

MedWet



Suivi des Zones Humides Méditerranéennes

Guide méthodologique

Édité par Pere Tomàs Vives



L'action de MedWet

Le Bassin Méditerranéen est riche en zones humides présentant de grandes valeurs écologiques, sociales et économiques. Cependant, ces importantes ressources naturelles ont été considérablement dégradées ou détruites, essentiellement au cours du 20^{ème} siècle. Pour arrêter ces pertes, inverser la tendance et assurer une utilisation rationnelle de ces zones humides dans toute la Méditerranée, une action de collaboration concertée à long terme a été développée sous l'appellation de MedWet.

Un projet préparatoire de trois ans a été lancé fin 1992 par la Commission Européenne, la Convention de Ramsar sur les Zones Humides d'Importance Internationale, les gouvernements d'Espagne, de France, de Grèce, d'Italie et du Portugal, le Fonds Mondial pour la Nature (WWF), le Bureau International de Recherches sur les Oiseaux d'Eau et les Zones Humides (BROE), et la Station Biologique de la Tour du Valat.

Ce projet se focalise sur la partie du Bassin Méditerranéen faisant partie de l'Union Européenne, avec des activités pilotes entreprises dans d'autres pays tels que le Maroc et la Tunisie. Le financement provient pour les deux tiers de l'Union Européenne dans le cadre du programme ACNAT, le complément étant apporté par les autres partenaires eux-mêmes.

Le concept de MedWet et son importance pour l'utilisation rationnelle des zones humides méditerranéennes a été officiellement reconnu par la Conférence de Kushiro des Parties Contractantes à la Convention de Ramsar en Juin 1993.

MedWet



Suivi des Zones Humides Méditerranéennes

Guide méthodologique



Édité par
Pere Tomàs Vives

Comité d'édition scientifique
Nick Riddiford, Patrick Grillas, Max Finlayson, Nathalie Hecker
Rui Rufino, Barrie Goldsmith

Traduction française par
Nils Beaumont



© Wetlands International
et Instituto da Conservação da Natureza, Portugal, 1996.

Tous droits réservés. Toute reproduction, mémorisation, ou transmission, intégrale ou partielle, faite par quelque procédé que ce soit, électronique, électrique, chimique, mécanique, optique, reprographique ou d'enregistrement, ne peut être faite sans l'autorisation préalable du détenteur des droits d'auteur; la reproduction est autorisée à des fins éducatives ou non commerciales (aux termes du Copyright and Patents Act 1988).

ISBN 1 900442 04 3

Citation de cette publication: Tomàs Vives P. (ed). 1996. *Suivi des Zones Humides Méditerranéennes: Guide méthodologique*. Publication MedWet; Wetlands International, Slimbridge, RU et ICN, Lisbonne, Portugal. 150 pp.

Photographie de couverture: Marc permanente d'un cours d'eau de montagne de la Serra de Tramuntana (Majorque); habitat de l'Alite de Majorque *Alytes muletensis* (Biel Sewrvera).

Conçu et réalisé par Nature Conservation Bureau Limited, 36 Kingfisher Court, Hambridge Road, Newbury, Berkshire, RG14 5SJ, RU.

Imprimé par Information Press, Oxford, RU.

Imprimé sur papier sans chlore et provenant de ressources renouvelables.

Les informations géographiques contenues dans ce rapport concernant le statut légal des pays ou territoires et leurs frontières n'ont qu'une valeur indicative et ne représentent en aucun cas une prise de position des auteurs à leur sujet.

