant l'organisation des communautés d'oiseaux avec la dynamique du paysage.

Ce type de méthode spatialement explicite permet de délimiter dans une zone étudiée des ensembles paysagers possédant les mêmes caractéristiques structurales (occupation des sols, mosaïque paysagère...) pour les groupes écologiques

d'oiseaux. Ces ensembles constituent une échelle fonctionnelle pertinente pour l'étude des populations pendant la période de reproduction et trouvent leur application dans la gestion des zones humides.

À l'échelle d'un habitat, d'une roselière par exemple, des études faites dans le marais du Hode permettent d'identifier les facteurs locaux qui conditionnent la nidification des espèces (durée d'inondation, hétérogénéité de la roselière). Ces résultats, obtenus à différentes échelles, mettent en évidence, pour l'avifaune de la basse vallée de la Seine, la nécessité d'une gestion à plusieurs niveaux des populations. Ils montrent qu'il ne s'agit pas seulement de préserver certaines qualités locales d'un habitat (la roselière) mais bien de gérer, à toutes les échelles, un pool donné d'espèces.

Les poissons

Les vasières intertidales constituent un élément important pour les nurseries de bars, flets, soles, merlans, harengs, mullets... de l'estuaire de la Seine. Les surfaces de vasières les plus importantes se situent dans la fosse Nord de l'estuaire, sur la réserve naturelle. Le zoobenthos, très abondant dans ce type de milieu, constitue en effet un compartiment biologique largement exploité par ces jeunes poissons, au même titre que le suprabenthos, crevettes et gobies, également abondant dans la fosse de flot Nord de l'estuaire. Celle-ci est également un lieu de passage de poissons migrateurs comme l'anguille, les lamproies, la truite de mer, l'éperlan, espèces en forte régression dans le bassin de la Seine.

Populations d'amphibiens dans le paysage de la vallée de la Seine

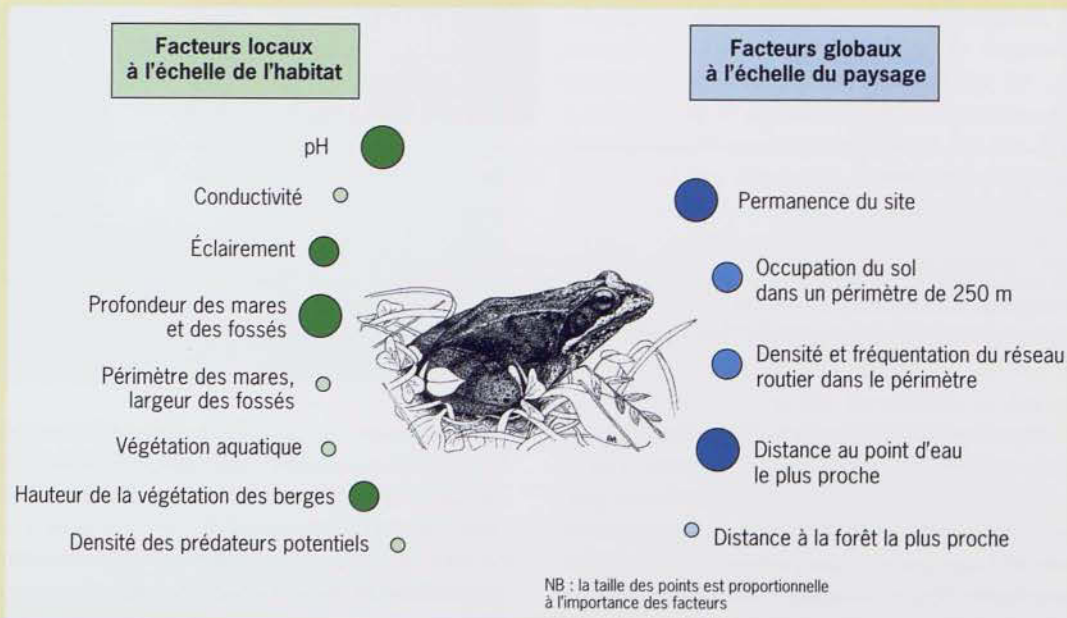
De nombreux amphibiens sont inféodés à des sites aquatiques (mares, fossés) pour leur reproduction et vivent en milieu terrestre pendant le reste de l'année (bords de mare, bois). Une étude de la distribution de six espèces d'amphibiens, comprenant des tritons et des grenouilles, dans un marais de la vallée de la Seine a révélé l'importance de facteurs liés à la configuration du paysage pour le maintien des populations.

L'abondance des espèces a été estimée par des pêches sur 34 sites aquatiques. Le paysage encerclant chaque site sur un rayon de 250 m a été décrit ainsi que le degré d'isolement des sites (accessibilité, distance au point d'eau le plus proche). Parallèlement, les facteurs locaux du milieu qui rendent compte de la qualité physico-chimique des sites ont été évalués.

À l'échelle du site, les premiers facteurs expliquant l'abondance des espèces sont les qualités de l'eau (les mares et les

fossés récemment curés sont pauvres en espèces) et du couvert végétal (les grenouilles notamment occupent de préférence les sites ombragés bordés de hautes herbes).

Plus un site est « accueillant » (l'ensemble des facteurs locaux sont favorables à l'espèce), plus les espèces y seront potentiellement abondantes. Mais l'abondance des espèces dans un site dépend aussi de sa position spatiale dans le paysage, tel qu'il est perçu par l'amphibien. L'amphibien perçoit le paysage comme une mosaïque de taches d'habitats, ces taches pouvant être favorables, neutres ou hostiles à l'espèce. À cette échelle, la distance à la mare la plus proche constitue un facteur important qui influence la présence et l'abondance des populations dans un site donné. Plus il y a de mares avoisinantes, plus les espèces sont abondantes. La densité routière constitue aussi un facteur important. On observe beaucoup moins d'espèces dans les sites à fort trafic routier (notamment pour les populations de tritons).



Les facteurs intervenant dans la distribution des amphibiens en vallée de la Seine (boucle d'Hénouville).

Chapitre IV

Pour une gestion intégrée des zones humides

Une politique cohérente de conservation des zones humides doit reposer à la fois sur leur évaluation écologique et sur des outils de protection et de gestion. Les zones humides de la basse Seine sont concernées par un éventail de dispositions à vocation conservatoire des espèces patrimoniales et des milieux (Levy-Bruhl & Coquillard, 1998). À ces dispositions, nationales ou européennes, s'ajoute un ensemble de mesures de protection des ressources ou des paysages, voire de mesures agri-environnementales à destination des agriculteurs (Chaib & Lecomte, 1998). Ces outils constituent une étape importante dans la mise en place d'une politique de préservation, puis de gestion, voire de restauration des zones humides (RIOE, 1996).

Les mesures de sauvegarde

Acquisitions foncières du Conservatoire de l'espace littoral et des rivages lacustres (CELRL)

L'acquisition de portions de rivages marins ou lacustres présentant un intérêt biologique et paysager vise à les soustraire de la spéculation immobilière. Le CELRL, créé en 1975, a récemment acquis des terrains en basses vallées de la Seine et de la Risle.

Réserves naturelles

Les objectifs d'une Réserve naturelle (RN) sont énumérés dans la loi du 10 juillet 1976 relative à la protection de la Nature.

La Réserve naturelle volontaire (RNV) concerne des propriétés privées présentant un intérêt scientifique et écologique.

En basse vallée de la Seine, deux réserves naturelles ont été créées : la RN des Manneville, créée en 1994 sur 93 hectares ; la RN de l'estuaire, créée en 1999 sur 3 760 hectares. Deux RNV concernent également ce secteur, sur les courtils de Bouquelon dans le marais Vernier et le vallon du Vivier à Tancarville.

Réserves de chasse

Deux réserves de chasses mitoyennes ont été créées dans l'estuaire de la Seine à l'initiative de l'Association de chasse sur le domaine public maritime (ACDPM). Elles viennent s'ajouter aux réserves cynégétiques du marais Vernier : celles de l'ONC et de la Ferme modèle.

Arrêté préfectoral de protection de biotope

L'arrêté fixe les mesures qui doivent permettre la conservation des biotopes d'espèces protégées. Deux arrêtés de biotope ont été pris en basse Seine, l'un à Quillebeuf-sur-Seine, l'autre sur le marais de Saint-Wandrille.