Sommaire

Avant-propos	iv
Remerciements	v
Collaborateurs	vi
1 Introduction	1
2 Changements écologiques dans les zones humides méditerranéennes	5
2.1 Introduction	6
2.2 Valeurs des zones humides	6
2.3 Types de changement écologique	9
2.4 Causes de changements écologiques défavorables	17
2.5 Conclusion: changement écologique et suivi	21
3 Cadre de conception d'un programme de suivi	25
3.1 Introduction	26
3.2 Gestion et suivi	26
3.3 Un cadre de suivi	27
3.4 Conclusion	34
4 Identification d'indicateurs	35
4.1 Introduction	36
4.2 Qu'est-ce qu'un indicateur?	37
4.3 Choix des indicateurs	39
4.4 Conclusion	55
5 Techniques de suivi	61
5.1 Suivi des changements de superficie des zones humides	62
5.2 Suivi des changements du régime hydrologique	63
5.3 Suivi des changements de qualité de l'eau: eutrophisation	64
5.4 Suivi des changements de qualité de l'eau: pollution par des substances toxiques	66
5.5 Suivi des changements dus à l'exploitation des ressources des zones humides	68
5.6 Suivi des changements dus à l'introduction d'espèces exogènes	72
6 Bibliographie du suivi	73
6.1 Généralités	74
6.2 Multidisciplinaire	74
6.3 Hydrologie	75
6.4 Qualité de l'eau	76
6.5 Indicateurs biologiques	79
6.6 Plantes et végétation	79
6.7 Invertébrés	80
6.8 Poissons	81
6.9 Barraciens/Reptiles	81
6.10 Oiseaux	81
6.11 Mammifères	82
6.12 Indices biotiques	83
6.13 Cartographie et télédétection	83
6.14 Autres	85
7 Etudes de cas	89
7.1 Estuaire du Sado	91
7.2 S'Albufera de Mallorca	103
7.3 Lac Kerkini	119
7.4 Étang de l'Or	128
7.5 Aiguamolls de l'Empordà	135
Synthèse	141
Glossaire	143
Index	149

Avant-propos

La disparition et la dégradation rapides des zones humides méditerranéennes ont imposé des mesures concertées et urgentes. C'est ainsi que la Conférence sur la gestion des zones humides méditerranéennes et de leur avifaune, tenue à Grado, Italie, en 1991, a débouché sur le lancement de l'initiative MedWet. Un premier projet préparatoire de trois ans entrepris dans le cadre de MedWet a permis de mettre au point et de tester les outils nécessaires à une initiative pan-méditerranéenne de conservation à long terme des zones humides.

Ce Guide décrit les méthodologies de suivi des zones humides méditerranéennes mises au point pendant la première phase de MedWet. Il constitue l'un des résultats du sous-projet MedWet Inventaire et Suivi, exécuté par Wetlands International (anciennement BIROE) et l'Instituto da Conservação da Natureza du Portugal. Parmi les autres résultats majeurs de ce sous-projet figurent un examen du Statut des Inventaires des Zones Humides dans la Région Méditerranéenne, et un ouvrage intitulé Inventaires des Zones Humides Méditerranéennes: Manuel de Référence, dans lequel on trouvera toute une série d'outils à cet effet.

Dans toute approche stratégique de la conservation des zones humides, le suivi joue un rôle crucial puisqu'il

permet d'évaluer le succès des mesures de gestion préalables et de définir les actions à entreprendre pour atteindre l'objectif désiré. Il permet également de déceler des changements écologiques et d'en trouver les causes, et donc de prendre des mesures correctrices.

Ce Guide fournit un cadre méthodologique pour planifier des programmes de suivi des zones humides méditerranéennes. Du fait de la complexité et de la diversité de ces écosystèmes, il ne peut s'agir d'un livre de recettes, mais on a cherché plutôt à apporter à l'utilisateur une aide dans la planification de programmes répondant à certains objectifs spécifiques. MedWet a ainsi effectué dans le domaine du suivi un travail de pionnier, tant pour la région méditerranéenne que pour d'autres parties du monde. L'élaboration de ce Guide a déjà contribué à la mise au point des Lignes directrices Ramsar pour la surveillance continue des changements des caractéristiques écologiques des zones humides et nous espérons qu'il permettra également d'établir une norme pour les activités dans les zones humides et les autres habitats des sites concernés, par exemple, par le Réseau Natura 2000 de l'Union européenne.

Michael Moser
Wetlands International

António Teixeira
ICN, Portugal

Remerciements

Des personnes de nationalité et d'expérience différentes ont collaboré à la préparation de ce guide méthodologique. J'aimerais tout d'abord rendre hommage au Groupe d'experts du sous-projet MedWet Inventaire et Suivi, dont les membres sont des spécialistes des zones humides et de la conservation de différents pays. Le Groupe s'est réuni deux fois, au Portugal (1993) et en Tunisie (1994), pour définir les objectifs et les fondements de ce Guide, et pour en préparer les lignes directrices. Je désire aussi remercier les organisateurs de ces réunions, l'Instituto da Conservação da Natureza, au Portugal, et la Direction Générale des Forêts, en Tunisie.