Zones importantes pour la conservation des oiseaux

Ces sites (285 sur le territoire français) présentent un intérêt particulier pour une ou plusieurs espèces d'oiseaux (mentionnées dans l'annexe 1 de la directive Oiseaux ou espèces migratrices) et servent de base à la création des ZSC.

Zones spéciales de conservation

Les zones spéciales de conservation (ZSC) sont désignées en application de la directive communautaire du 21 mai 1992 (directive Habitats) concernant la conservation des habitats naturels, de la faune et la flore sauvages.

Zones de protection spéciale

Les zones de protection spéciale (ZPS) sont désignées en application de la directive communautaire du 2 avril 1979 concernant la conservation des oiseaux sauvages, (directive Oiseaux, CEE 79/409).

L'ensemble de ces directives européennes constitue à terme la base pour la définition du Réseau Natura 2000.

Sites classés et inscrits

Les sites classés ou inscrits s'affichent comme des sites de caractère artistique, historique, scientifique, légendaire ou pittoresque.

Zones naturelles d'intérêts écologique, floristique et faunistique de types 1 et 2

L'inventaire des Zones naturelles d'intérêts écologique, faunistique et floristique (Znieff) décrit la plupart des sites d'intérêt patrimonial pour les espèces vivantes et les habitats. Les Znieff de type 1 correspondent à des sites d'une superficie en général limitée, caractérisés par la présence d'espèces ou de milieux rares, remarquables ou caractéristiques du patrimoine naturel national ou régional.

Les Znieff de type 2 correspondent à de grands ensembles naturels (massif forestier, vallée, plateau, estuaire) qui offrent des potentialités biologiques importantes. Elles peuvent inclure plusieurs Znieff de type 1 ponctuelles.

La Znieff est progressivement devenue une mesure intervenant dans de multiples procédures, même si elle n'a pas de portée juridique directe.

Application au secteur aval de l'estuaire de la Seine

La cartographie de ces dispositions réglementaires ou incitatives a été réalisée dans le secteur aval de l'estuaire de la Seine. Toutes les informations ont été collectées auprès des organismes concernés, harmonisées et mises en cohérence afin d'alimenter une base de données géographiques (BDG, estuaire de Seine).

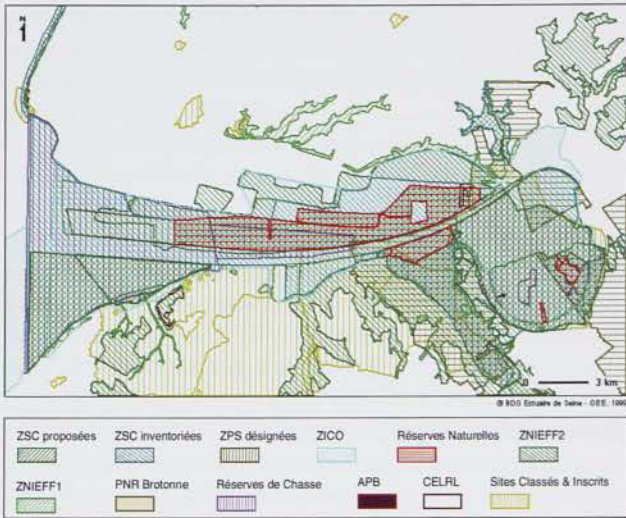


Figure 9 - Les mesures de protection dans le secteur aval de l'estuaire de la Seine. Zone spéciale de conservation = ZSC [date de collecte : 1997 - Précision géométrique : 20 m]. Zone de protection spéciale désignée = ZPS [date de collecte : 1997 - Précision géométrique : 20 m]. Zone d'intérêt communautaire pour les oiseaux = ZICO [date de collecte : 1992 - Précision géométrique : 50 m]. Zone naturelle d'intérêts écologique, floristique et faunistique de types 1 et 2 = ZNIEFF1/ZNIEFF2 [date de collecte : 1997 - Précision géométrique : 20 m]. Parc naturel régional = PNR [date de collecte : 1997 - Précision géométrique : 20 m]. Arrêté de protection de biotope = APB [date de collecte : 1998 - Précision géométrique : 10 m]. Acquisition foncière du Conservatoire de l'espace littoral et des rivages lacustres = CELRL [date de collecte : 1999 - Précision géométrique : 10 m]. Réserves naturelles [date de collecte : 1998 - Précision géométrique : 10 m]. Réserves de chasse [date de collecte : 1997 - Précision géométrique : 20 m]. Sites inscrits et classés [date de collecte : 1998 - Précision géométrique : 20 m].

La superposition de strates d'information au sein de la BDG révèle l'existence de 12 types de mesures incitatives et réglementaires dans le secteur (fig. 9). Cela traduit implicitement la richesse patrimoniale du milieu mais également le « trop-plein » juridique qui lui correspond, d'où la nécessité d'une harmonisation du droit français dans ce domaine.

Un croisement topologique de ces couches d'information permet l'identification et la classification de secteurs en fonction du cumul des mesures. L'objectif est de générer une nouvelle strate d'information qui synthétise les connaissances afin de traduire une autre facette de la réalité (fig. 10). Un tel diagnostic affiche avec plus de pertinence le patrimoine naturel reconnu en estuaire aval et révèle l'importance des zones intertidales et des plaines alluviales (basse vallée de la Risle, marais du Hode, marais Vernier). Le précédent croisement topologique est enrichi par l'ajout d'une information relative au niveau de protection juri-

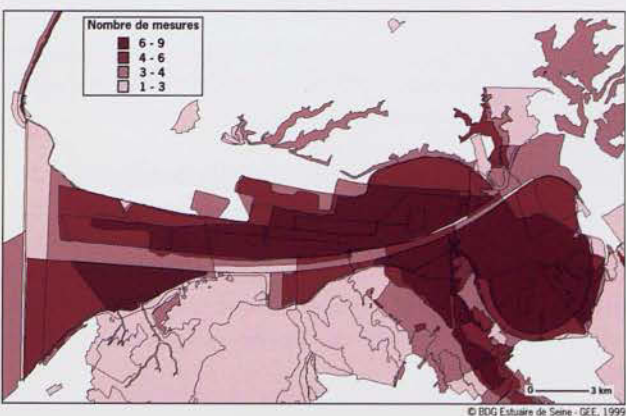


Figure 10 - Le cumul des mesures incitatives et réglementaires en estuaire de Seine.

dique de ces zones; il en découle une classification des secteurs en fonction de leur degré de protection cumulé (fig. 11). Ce diagnostic territorial complète la précédente carte en synthétisant commodément les contraintes environnementales du territoire estuarien. Une telle synthèse offre également l'avantage de représenter des unités homogènes de contraintes environnementales en s'affranchissant des limites administratives, ce qui est plus cohérent lorsque l'on appréhende l'environnement de façon globale à l'échelle estuarienne (Bourcier *et al.*, 1999). La « surprotection » dont fait l'objet l'estuaire de la Seine n'est pas pour autant une garantie de sa pérennité...

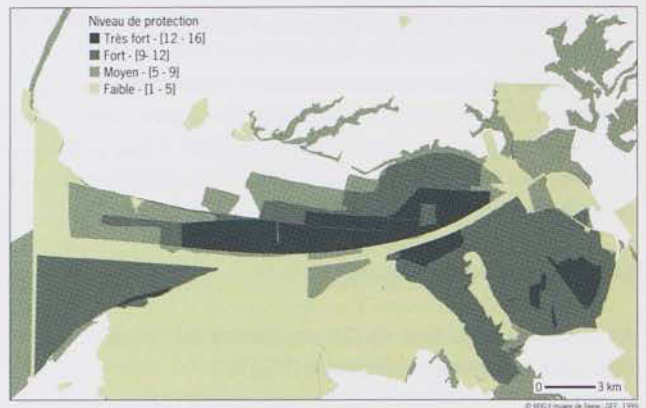


Figure 11 - Les niveaux de protection du patrimoine naturel en estuaire de Seine.

Les conflits d'usages dans les zones humides

Les conflits d'usages au sein des zones humides mettent en œuvre une pluralité d'acteurs : autorités portuaires, agriculteurs, chasseurs, coupeurs de roseaux, écologues, pêcheurs, gestionnaires de la réserve naturelle... La plupart du temps, les conflits d'usages sont générés par la gestion de l'eau, élément très convoité ou au contraire redouté. La présence des grands équipements constitue un autre sujet de conflits.

Appréhension hydrologique des conflits d'usages

Dépositaires de la gestion des terrains du domaine public maritime, les ports entretiennent la chenalisation et les endiguements qui ont une répercussion majeure sur la dynamique et le caractère hydromorphe des zones humides de l'ensemble de la basse vallée. Les projets de développement des ports constituent à ce titre un enjeu écologique autant qu'économique (voir fascicule « Patrimoine biologique et chaînes alimentaires »). Plus localement, les conflits d'intérêts entre les différents utilisateurs relatifs à la gestion du niveau d'eau ont également des répercussions sur la dynamique des zones humides. Les agriculteurs utilisent l'eau essentiellement pour les cultures, par exemple le maïs fourrager, mais aussi pour l'élevage dont les besoins sont parfois contradictoires. Les impératifs des chasseurs s'opposent au calendrier des agriculteurs. Il est important pour eux que le niveau d'eau soit élevé dans les gabions de l'estuaire pendant la période de chasse car ce sont des lieux

d'alimentation, de nidification (en bordure) et de repos pour certains oiseaux (notamment les canards). Les naturalistes préfèrent également les zones de prairies inondées pendant l'hiver et surtout au cours du printemps pour favoriser le stationnement et la nidification des anatidés et des limicoles. Quant aux coupeurs de roseaux, leur souhait est qu'il y ait, en hiver et surtout au printemps, 10 cm d'eau minimum afin de favoriser la pousse du roseau. Néanmoins, durant la coupe, qui débute dès les premières gelées de décembre et qui prend fin le 15 mars, les coupeurs souhaitent que la roselière soit hors d'eau pour permettre l'accès

du site aux engins mécaniques (camions, chenillettes...). Les conséquences écologiques de telles pratiques ne sont pas négligeables pour la biodiversité et l'intérêt patrimonial des milieux. Il en est de même pour leur capacité d'accueil de la faune marine, leur rôle de nurseries, lieux de nourrissage et de croissance essentiels pour le développement de nombreux poissons (sole, turbot, plie, bar...), crustacés et mollusques. Les conflits qui mettent en scène les pêcheurs les opposent généralement aux agriculteurs, notamment sur le plan des pollutions générées par l'utilisation d'engrais, néfastes aux poissons.

La réserve naturelle de l'estuaire de la Seine

La création

Créée par décret ministériel le 30 décembre 1999, la réserve naturelle de l'estuaire de la Seine s'étend sur une surface de 3 760 ha sur la rive droite et la rive gauche de la partie aval de l'estuaire. Sa création fait suite aux travaux préparatoires à la Directive territoriale d'aménagement (DTA) de l'estuaire de la Seine ainsi qu'à l'instauration de Zones de protection spéciale (ZPS) et de Zones spéciales de conservation (ZSC) dans le cadre des directives européennes Oiseaux et Habitats. Placée sous l'autorité du préfet, la réserve naturelle est dotée d'un comité consultatif (élus, usagers, associations, experts scientifiques) et d'un comité scientifique. L'association « la Maison de l'estuaire » a été désignée comme gestionnaire en avril 1999. Une équipe de six personnes a été recrutée, avec des missions de suivi scientifique, de surveillance, d'accueil du public et d'élaboration du plan de gestion de la réserve.

Des milieux, des espèces, des fonctions écologiques

La réserve naturelle comprend les milieux représentatifs de l'estuaire et de la plaine alluviale : chenaux de marée, vasières intertidales, dune embryonnaire, schorres* et roselières, prairies humides subhalophiles ou non. Ces milieux sont d'un très grand intérêt écologique, du fait des espèces qu'ils recèlent et des fonctions écologiques qu'ils assurent vis-à-vis de l'avifaune, des poissons et de la transformation des apports de nutriments et micropolluants provenant de l'amont.

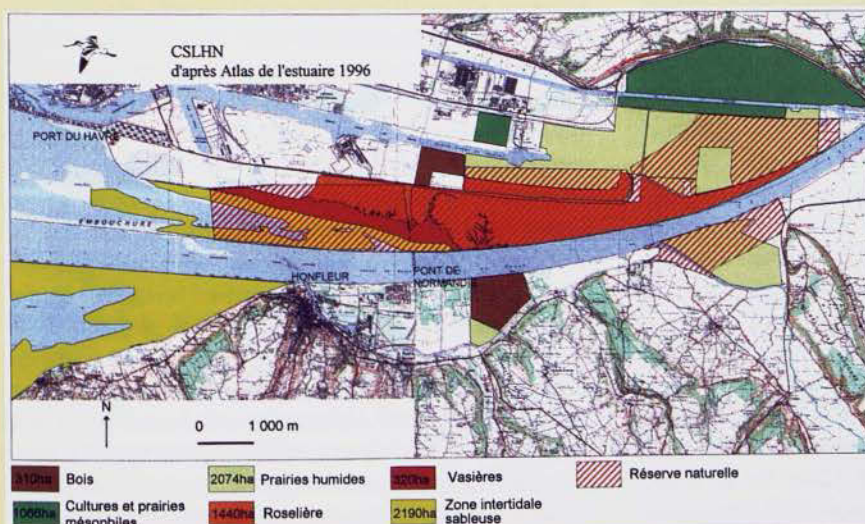
La réserve abrite des espèces menacées de disparition, comme le râle de genets, le butor étoilé, ou vulnérables, comme le hibou des marais, le busard des roseaux... Les zones de gagnage, de chasse, de repos et de reproduction, indispensables à la présence de ces espèces, correspondent à des milieux différents et il est primordial de maintenir leur diversité, leur complémentarité et leur tranquillité par une gestion appropriée.

Un plan de gestion indispensable aux milieux

Chacun des milieux nécessite la mise en place d'une gestion spécifique définie en fonction d'objectifs écologiques précis avec l'appui du conseil scientifique et d'experts : gestion des niveaux d'eau et réorientation des pratiques agricoles dans les prairies, introduction du pâturage extensif dans la roselière, adaptation de l'exploitation des roseaux et des pratiques de chasse, mesures pour la conservation et l'extension des vasières intertidales.

Une concertation au sein du comité consultatif est nécessaire avec les autres usagers de l'estuaire dont les activités, bien qu'en dehors de la réserve, peuvent avoir une influence sur elle : projet Port 2000, digues et dragages du port de Rouen, activités industrielles...

Le plan de gestion doit être présenté, pour approbation, au ministère de l'Environnement et au Conseil national pour la protection de la nature (CNPN).



La réserve de l'estuaire de la Seine : les principales formations végétales.



Coupeur de roseaux.

Les conflits d'usages liés aux implantations d'équipements

Les ports, outre les activités portuaires, ont pour vocation de louer les terrains aux industriels, d'attribuer les lots et les concessions aux agriculteurs, aux coupeurs de roseaux, aux chasseurs et veillent ainsi au maintien d'activités directement liées au milieu estuarien. De plus, les ports veulent mettre hors d'eau les terrains dont ils ont la charge de façon à pouvoir implanter librement des complexes voués à la logistique et des installations industrielles.

L'implantation de nouvelles infrastructures suscite des réactions généralement négatives à la fois des utilisateurs et des protecteurs des milieux naturels, qu'il s'agisse de la qualité des milieux (biodiversité, gibier) ou de celle des ressources exploitées (pêche, agriculture).

La gestion et la restauration écologique des zones humides

Quelques principes méthodologiques

La gestion ou la restauration écologique des zones humides suppose d'identifier le ou les écosystème(s) préexistant(s) pouvant servir d'état(s) de référence, de cerner les modalités de dégradation à court et moyen termes de ces écosystèmes, de comprendre enfin leur dynamique sous l'effet des facteurs environnementaux. L'évaluation de la biodiversité actuelle et potentielle d'un site permet de définir le plan de gestion, de restauration ou de réhabilitation*. Mais, plus généralement, le diagnostic et l'identification des états de référence sont des étapes qui nécessitent une approche hiérarchique pour préciser les enjeux en termes de biodiversité. La connaissance du pool d'espèces régionales est aussi importante que celle des espèces incluses dans le périmètre à gérer ou à restaurer. Les problèmes d'un lien spatial ou fonctionnel entre les populations animales ou végétales à l'extérieur des sites gérés sont d'importance comparable aux problèmes de la gestion dans les sites eux-mêmes. Si la gestion au quotidien est interne au site, le raisonnement qui la motive doit s'appuyer sur des connaissances locales et sur des références historiques (qu'y avait-il avant?) ou spatiales (qu'y a-t-il autour?).