Un comité d'édition, réunissant l'équipe MedWet de Wetlands International et de l'ICN ainsi que certains scientifiques ayant participé à la deuxième réunion, a été créé au cours de l'été 1994. En 1995 et 1996, des études pilotes ont été mises en place dans cinq zones humides méditerranéennes - estuaire du Sado (Portugal), S'Albufera de Mallorca (Espagne), lac Kerkini (Grèce), étang de l'Or (France) et Aiguamolls de l'Empordà (Espagne) - afin de tester la méthode proposée dans le guide. Les scientifiques et équipes de terrain affectées sur ces sites (voir la liste des collaborateurs) se sont profondément impliqués dans ces tests et dans la préparation de rapports détaillés qui sont inclus dans ce Guide au titre d'études de cas.

Le processus de préparation, d'édition et de révision des textes n'a pas été facilité par la dispersion des auteurs et éditeurs, encore moins par le manque de temps disponible. J'aimerais exprimer ici ma gratitude à tous ceux qui ont collaboré à ce travail (voir la liste)

et dont l'intérêt et l'engagement ont permis de produire ce document dans un délai aussi court. Je tiens à remercier particulièrement Nick Riddiford qui n'a pas ménagé ses efforts lors de l'édition scientifique et dont le style signe la version anglaise du texte.

Je voudrais également remercier Joan Mayol Serra et le personnel du Parc naturel de S'Albufera pour leur collaboration, en particulier Gabriel Perelló Coll - qui a beaucoup contribué à l'organisation de la réunion - et le conseil municipal de Muro qui nous a autorisé à utiliser ses installations pendant l'atelier. D'autres personnes ont apporté des commentaires très utiles sur les versions préliminaires du document: Mike Moser de Wetlands International, Mike Wood et Chris Donnelly de l'équipe Earthwatch Europe du projet S'Albufera. Fernando Tortella a fourni plusieurs références pour la bibliographie. Je remercie également tous ceux qui ont gracieusement donné des photos pour agrémenter ce Guide.

Enfin, j'adresse des remerciements spéciaux à Nathalie Hecker et à Marie Antoinette Diaz, qui ont longuement contribué à la production de ce Guide, et à Francesca Crespí Ramis pour son soutien permanent, ses commentaires utiles et sa collaboration lors des remaniements et de l'édition du texte pendant de longues journées de hiver et du printemps derniers.

Pere Tomás Vives
Coordinateur et éditeur, Wetlands International
Mai 1996

Collaborateurs

António Bruxelas
ICN
Instituto da Conservação da
Natureza
Rua Filipe Folque, 46 5°
1050 Lisboa
Portugal

M. Helena Costa
Universidade Nova de Lisboa
Fac. Ciências e Tecnologia
Dept. de Ciências e Engenharia do
Ambiente
Lisboa
Portugal

Tasos Dimalexis
Greek Biotope/Wetland Centre
(EKBY)
14th Km Thessaloniki-Mihaniona
57001 Thermi
Macedonia
Grèce

C. Max Finlayson
Environmental Research Institute
of the Supervising Scientist
Locked Bag 2
Jabiru
0886 Northern Territory
Australie

Barrie Goldsmith
Department of Biology
University College London
Gower Street
London
WC1E 6BT
Royaume Uni

Patrick Grillas
Station Biologique de la Tour du
Valat
Le Sambuc
13200 Arles
France

Nathalie Hecker
MedWet/Wetlands International
Station Biologique de la Tour du
Valat
Le Sambuc
13200 Arles
France

George E. Hollis
Wetland Research Unit
Department of Geography
University College London
26 Bedford Way
London
WC1H 0AP
Royaume Uni

Antonis Mantzavelas
Greek Biotope/Wetland Centre
(EKBY)
14th Km Thessaloniki-Mihaniona
57001 - Thermi
Macedonia
Grèce

Joan Mayol Serra
Parc Natural de S'Albufera de
Mallorca
Conselleria d'Agricultura i Pesca
Foners, 10
07006 Palma de Mallorca
Illes Balears
Espagne

Aura Penloup
Station Biologique de la Tour du
Valat
Le Sambuc
13200 Arles
France

Nick Riddiford
Fair Isle
Shetland
ZE2 9JU
Royaume Uni

Sergio Romero de Tejada
Parc Natural dels Aiguamolls de
l'Empordà
El Cortalet
17486 Castelló d'Empúries
Girona
Espagne