La définition de l'objectif de gestion ou de restauration doit être fonctionnelle autant que structurelle. On doit réfléchir à la structure de l'écosystème visé (sa richesse, sa composition) mais également à son fonctionnement et sa dynamique. Cherche-t-on à produire des formes d'organisation durables de la végétation à forte cohérence écologique en répétant les mêmes pratiques de gestion année après année, cherche-t-on à fixer une mosaïque correspondant à un niveau donné d'hétérogénéité ou vise-t-on à favoriser les mécanismes de non-équilibre en variant les pratiques et les types de perturbation et en gérant des mosaïques changeantes d'habitats?

Les conséquences de ce choix ne sont pas neutres. La reconstitution d'habitats de référence « historique » visera la durabilité du système, en équilibre avec des modalités de gestion particulières (des pratiques extensives). Créer des systèmes dynamiques, c'est autoriser les processus démographiques d'extinction mais en misant sur des probabilités de colonisa-

tion qui ne sont pas nécessairement assurées. Un des critères essentiels du choix de gestion ou de restauration d'un site repose en grande partie sur la taille du site, l'environnement de ce site à l'échelle du paysage et sur son histoire.

La notion de milieu « naturel »

Le débat entre milieux naturels et milieux anthropisés, entre les différents outils de gestion est loin d'être clos au sein des gestionnaires d'espaces naturels. On est pourtant obligé de constater que le choix d'un état de référence ne peut généralement pas reposer sur le caractère « naturel » d'un milieu ou d'une pratique. L'origine et l'histoire des zones humides de la basse Seine ont montré que beaucoup de ces zones inondables, issues des épisodes d'accumulation de la transgression flandrienne, voire pour les plus récents des endiguements du fleuve au XIX^e siècle, ont connu très tôt une utilisation humaine puis une vocation agricole. Trois remarques peuvent donc être formulées : (1) les sites de marais sont des milieux façonnés par les hommes depuis des siècles, voire davantage, certaines zones ayant été remarquablement stables depuis la fin de la transgression; (2) ces sites s'inscrivent dans un espace stabilisé et fragmenté depuis l'occupation humaine; (3) l'état actuel des zones humides, de même que les espèces qui les occupent, sont fortement influencées par cette histoire du fait de l'inertie des effets de certaines pratiques (disparition historique d'espèces, rémanence de pratiques agricoles anciennes, fragmentation des paysages, contamination des chaînes trophiques).

Bien plus que sur le caractère prétendument naturel d'une zone humide, c'est donc sur la composition (espèces patrimoniales), l'originalité, voire l'organisation interne qui conditionnent son fonctionnement écologique que doit reposer la gestion ou la restauration écologique. Il s'agit bien de gérer ou restaurer un système écologique dans le contexte actuel de la basse vallée de la Seine, anthropisé, fragmenté et stabilisé. Si la plupart des projets de restauration de zones humides alluviales se basent sur le concept d'« espace pour les rivières » (Nienhuis *et al.*, 1998), une telle notion dans la vallée de la Seine s'accorde mal avec son contexte géomorphologique, l'utilisation historique par l'agriculture et les pressions actuelles industrielle et urbaine. Le choix est donc limité entre un système de référence idéal « naturel », représenté par des écosystèmes riverains perturbés par le fleuve, et des systèmes historiques, références plus récentes, profondément marqués par l'agriculture qui a façonné les paysages traditionnels de la basse vallée de la Seine. Ces derniers restent pourtant l'hypothèse de restauration la plus tangible (en termes de pool d'espèces mais aussi de « patrimoine culturel ») pour la majeure partie de la basse vallée de la Seine (Poudevigne *et al.*, 2001), hormis cependant l'estuaire marin où la dynamique hydrosédimentaire doit rester prépondérante.

Les contraintes induites par la navigabilité, la conservation de terres agricoles, la contamination du fleuve et des zones intertidales rendent difficile la restauration de véritables systèmes riverains dans les boucles de la Seine. Cette restauration est plus accessible dans l'estuaire marin bien que s'ajoutent ici d'autres contraintes (extension portuaire notamment).

Expérience de comblement de ballastière

L'extraction des granulats alluvionnaires comme l'ouverture de chambres de dépôts pour les boues de dragage, s'est faite au détriment des zones humides de la vallée de la Seine. Il en résulte un paysage perforé de nombreuses ballastières dont les plus grandes servent de bases de loisirs, d'étangs de pêche ou de réserves d'oiseaux aquatiques.

C'est pourquoi, depuis une vingtaine d'années, les associations de protection des milieux naturels réclament que les sédiments dragués par le port autonome de Rouen soient déversés dans les ballastières afin de créer de nouvelles zones marécageuses à forte biodiversité.

Cette idée, longtemps refusée en invoquant des motifs économiques et techniques, a néanmoins fait son chemin car une première expérience, supervisée par le Service de l'eau

et des milieux aquatiques de la Diren de Haute-Normandie, a vu le jour en 1999 sur le site d'Yville-sur-Seine : les boues liquides récoltées par la drague du port autonome de Rouen sont refoulées dans des canalisations de plus d'un kilomètre, depuis un appontement et jusqu'à la ballastière, où elles sont dispersées.

Cette opération devrait se poursuivre jusqu'en 2002 et pourrait être étendue à d'autres plans d'eau si l'expérience s'avère concluante.

Il reste cependant à déterminer le type de zone humide auquel on souhaite aboutir *in fine*. À ce sujet, les avis sont partagés, ce qui illustre parfaitement comment l'aspect paysager et la biodiversité des milieux qualifiés de « naturels » reposent en fait sur les options de gestion qui s'y appliquent.

La gestion des zones humides par le pâturage : une étude de cas

La gestion des zones humides par le pâturage extensif est menée dans de nombreuses réserves naturelles (Lecomte *et al.*, 1995). L'hypothèse qui sous-tend cette démarche est celle de la perturbation intermédiaire* développée en écologie des communautés (Grime, 1973), qui fait correspondre les plus hauts niveaux de biodiversité aux écosystèmes moyennement perturbés. Cette hypothèse, appliquée aux pratiques agricoles et au pâturage, se traduit par une conduite de l'herbage dans un domaine normal d'utilisation (Balent *et al.*, 1999) pour stabiliser un stade jugé optimal et éviter de conduire le système aux extrêmes (surpâturage par excès d'animaux ou enrichissement par abandon). La dynamique d'un tel système s'apparente davantage à celle des systèmes agricoles pilotés par les pratiques de gestion. Même si l'objectif principal est la stabilisation d'une mosaïque et d'un niveau de biodiversité donné (plutôt que l'entretien d'une ressource fourragère), le principe de cette gestion repose en général sur la recherche d'un équilibre « pratique-milieu ». Si l'on considère que la plupart des systèmes écologiques riverains tendent à fonctionner hors équilibre et à osciller entre les extrêmes (Huston, 1994), le choix de la perturbation intermédiaire par le pâturage, s'il augmente la biodiversité, ne restaure pas la « naturalité » de l'écosystème riverain (Lecomte, 2001). Ce dernier devrait, de par sa définition même, être avant tout conditionné par les perturbations dues au fleuve et non contrôlé par le pâturage. Il s'agit bien d'un écosystème de substitution dont le choix est basé sur une référence historique plutôt que sur un écosystème initial.

L'expérience dans la gestion des zones humides de l'estuaire aval

L'estuaire aval et son histoire récente fournissent une bonne illustration de ce choix conceptuel. Dans ce secteur, les prairies marécageuses inondables, exploitées pour l'élevage ou le fourrage furent progressivement délaissées par l'agriculture car considérées comme peu productives, après des tentatives infructueuses d'intensification agricole. L'aban-

don se traduit après quelques années par une perte de biodiversité liée à un processus d'enfrichement puis de boisement progressif par le saule et le bouleau.

Cette dynamique spontanée entraînait la disparition progressive des prairies humides avant que ne soit initiée dans le marais Vernier, à la fin des années soixante-dix, une expérience de restauration et d'entretien de ces milieux. La première initiative fut lancée en 1979, par le Centre de découverte de la nature et le Groupe mammalogique normand, sur la réserve naturelle des Manneville dans le marais Vernier (27), gérée par le Parc naturel régional de Brotonne. Elle a consisté à introduire dans une prairie tourbeuse jouxtant l'étang de la Grand-Mare, à l'abandon depuis 10 à 15 ans, des bovins de race Highland cattle, choisis pour leur forte rusticité et leur adaptation à la fois aux milieux inondés et aux climats froids et pluvieux.