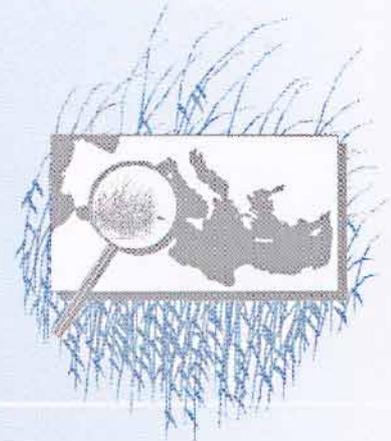
Carmen Rosado
ICN
Instituto da Conservação da
Natureza
Rua Filipe Folque, 46 5°
1050 Lisboa
Portugal

Rui Rufino
MedWet/ICN
Instituto da Conservação da
Natureza
CEMPA
Rua Filipe Folque, 46 5°
1050 Lisboa
Portugal

Pere Tomàs Vives
MedWet/Wetlands International
Avda. del Cid, 76 2°
07198 Palma de Mallorca
Illes Balears
Espagne



1 Introduction



Pere Tomàs Vives

Dans l'ensemble de la région méditerranéenne, les zones humides ont été détruites ou dégradées à un rythme alarmant, et ce en particulier au cours du vingtième siècle. La gravité de cette situation a été décrite lors d'une importante conférence sur les zones humides méditerranéennes, tenue à Grado, Italie, en 1991 (voir Finlayson et al. 1992). La déclaration de Grado, adoptée lors de la conférence, demande que l'on adopte le but suivant: arrêter la perte et la dégradation des zones humides méditerranéennes et inverser les tendances (Anonymous 1992). Pour évaluer dans quelle mesure on s'approche du but de Grado, il est nécessaire de déceler toute modification affectant ou pouvant affecter les zones humides, de mesurer son ampleur et de déterminer ses causes et conséquences.

Parallèlement, la Convention relative aux zones humides d'importance internationale particulièrement comme habitat des oiseaux d'eau, connue sous le nom de Convention de Ramsar, précise (article 3.2) que "Chaque Partie contractante prend les dispositions nécessaires pour être informée dès que possible des modifications des caractéristiques écologiques des zones humides situées sur son territoire et inscrites sur la Liste, qui se sont produites, ou sont en train ou susceptibles de se produire, par suite d'évolutions technologiques, de pollution ou d'une autre intervention humaine". En outre, la sixième Session de la Conférence des Parties contractantes, tenue à Brisbane, Australie, en Mars 1996, a adopté un ensemble de directives pour interpréter les modifications des caractéristiques écologiques, préparé par le Groupe d'Evaluation Scientifique et Technique de la Convention (GEST).

Il est donc nécessaire de pouvoir disposer de systèmes permettant de suivre les changements dans les zones humides, le suivi étant défini comme le recueil systématique et régulier d'informations afin d'évaluer la conformité avec une norme prédéterminée (situation de référence).

Les zones humides sont des écosystèmes complexes pour lesquels il n'existe pas ou que peu de modèles prévisionnels de fonctionnement. En outre, elles sont affectées non seulement par les activités menées in situ, mais aussi par des activités ou des événements survenant dans leur bassin versant et à l'échelle mondiale. Il est souvent difficile d'établir et d'évaluer les impacts écologiques que des activités distantes peuvent avoir sur une zone humide mais il est néanmoins essentiel d'examiner ce qui se passe dans le bassin versant pour tenter de comprendre ce qui arrive dans la zone humide.

Le suivi des zones humides est donc une activité complexe qui doit être soigneusement planifiée en suivant une approche méthodique pour être efficace. Différents facteurs doivent être pris en considération lors de la planification d'un programme de suivi: il faut définir les objectifs des contrôles en fonction du type de changement et son échelle, dans le temps et l'espace, et du type de zone humide. Il faut également tenir compte des ressources disponibles, tant humaines que financières, et des contraintes pour choisir les paramètres et techniques à employer.



1.1 Guide de la surveillance continue des zones humides méditerranéennes

Ce guide méthodologique est le produit d'une collaboration entre spécialistes scientifiques et gestionnaires des zones humides de différents pays, méditerranéens ou non. En janvier 1996, la plupart d'entre eux se sont réunis à Majorque, Espagne, dans le cadre d'un atelier organisé pour débattre de la méthode proposée.