Cette expérience de pâturage extensif permanent s'est rapidement révélée concluante pour restaurer une forte biodiversité dans ces zones marginalisées par l'agriculture, avec pour principales conséquences l'ouverture du paysage, la création d'une mosaïque complexe permettant la (ré)apparition d'espèces végétales à forte valeur patrimoniale (orchidées), l'accroissement de la richesse spécifique (flore et faune). Une seconde opération a été réalisée sur une parcelle voisine avec des chevaux camarguais ; elle a montré un impact différent sur le milieu végétal et la biodiversité par rapport aux bovins.

Les premières expériences conduites dans le marais Vernier ont été étendues à d'autres zones humides de la basse vallée de la Seine qui sont gérées par le pâturage bovin et/ou équin, en mode extensif. C'est notamment le cas depuis de nombreuses années du marais de Saint-Wandrille-Rançon (76), de la prairie tourbeuse du vallon de Rogerville (76), gérés par le Conservatoire des sites naturels de Haute-Normandie.

Les suivis scientifiques ont conforté l'intérêt des grands herbivores comme outils pertinents pour la gestion conservatoire de divers types de zones marécageuses de la basse vallée de la Seine. Cependant, ce type d'expérimentation a apporté des résultats plus nuancés dans d'autres

régions. L'exemple de la réserve naturelle du marais de Lavours (Morand *et al.*, 1994) soulève l'un des principaux problèmes auxquels sont confrontés la plupart des gestionnaires, à savoir la conciliation d'objectifs parfois contradictoires, voire incompatibles sur le plan écologique, l'augmentation de la richesse spécifique globale pouvant masquer la disparition d'espèces patrimoniales particulières.

Il reste que la perturbation induite par cet outil ne couvre pas, loin s'en faut, la gamme complète des perturbations rencontrées naturellement en zone alluviale. Dans l'embou-

chure de la Seine et dans le contexte de la réserve naturelle de l'estuaire de la Seine, des chevaux camarguais ont été introduits à titre expérimental pour l'exploitation et l'ouverture de certaines surfaces de l'immense roselière qui s'est développée en bordure de la zone intertidale au détriment de la Grande Vasière. Mais le problème du maintien de la Grande Vasière est évidemment d'une autre ampleur et passe par une maîtrise, voire une réversibilité de l'endiguement et un suivi précis de la dynamique de cet ensemble primordial pour l'intérêt écologique de l'estuaire.

Suivi de l'évolution de la Grande Vasière par télédétection basse altitude

Méthode

Il est possible de suivre l'évolution de la Grande Vasière avec précision grâce à une cartographie réalisée à partir de clichés effectués entre 300 et 600 m d'altitude. Les données photographiques sont intégralement numérisées, soit à la prise de vue, soit après scannérisation du film argentique. À ce stade, chaque pixel des images représente un peu plus de 40 cm sur le terrain. Ensuite, ces images traitées sont assemblées numériquement. Le document obtenu est alors interprété grâce aux contours observables et aux données radiométriques. Par ailleurs, le repérage de points d'amer invariants sur différentes missions permet de suivre l'évolution d'ensembles sédimentaires, de zones topographiquement remarquables.

Exemple : suivi d'une zone de la Grande Vasière

Les trois documents ci-dessous sont des extraits d'une même zone de la Grande Vasière obtenus à l'issue de trois missions. Ces assemblages photographiques représentent une petite partie de la limite inférieure de la basse slikke. Une dénivellation, ou microfalaïse (M), haute d'environ 2 mètres borde la fosse Nord (F). Elle est entaillée par des chenaux de marée plus ou moins importants, appelés ici Guifette (G) et Harle (H).

Les points 1, 2, 3 sont trois points d'amer clairement identifiés comme stables au cours du temps. Ceux-ci permettent de mettre en évidence et de mesurer avec précision le recul de cette microfalaïse. Ainsi, cette érosion s'échelonne de 42 à 60 mètres sur douze mois et la moyenne de ce recul

durant cette période est estimé à 52 mètres. Pendant les 20 mois que représente cette étude, l'érosion de la microfalaïse sur cette zone atteint en moyenne 64 mètres. L'action érosive de courants émanant de la brèche dans la digue basse Nord participe activement à l'érosion de cette zone.

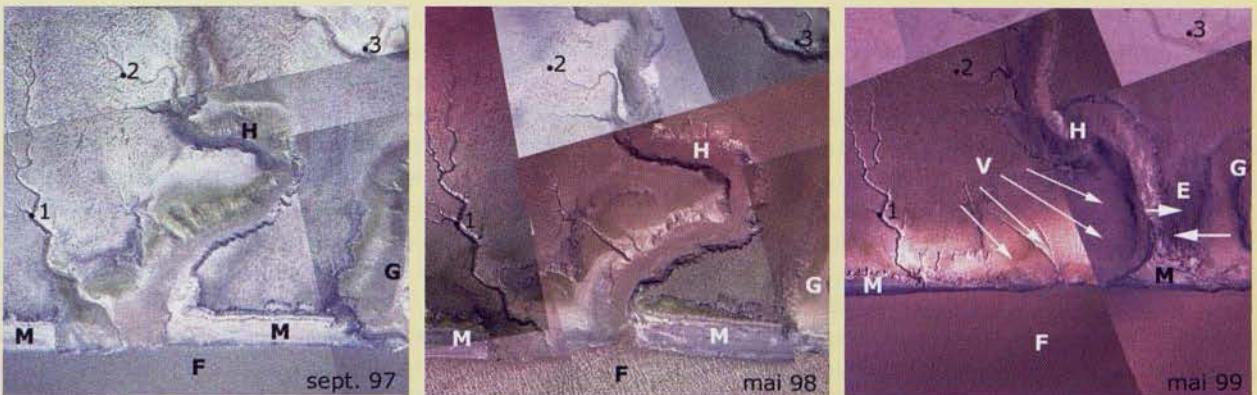
Outre ces évaluations, ces assemblages permettent également de souligner la dérive des chenaux de marée. Ceci est lié à un double phénomène, d'une part, une érosion s'effectue sur la rive concave du méandre (E) et, d'autre part, un ensablement de la rive convexe se réalise suite à des mouvements vaseux superficiels (V).

Enfin, les assemblages complets dont ces trois documents sont issus permettent la réalisation de cartes géologiques à haute définition sans pour cela nécessiter de longues et répétitives investigations au sol.

Extension à l'ensemble des zones humides

Plusieurs centaines de clichés et séquences numériques ont été réalisées sur la Grande Vasière et son environnement immédiat depuis septembre 1997 (fig. ci-dessous). Toutes ces informations ont montré que cette méthode était également applicable dans d'autres domaines et, notamment, celui du suivi de l'extension, de l'entretien et de l'exploitation de diverses zones végétales (herbus, roselières, prairies...).

Cette technique d'étude allie donc à la fois rapidité et précision dans des domaines allant de la cartographie à l'étude diachronique des populations végétales dans divers écosystèmes.



Dynamique récente (1997-1999) de la Grande Vasière Nord.

Conclusions et perspectives

Les publications nationales (Yon, 1979; Barnaud & Le Bloch, 1996; Bernard, 1994; Lierdeman & Mermet, 1994) ou régionales (AESN, 1997) soulignent la place stratégique des zones humides dans notre patrimoine naturel et le rôle primordial de la basse vallée de la Seine dans le réseau des sites d'intérêt international. Les études scientifiques ont montré l'intérêt de la conservation et de la protection des zones humides. À cette diversité des zones humides correspond une multitude de fonctions. Ce ne sont pas les mêmes oiseaux qui occupent les vasières, les prairies humides ou les tourbières. Ce ne sont pas non plus les mêmes ressources que l'homme exploite dans la plaine alluviale ou l'estuaire marin. Les travaux menés sur la basse vallée de la Seine confirment cette importance, en même temps qu'ils font le constat alarmant de la dégradation de cet espace. Depuis plusieurs décennies, les conflits d'usages ou les options contradictoires de développement ont surtout souligné le manque de cohérence des politiques publiques en matière d'aménagement du territoire, des politiques agricoles, industrielles ou environnementales (Gemel, 1984; Brocard & Lévêque, 1996).

Des écosystèmes fonctionnels...