Cet ouvrage a pour objectif de fournir une aide à la conception de programmes de suivi des changements écologiques dans les zones humides méditerranéennes. Sous la forme d'un cadre méthodologique décrivant les étapes de la planification d'un tel programme, le guide inclut des directives détaillées facilitant le choix des indicateurs pour suivre certains problèmes précis.

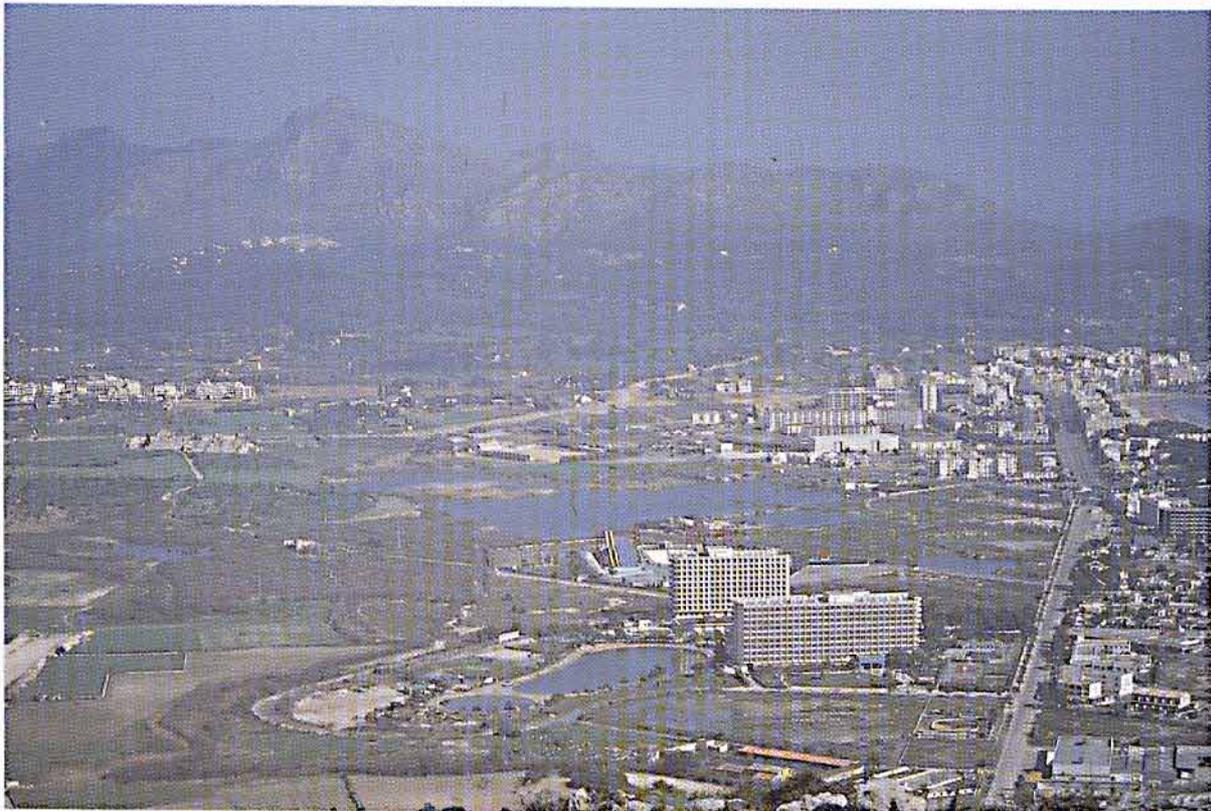
Des études pilotes ont été effectuées dans un certain nombre de zones humides afin de compléter le cadre méthodologique et les directives par des considérations pratiques, et une recherche bibliographique minutieuse a été entreprise pour identifier les publications et documents présentant un intérêt pour le suivi des zones humides.

1.2 Mode d'emploi de ce guide méthodologique

Ce guide s'adresse à tous ceux qui ont la responsabilité des zones humides méditerranéennes, et en particulier aux gestionnaires, planificateurs et spécialistes scientifiques. Dans l'idéal, les programmes de suivi devraient faire partie intégrante de plans de gestion de manière à ce que les mesures décidées en fonction des résultats du suivi puissent être prises dans le cadre d'un mécanisme de réponse existant. Ce n'est cependant pas toujours le cas dans les zones humides méditerranéennes; d'une part, beaucoup d'entre elles ne sont ni protégées ni gérées à des fins de conservation, d'autre part, un grand nombre de zones humides protégées ne bénéficient pas encore d'un plan de gestion formalisé ou ne sont pas gérées de façon organisée.

Compte tenu de la grande diversité des zones humides méditerranéennes, des différences d'expérience technique des utilisateurs potentiels et de la variété des ressources et informations disponibles, il n'a pas été possible de couvrir tous les cas de figure dans ce document. Ce guide ne doit donc pas être considéré comme un livre de recette dans lequel on pourra trouver des instructions pour assurer le suivi de tel

Photo 1.1 De nombreux facteurs sont à l'origine de la destruction ou de la dégradation des zones humides, notamment le développement touristique et la construction de centres de loisirs et de routes. (Pere Tomàs Vives)





type de problème dans tel type de zone humide. Les décisions relatives à la manière d'appliquer le cadre proposé et au choix des indicateurs supposent une bonne connaissance du site de la part de l'utilisateur.

1.3 Contenu du guide

La table des matières a été organisée selon une séquence logique correspondant au processus de planification d'un programme de suivi. Le chapitre 2 présente un aperçu des types de changement écologique affectant les zones humides méditerranéennes et en analyse les causes. Cela devrait aider à identifier les changements intervenant ou pouvant intervenir dans un site particulier et permettre d'en rechercher l'origine. Six types de changement sont ainsi présentés: modifications de la superficie de la zone humide, du régime hydrologique et de la qualité de l'eau, exploitation des produits de la zone humide, introduction d'espèces exogènes, et changements dus aux actions de gestion et de restauration.

Le cadre méthodologique pour planifier un programme de suivi est détaillé au chapitre 3, où l'on trouvera en outre quelques exemples illustrant son application. Il s'agit d'un ensemble d'étapes, présentées selon une séquence logique, permettant de concevoir des programmes de suivi en fonction des circonstances et besoins particuliers d'un site. Ce cadre a été proposé par le GEST de la Convention de Ramsar pour aider les Parties contractantes à préparer des programmes de surveillance continue efficaces.

Le chapitre 4 se veut une aide dans le choix des indicateurs permettant de suivre certains types particuliers de changements écologiques dans les zones

humides méditerranéennes. Il fournit également des indications sur les techniques pouvant être employées pour mesurer les indicateurs sélectionnés.

Ces données sont reprises, d'une manière systématique et structurée (sous forme de tableaux), au chapitre 5 afin d'aider l'utilisateur à identifier les techniques et indicateurs appropriés. Les tableaux donnent aussi les références bibliographiques où l'on peut trouver une description de ces techniques.

Le chapitre 6 est une compilation bibliographique détaillée de la littérature relative au suivi et aux techniques de choix et de mesure des indicateurs.

Cinq études de cas font l'objet du chapitre 7, chacune présentant l'application du cadre de planification à la situation spécifique de zones humides de différents pays méditerranéens. Elles montrent comment appliquer sur le terrain le processus de planification d'un programme de suivi et soulignent certaines considérations pratiques dont il faut tenir compte. Le test a permis, pour quelques sites pilotes (comme Aiguamolls de l'Empordà), de mettre en place le programme de suivi décrit, et d'examiner et évaluer les procédures existantes dans les autres cas (S'Albufera de Mallorca par exemple).

RÉFÉRENCES

- Anonymous. 1992. *A Strategy to Stop and Reverse Wetland Loss and Degradation in the Mediterranean Basin*. International Waterfowl and Wetlands Research Bureau (IWRB) and Regione Friuli-Venezia Giulia, Trieste, Italy. 40 pp.
- Finlayson C.M., G.E. Hollis and T.J. Davis (eds.). 1992. *Managing Mediterranean Wetlands and Their Birds*. IWRB Special Publication 20, Slimbridge, UK. 285 pp.