La dégradation des milieux naturels et, en particulier, des zones humides suscite depuis plusieurs années des initiatives de conservation et de restauration (Barnaud, 1997), avec le soutien de structures régionales, nationales ou européennes. Le programme Recréer la Nature (Chapuis *et al.*, 2001) comme le Programme national de recherche sur les zones humides, sous l'égide du ministère de l'Environnement, visent à proposer une démarche méthodologique, de nouveaux concepts et des outils opérationnels qui permettent d'aborder sous un angle nouveau le devenir des zones naturelles et des zones humides.

L'écologie de la restauration suscite des débats importants dans la communauté scientifique : quoi restaurer, quelle référence viser dans un projet de « reconstruction d'écosystèmes fonctionnels et durables » ? À la vision idéalisée d'une vallée sauvage façonnée par les épisodes géologiques doit nécessairement se substituer une vision plus récente, anthropisée, de la vallée de la Seine façonnée en tous points par l'agriculture des siècles passés. Parce que trop de seuils d'irréversibilité ont sans doute été atteints, les objectifs de la restauration, de la récréation ou de la conservation de ce qui peut l'être seront nécessairement modestes, eu égard aux extraordinaires potentialités de cette zone (Poudevigne *et al.*, 2001). Un des problèmes majeurs pour les gestionnaires est de vouloir concilier des objectifs qui sont parfois incompatibles sur le plan écologique. Peut-on augmenter la surface des roselières et étendre celle des vasières, pour des objectifs ornithologiques différents ? Peut-on considérer les

immenses biomes postglaciaires avec leurs cortèges de grands herbivores comme des références tangibles dans nos espaces fragmentés et imprégnés de l'occupation humaine depuis parfois plusieurs millénaires ? Est-il souhaitable de restaurer des débordements naturels de la Seine aux eaux contaminées dans une plaine alluviale dévolue à l'agriculture ? Est-il envisageable de recréer des annexes hydrauliques au fleuve à des fins halieutiques ?

... pour un développement durable

L'espace étroit de cette vallée est avant tout façonné et entrete nu par l'homme et ses activités. Dès lors, la protection de la nature ne prend son sens que dans une vision intégrée et environnementale (Nienhuis *et al.*, 1998), visant à permettre la durabilité des activités humaines et des systèmes semi-naturels qui les supportent (Prance, 1995) : activités rurales exploitant des ressources renouvelables, activités industrielles respectant les capacités d'auto-épuration des écosystèmes, etc.

La notion de développement durable, bien qu'issue du sommet de Rio de 1992, s'annonce dès 1972 à Stockholm au congrès de Nations unies sous le terme d'éco-développement. Le développement durable doit assurer « la satisfaction de tous les besoins vitaux de tous les êtres humains contemporains sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire les leurs, ce qui implique la sauvegarde des équilibres environnementaux ».

Il importe, dès lors, de réfléchir à la basse vallée de la Seine en termes de complémentarité d'activités plutôt qu'en termes de compétition entre ces activités. Il s'agit sans doute d'inventer de nouveaux paysages, de faire coexister des espèces animales et végétales qui se sont succédées dans les temps (pré)historiques. La fragmentation de l'espace est sans doute l'une des données les plus irréversibles de la vallée de la Seine mais elle peut être un atout pour la complémentarité des activités, la compétition entre celles-ci ne pouvant aboutir qu'à l'exclusion de certaines activités humaines ou de la nature. Façonnées en grande partie par l'homme, les zones humides de la basse vallée de la Seine représentent, néanmoins, deux enjeux majeurs qui sont relativement liés :

- un enjeu patrimonial eu égard à la richesse faunistique et floristique de ce grand corridor écologique, même s'il s'agit d'une nature profondément marquée par l'histoire humaine ;
- un enjeu sur les fonctions écologiques et les ressources, liées à la fois à la pérennité des activités humaines traditionnelles et aux capacités d'épuration et de régulation de ces zones.

Il importe donc qu'elles fassent l'objet d'une attention particulière pour la biodiversité qu'elles recèlent et les services environnementaux qu'elles rendent.

Références bibliographiques

- AFES, 1995. Référentiel pédologique : principaux sols d'Europe. INRA Éditions, Paris, Collect. Tech. Prat., 332 p.
- Agence de l'Eau Seine-Normandie (AESN), 1997. Les zones humides du bassin Seine-Normandie, un patrimoine à protéger. Agence de l'Eau Seine-Normandie, Rouen, 36 p.
- Alard D., Poudevigne I., 2001. Biodiversity in changing landscapes: from species or patch assemblage to system organisation. *In: Application of geographic information systems and remote sensing in river studies*. Leuven R.S.E.W., Poudevigne I., Teuw R. (eds). Backhuys Publishers, Leiden, 9-24.
- Amoros C., Petts G.E. (éds), 1993. Hydrosystèmes fluviaux. Éd. Masson, Paris, Collect. Écol., 24, 300 p.
- Balent G., Alard D., Blanfort V., Gibon A., 1998. Activités de pâturage, paysages et biodiversité. *Ann. Zootech.*, 47, 419-429.
- Balent G., Alard D., Blanfort V., Poudevigne I., 1999. Pratiques de gestion, biodiversité floristique et durabilité des prairies. *Fourrages*, 160, 385-402.
- Barnaud G., 1997. Le programme national de recherche sur les zones humides (PNRZH) : contexte historique, enjeux scientifiques et stratégiques. Introduction au séminaire du PNRZH, Lyon, 17 p.
- Barnaud G., Le Bloch F. (éds), 1996. Entre terre et eau : agir pour les zones humides. Ministère de l'Environnement, dossier d'information.
- Bernard P., 1994. Les zones humides, rapport d'évaluation. Comité interministériel de l'évaluation des politiques publiques. La Documentation française, 391 p.
- Blondel J., 1995. Biogéographie : approche écologique et évolutive. Éd. Masson, Paris.
- Bonneville S., 1999. Caractérisation des sédiments de la Grand-Mare : granulométrie et chimie du phosphore organique. DEA Sciences de l'eau dans l'environnement continental, université de Montpellier I, 48 p.
- Bourcier A., Bourcier J.C., Pouchin T., 1999. Appréhension de la cinématique paysagère par télédétection spatiale en estuaire de Seine : contribution au Programme national de recherche sur les zones humides. *In: La télédétection en francophonie : analyse critique et perspectives*. Éd. AUF, Collect. Actual. Sci.
- Brocard M., Lévêque L. (éds), 1996. Atlas de l'estuaire de la Seine. Ville du Havre et université du Havre. Publications des universités de Rouen et du Havre, 155 p.
- Broyer J., 1994. La régression du rôle de genêts *Crex crex* et la gestion des milieux prairiaux. *Alauda*, 62, 1-7.
- Chabrierie O., Poudevigne I., Bureau F., Vincelas-Akpa M., Bourcier A., Alard D., 2001. Biodiversity and ecosystem functions in wetlands: a case study in the estuary of the Seine river, France. *Estuaries*, 24, 1088-1096.
- Chaib J., Lecomte T., 1998. Connaître et gérer les zones humides. Conservatoire des sites naturels de Haute-Normandie, 32 p.
- Chapuis J.L., Barre V., Barnaud G. (éds), 2001. Programme national de recherche « Recréer la Nature : réhabilitation, restauration et création d'écosystèmes ». Principaux résultats scientifiques et opérationnels. MATE, MNHN, Paris, 196 p.
- Deceuninck B., Broyer J., 1998. Enquête rôle des genêts 1998 : Synthèse nationale. LPO/Direction de la nature et des paysages.
- Gemel, 1984. L'estuaire de la Seine, enjeux écologiques et économiques. Actes du colloque. Comité interministériel pour la qualité de la vie, DRAE Haute-Normandie, Le Havre, 189 p.
- Groupe ornithologique normand (GONm), 1989. Atlas des oiseaux nicheurs de Normandie et des îles anglo-normandes. *Le Cormoran*, 7, 247 p.
- Grime J.P., 1973. Control of species density in herbaceous vegetation. *J. Environ. Manage.*, 1, 151-167.
- Hesslein R.H., 1976. An *in situ* sampler for close interval pore water studies. *Limnol. Oceanogr.*, 21, 912-914.
- Hydratec, 1997-1998. Étude hydraulique et sédimentologique du marais Vernier. Bilan et proposition d'aménagements et de travaux. Rapport d'étude, décembre 1999 : annexes n° 12738 2a et 12738 2b, janvier 1998 : n° 12738 1.
- Huston M.A., 1994. Biological Diversity: The coexistence of species on changing landscapes. Cambridge University Press, 681 p.
- Lecomte J., 2001. Conservation de la nature : des concepts à l'action. *Courr. Environ.* INRA, 43, 59-73.
- Lecomte T., Nicaise L., Le Neveu C., Valot E., 1995. Gestion écologique par le pâturage : l'expérience des réserves naturelles. ATEN, ministère de l'Environnement.
- Levy-Bruhl V., Coquillard H., 1998. La gestion et la protection de l'espace en 36 fiches juridiques. La Documentation française, ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire, Paris.
- Lierdeman E., Mermet L., 1994. Quatre-vingt-sept zones humides d'importance majeure. Commissariat général du Plan, ministère de l'Environnement.
- Mesnager V., Bonneville S., Laignel B., Lefebvre D., Dupont J.P., Mikes D. (in press). Filling of a wetland (Seine estuary, France): natural eutrophication or anthropogenic process? A sedimentological and geochemical study of wetland organic sediments. *Hydrobiologia*.
- Morand A., Majchrzak Y., Manneville O., Befly J.L., 1994. Papillons du genre *Maculinea* (Lycaenidae) et pastoralisme : aspects antagonistes d'une gestion conservatoire. *Écologie*, 25, 9-18.

- Nienhuis P.H., Leuven R.S.E.W., Ragas A.M.J., 1998. New concepts for sustainable management of river basins. Backhuys Publishers, Leiden, 367 p.
- Pinay G., Décamps H., Chauvet E., Fustec E., 1990. Functions of ecotones in fluvial systems. *In*: The ecology and management of aquatic-terrestrial ecotones. Naiman R.J., Décamps H. (eds). Parthenon Publ. Group, 141-169.
- Poudevigne I., Alard D., Leuven R.S.E.W., Nienhuis P.H., 2001. A systems approach to river restoration: a case study in the lower Seine valley. *River Res. Manage.*, in press.
- Prance G.T., 1995. Systematics, conservation and sustainable development. *Biodivers. Conserv.*, 4, 490-500.
- Réseau d'information et d'observation sur l'environnement (RIOE), 1996. Développement durable et gestion des ressources naturelles et espaces ruraux. Assises du développement durable, Région Haute-Normandie, 50 p.
- Scheiner S.M., 1992. Measuring pattern diversity. *Ecology*, 73, 1860-1867.
- Solbrig O.T. (ed.), 1991. From genes to ecosystems: a research agenda for biodiversity. IUBS, Cambridge.
- Trémauville Y., 1992. L'avifaune de la boucle de Brotonne : écologie-éthologie. Diplôme d'université d'études doctorales, université de Rouen, 313 p.
- Yon D. (ed.), 1979. Les zones humides (marais, vasières salées, tourbières, étangs...). La Documentation française, Paris.



Exemple de gestion hydraulique de la réserve naturelle de l'estuaire.

Glossaire

- Alluvion (alluvial)*: dépôt sédimentaire caillouteux à limoneux laissé par la rivière dans le fond des vallées.
- Anaérobiose*: mode de vie anaérobie, donc en l'absence d'oxygène.
- Artésianisme*: ensemble de phénomènes s'appliquant aux nappes phréatiques où le creusement d'un puits entraîne une montée de l'eau à un niveau supérieur à celui où on l'a rencontrée (voire jusqu'à la surface).
- CMH*: cote topographique des cartes marines du Havre.
- Cryptogames*: végétaux dont la reproduction est cachée (ce sont les algues, les bryophytes et les fougères).
- Cyanophycées*: groupe de Procaryotes pratiquant une photosynthèse similaire à celle des végétaux supérieurs, donc productrice d'oxygène.
- Écotone*: zone de limite entre deux écosystèmes à caractéristiques différentes.
- Édaphique*: tout ce qui a trait au sol.
- Étales*: pendant un cycle de marée, moments auxquels la cote ne varie pas ou peu (étales de basse et de haute mer).
- Flandrien (transgression flandrienne)*: étage marquant la dernière partie du Quaternaire, qui correspond à une transgression sur l'ensemble de l'Europe.
- Filandres*: nom local dans l'estuaire de Seine des chenaux de vidange de la slikke.
- GIP*: Groupement d'intérêt public.
- Groupe écologique*: ensemble d'espèces ayant la même réponse aux variations d'un ou plusieurs facteur(s) écologique(s). Pour l'eau: végétaux hydrophiles à xérophiles.
- Hydromorphe*: se dit d'un sol marqué par la présence d'eau constante ou presque, avec présence de zones réduites, signalant un déficit en oxygène.
- Intertidal*: zone de balancement des marées (découverte à basse mer). On qualifie une espèce qui vit dans cette zone d'espèce intertidale.
- NDVI (Normalised Difference Vegetation Index)*: indice utilisé en télédétection permettant de visualiser sur une date le gradient de biomasse végétale présent sur une image.
- Néolithique*: période caractérisée par la fabrication d'outils en pierre polie, le développement de l'agriculture et de l'élevage (de 7000 à 4000 BP).
- Niveau trophique*: dans la description d'un écosystème basé sur les relations alimentaires, ensemble des organismes qui sont séparés des producteurs primaires par le même nombre de maillons (consommateurs primaires, consommateurs secondaires...).
- Nourricerie*: site de séjour des juvéniles, souvent en zone côtière.

Oxydoréduction : action d'un corps oxydant sur un corps réducteur, avec réduction de l'agent oxydant et oxydation de l'agent réduit. Dans les sols, phénomène contrôlé en partie par la quantité d'oxygène disponible.

Oligotrophe : se dit d'un écosystème caractérisé par une faible teneur en élément minéraux nécessaires à la productivité primaire.

Paludicole : ce qui a trait aux marais et à leurs produits.

Perturbation intermédiaire : une perturbation est un événement, bien défini dans le temps, induit par un agent extérieur et provoquant une mortalité totale ou partielle des espèces dans une communauté ou un écosystème (ex : le feu, le pâturage, l'érosion...). Le qualificatif d'intermédiaire indique le caractère peu intense de la perturbation.

Phanérogames : végétaux dont la reproduction s'accompagne de la production d'organes visibles (ce sont les Spermatophytes, Gymnospermes et Angiospermes).

Prairie d'embouche : prairie dans laquelle sont engraisés les bovins.

Postglaciaire : caractérise une formation géologique mise en place après la dernière période froide.

Prisme sédimentaire : ensemble des sédiments comblant une ancienne vallée (prisme alluvial ou estuarien) ou s'adossant au fond d'une baie (prisme littoral).

Processus écologique : désigne tout processus au sein d'un écosystème qui aboutit à un flux d'énergie ou de matière entre les éléments de l'écosystème ou entre l'écosystème et son environnement : cycle d'un élément minéral, fixation du CO₂.

Productivité primaire : quantité de matière élaborée par les producteurs primaires d'un écosystème par unité de temps (s'exprime en poids de matière sèche.unité de surface⁻¹.unité de temps⁻¹).

Réhabilitation : en écologie de la restauration, on distingue généralement la restauration qui consiste à revenir à un état initial et la réhabilitation qui consiste à revenir à un état proche mais distinct de l'état initial dans la mesure où certains seuils d'irréversibilité ont été franchis.

Relictuel : désigne un organisme autrefois répandu mais qui subsiste actuellement sous une forme très localisée. On parle d'organisme ou de formation relictive (ou relique).

Richesse spécifique : nombre d'espèces présentes sur un site.

Schorre : nom flamand des prés salés ou des marais maritimes, utilisé dans le langage morphologique des environnements littoraux tempérés.

SIG (Système d'information géographique) : outil informatique permettant de géoréférencer des couches de données cartographiques et de représenter leurs relations.

Slikke : mot flamand désignant, dans un estuaire ou une baie, une étendue de vase limitée vers le haut par le niveau de haute mer de morte-eau (où elle passe au schorre).

Taxon : groupe reconnu et décrit par les systématiciens à quelque rang que ce soit (la marouette ponctuée est un taxon de rang spécifique, les Angiospermes en sont un de rang sous-embouchement).

Transgression : avancée de la mer vers le continent, pouvant être due à une surélévation du niveau marin ou à une érosion du rivage.

Trophique : qui concerne la nutrition des organismes.

Tuf : roche calcaire très poreuse et friable à aspect concrétionné associée à des sources (= travertin).

Tufs : concrétionnements calcaires poreux et friables provenant de la précipitation du carbonate de calcium.

Zoobenthos : les animaux qui vivent sur ou dans le sédiment.