2 Changements écologiques dans les zones humides méditerranéennes

G.E. Hollis et C.M. Finlayson



RÉSUMÉ

Le processus qui a conduit à la destruction et à la dégradation des zones humides méditerranéennes se poursuit encore aujourd'hui. Par leurs fonctions (résurgence des nappes phréatiques, contrôle des crues, protection contre les tempêtes, habitat pour les espèces sauvages, etc.), produits (productions halieutique et fourragère, eau, etc.) et attributs (diversité biologique par exemple), ces écosystèmes ont une valeur, généralement économique, pour la société humaine. Les changements écologiques peuvent être naturels (succession végétale, sédimentation, etc.) ou dus aux activités humaines, et sont parfois positifs en cas de gestion active ou de restauration de sites. Les exemples de changements écologiques défavorables d'origine humaine sont cependant très nombreux dans les zones humides méditerranéennes. Les principaux processus entraînant des changements écologiques sont les suivants:

- *changements de superficie de la zone humide*
- *changements du régime hydrologique*
- *changements de la qualité de l'eau*
- *exploitation non durable des produits de la zone humide*
- *introduction d'espèces exogènes*
- *gestion, négligence et restauration*

Les facteurs sous-jacents responsables des changements écologiques sont de nature sociale, économique et politique et s'expriment au travers d'éléments politiques et institutionnels. Parmi les causes apparentes de changement défavorable dans les zones humides figurent:

- *l'intensification de l'agriculture*
- *l'urbanisation et l'industrialisation*
- *les aménagements touristiques*
- *l'augmentation de la pêche et les projets d'aquaculture*
- *les activités de chasse*

En termes de suivi, on ne peut habituellement se contenter de la seule évaluation des changements survenant dans les zones humides. Les divers facteurs à l'origine de ces modifications, généralement défavorables, sont alors souvent trop établis pour être réversibles. Un bon programme de suivi d'une zone humide doit donc non seulement s'appuyer sur des éléments propres à l'écosystème mais aussi tirer parti de renseignements obtenus auprès des agences de développement et des instances où sont formulées les politiques. La gestion des changements écologiques à l'échelle mondiale doit avoir lieu au niveau international, mais le suivi écologique local peut révéler des possibilités de mesures de gestion et d'atténuation spécifiques à un site.



2.1 Introduction

Parmi les zones humides de la région méditerranéenne figurent des estuaires, deltas, lagunes côtières, lacs, marais et oasis, marais salés, salins exploités naturels et artificiels et lacs de barrage (Pearce & Crivelli 1994). Ces habitats offrent de nombreux avantages pour l'homme, à la fois au niveau local et plus lointain, mais, pendant la majeure partie de ce siècle, beaucoup d'eux ont été dégradés et détruits, le nombre d'exemples d'impact positif des interventions humaines sur le fonctionnement des zones humides étant en revanche très limité (voir, par exemple, Finlayson *et al.* 1992, Morgan 1982, Montes & Bifani 1991, Mermet 1991, Psilovikos 1992, Papayannis 1992a). Cette tendance se poursuit et un système de suivi est donc indispensable à l'examen des politiques et à une gestion environnementale rationnelle. Même certaines zones humides d'importance internationale ayant le plus de valeur dans la région méditerranéenne ont subi, subissent ou vont subir des modifications défavorables de leurs caractéristiques écologiques (Ramsar Bureau 1990). Mise en évidence grâce à des procédures de suivi gouvernementales, cette situation a donné naissance à la Procédure de surveillance continue de Ramsar (renommée Procédure consultative sur la gestion en mars 1996) reliant les conseils en matière de stratégies d'amélioration à l'identification des problèmes. Tablas de Daimiel et Doñana en Espagne, le lac Oubeira en Algérie, Stagno di Molentargius et Stagno di Santa Gilla en Italie, le lac Ichkeul en Tunisie, les lacs Bardawil et Burullus en Egypte, et les onze sites Ramsar

grecs figurent sur le Registre de Montreux des zones humides présentant des modifications des caractéristiques écologiques (Ramsar Bureau 1993a). La perte et la dégradation de tant de fonctions utiles des zones humides imposent des efforts de suivi à la fois plus extensifs et plus intensifs afin de réunir les informations nécessaires à une amélioration des politiques.

Ce chapitre, définissant le cadre du suivi des zones humides, examine d'abord les valeurs de ces écosystèmes puis la nature des changements écologiques qui les affectent avant de donner un aperçu des origines politiques, économiques et sociales de ces changements. On y trouvera une description des causes profondes (telles que les politiques et pratiques socio-économiques) autant qu'apparentes (comme l'intensification de l'agriculture et le développement du tourisme) de la destruction et de la dégradation des zones humides. Il en ressort qu'il est nécessaire d'instaurer un suivi des différentes zones humides et de leurs composantes, des processus entraînant des changements, généralement défavorables, dans ces écosystèmes, et des politiques et plans sur lesquels reposent les rapports des hommes aux zones humides méditerranéennes.