Réalisation, mise en page : XLC (02 98 30 50 07)

Achévé d'imprimer sur les presses de Cloître Imprimeurs

ISBN 2-84433-028-2 Programme Seine-Aval.
ISBN 2-84433-077-0 / Dépôt légal n°1221 - 1^{er} trimestre 2002

© 2002, Ifremer. Tous droits de reproduction, même partielle, par quelque procédé que ce soit, sont réservés pour tous pays.

Crédits photos : Régis Hocdé, pp. 12, 13 (bas), 29
Didier Alard, pp. 4, 7, 13 (haut) - Philippe Sabine, pp. 24, 25 - Valérie Mesnage, couverture, pp. 18, 19, 35



Laboratoires participants au programme Seine-Aval

Cellule antipollution

- **Service de la navigation de la Seine**
Île Lacroix
71, avenue Chastellain
76100 Rouen

Cellule de suivi du littoral haut normand

16, quai Casimir Delavigne
76600 Le Havre Cedex

Cemagref

- **Division qualité des eaux**
14, avenue de Saint-Mandé
75012 Paris

Cergrene

- **École nationale des ponts et chaussées**
6-8, avenue Blaise Pascal
Cité Descartes Champs/Marne
77455 Marne-la-Vallée Cedex 2

CHU Rouen

- **Laboratoire de virologie**
1, rue de Germont
76031 Rouen Cedex

CIG - École des Mines de Paris

- **Centre d'informatique géologique**
35, rue Saint-Honoré
77305 Fontainebleau

Ifremer

- Direction de l'environnement
et de l'aménagement littoral
- **Département Del/EC**
BP 70
29280 Plouzané
 - **Département Del/PC**
BP 21105
44311 Nantes Cedex 3
 - **Département Del/PC**
BP 330
83507 La Seyne/Mer Cedex

IPSN

- **Laboratoire d'études radio-écologiques de la façade atlantique**
Rue Max-Pol Fouchet - BP 10
50130 Octeville

Muséum national d'histoire naturelle

- **Laboratoire de biologie des invertébrés marins et malacologie**
57, rue Cuvier
75231 Paris Cedex 05

Parc naturel régional de Brotonne

- **Mission patrimoine naturel**
Maison du Parc
76940 Notre-Dame-de-Bliquetuit

Université de Caen

- **Laboratoire de morphodynamique continentale et côtière - UPRES - A 6143 CNRS**
- **Groupe ornithologique normand (GONm)**
- **Laboratoire de biologie et biotechnologies marines**
Esplanade de la Paix
14032 Caen Cedex

Université du Havre

- **Laboratoire d'écotoxicologie**
25 rue Philippe Lebon,
BP 540
76600 Le Havre Cedex
- **Laboratoire de mécanique**
Centre havrais d'études
et de recherche
Quai Frissard - BP 265
76055 Le Havre Cedex
- **Cirtai**
BP 1123
76063 Le Havre Cedex

Université de La Rochelle

- **Laboratoire de biologie et biochimie**
Pôle sciences et technologie
Avenue Marillac
17042 La Rochelle Cedex 1

Université libre de Bruxelles

- **Groupe de microbiologie des milieux aquatiques**
Campus de la Plaine
CP 221
B 1050 Bruxelles

Université de Lille

- **Laboratoire de chimie analytique et marine UPRES - A 8013 ELICO**
Bâtiment C 8
59655 Villeneuve d'Ascq Cedex
- **Station marine de Wimereux UPRES - A 8013 ELICO**
28, avenue Foch
BP 80
62930 Wimereux

Université Pierre et Marie Curie

- **Laboratoire d'hydrobiologie**
12, rue Cuvier
75005 Paris
- **Laboratoire CNRS - UMR Sisyphe 7619**
4, place Jussieu, tour 26, 5^e étage
75005 Paris
- **Institut d'hydrologie et de climatologie**
Laboratoire de chimie analytique
4, place Jussieu, boîte courrier 122
75252 Paris Cedex 5

Université de Rennes 1

- Laboratoire de zoologie et d'écophysiologie**
UA INRA et UMR 1853 du CNRS
Campus Beaulieu
Avenue du Général Leclerc
35042 Rennes Cedex

Université de Rouen

- **Laboratoire de morphodynamique continentale et côtière - UPRES - A 6143 CNRS**
- **Laboratoire de microbiologie du froid**
- **Laboratoire de biologie végétale et écologie**
76821 Mont-Saint-Aignan Cedex



15 ► Zones humides de la basse vallée de la Seine

Ce fascicule traite des zones humides de la basse vallée de la Seine. Il s'agit, pour une grande part, d'un projet régional sous l'égide du Programme national de recherches sur les zones humides » (PNRZH), apport connexe au programme Seine-Aval. Ce document présente, en particulier, une analyse de la structure et du fonctionnement des zones humides actuelles, en référence à leur histoire plus ou moins récente; une approche conceptuelle relative à l'évaluation, la conservation, la restauration et la protection des zones humides dans le contexte très anthropisé de la basse vallée de la Seine. La biodiversité et le fonctionnement des zones humides sont deux enjeux clés qui doivent être pris en compte dans tout projet de développement durable de cet espace géographique.

This booklet deals with wetlands in the lower Seine valley. A research project was conducted under the umbrella of the "Programme National des Zones Humides" (PNRZH national wetlands programme), associated in this geographical context with the "Seine Aval" programme. The booklet examines two major environmental issues : analysing the structure and functioning of wetlands, with respect to their history and their present biodiversity ; taking a conceptual approach to assessment, conservation, restoration and protection of wetlands in the human context of the lower Seine valley. The relevant scales in time or space for ecological management, the notions of system resilience or "ecosystem of reference" are presented. The issues of both biodiversity and ecosystem functions in wetlands should be taken into account to provide a basis for the sustainable development of the lower Seine valley.

Cette collection présente l'ensemble des résultats du programme Seine-Aval. Chaque fascicule de cette collection a été élaboré de manière à pouvoir être lu indépendamment des autres.

Chaque année, l'essentiel de l'information scientifique produite est consigné dans des rapports thématiques et de synthèse pouvant être consultés auprès de la cellule de coordination du programme :

Programme Seine-Aval

Université de Rouen (Régis Hocdé)
Laboratoire de morphodynamique continentale et côtière
76821 Mont-Saint-Aignan Cedex
e-mail : regis.hocde@univ-rouen.fr
tél. 33 (0)2 35 14 65 27 - fax 33 (0)2 35 14 70 22



programme scientifique
Seine-Aval

- 1 - Seine-Aval :
un estuaire et ses problèmes
- 2 - Courants, vagues et marées :
les mouvements de l'eau
- 3 - Sables, chenaux, vasières :
dynamique des sédiments et évolution morphologique
- 4 - Matériaux fins :
le cheminement des particules en suspension
- 5 - L'oxygène :
un témoin du fonctionnement microbologique
- 6 - Contaminations
bactérienne et virale
- 7 - Patrimoine biologique
et chaînes alimentaires
- 8 - La contamination
métallique
- 9 - Fer et manganèse :
réactivités et recyclages
- 10 - Le cadmium :
comportement d'un contaminant métallique en estuaire
- 11 - La dynamique
du mercure
- 12 - Les contaminants organiques qui laissent des traces :
sources, transport et devenir
- 13 - Les contaminants organiques :
quels risques pour le monde vivant ?
- 14 - Des organismes
sous stress
- 15 - Zones humides de la basse
vallée de la Seine**
- 16 - Les modèles :
outils de connaissance et de gestion
- 17 - La résistible dégradation d'un estuaire

Région Haute-Normandie
25, boulevard Gambetta, BP 1129,
76174 Rouen Cedex, France
tél. 02 35 52 23 31 - fax 02 35 52 22 38

Agence de l'Eau Seine-Normandie
51, rue Salvador-Allende
92027 Nanterre Cedex
tél. 01 41 20 16 00 - fax 01 41 20 16 89

Éditions Ifremer
BP 70, 29280 Plouzané, France
tél. 02 98 22 40 13 - fax 02 98 22 45 86
e-mail : editions@ifremer.fr

Diffusion : ALT Brest
Service Logistique
3, rue Édouard Belin
BP 23 29801 Brest Cedex 9
tél. 02 98 02 42 34 - fax 02 98 02 05 84

ISBN 2-84433-028-2 Programme Seine-Aval
ISBN 2-84433-077-0

6,86 €



9 782844 330772