2.2 Valeurs des zones humides

Les zones humides, écosystèmes de transition entre les habitats terrestres et totalement aquatiques, sont constituées de composantes physiques, biologiques et chimiques, telles que l'eau, les sols et les espèces

Photo 2.1 Les zones humides offrent des habitats pour la faune sauvage: dortoir de hérons le long du Guadalquivir à proximité de l'ancienne mosquée de Cordoue, Espagne. (Pere Tomàs Vives)

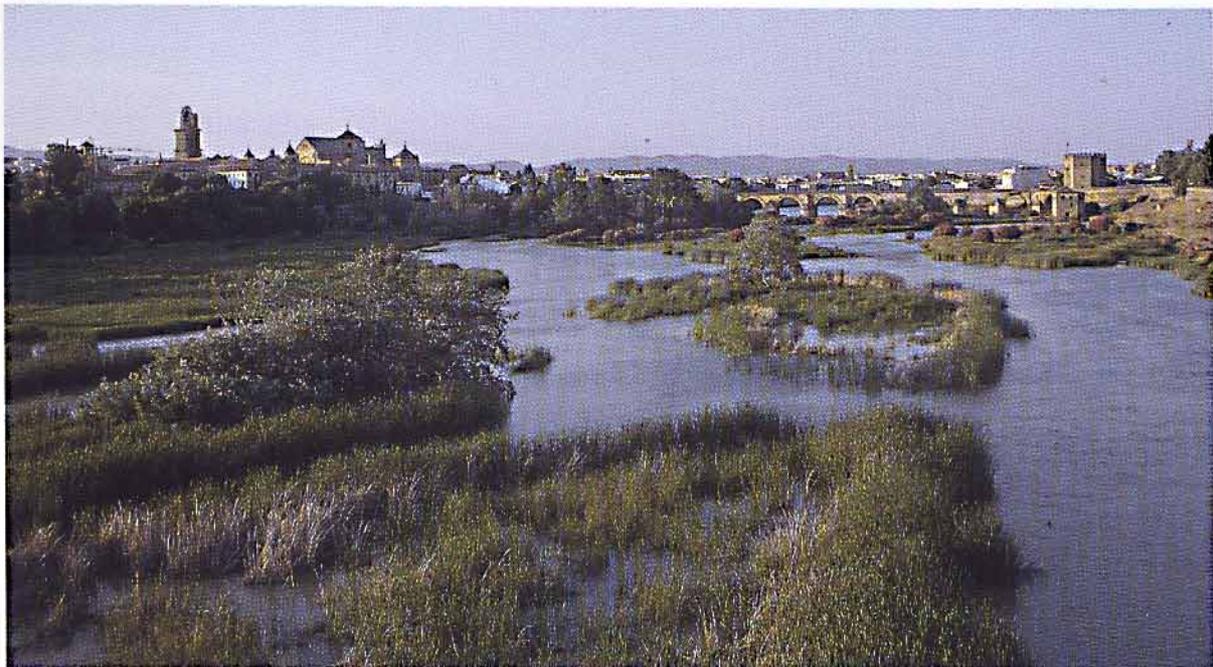




Tableau 2.1 Valeurs associées aux différents types de zones humides de la région méditerranéenne (d'après Dugan 1990; et Skinner & Zalewski 1995).

TYPES DE ZONE HUMIDE	Estuaires	Herbiers de plantes submergées	Deltas	Lagunes côtières	Plaines d'inondation	Lacs	Marais d'eau douce temporairement inondés	Dépressions et marais salés	Sources et oasis	Reservoirs	Marais salants	Habitats d'eau douce artificiels (canaux d'irrigation, rivières, étangs d'aquaculture, etc.)
Fonctions												
Alimentation des nappes phréatiques	○	○	□	○	■	■	□	○	○	□	○	□
Emergence des nappes phréatiques	□	○	□	□	□	□	□	□	■	○	○	□
Prévention des inondations	○	○	□	○	■	■	■	□	○	■	○	□
Rétention de sédiments/produits toxiques	■	○	■	□	■	■	■	□	○	■	○	□
Rétention d'éléments nutritifs	■	○	■	□	■	■	■	○	○	■	○	○
Stabilisation du littoral	■	□	■	■	□	○	○	○	○	○	□	○
Protection contre les tempêtes/brise vent	■	○	■	■	○	○	○	○	○	○	□	○
Voie de communication	■	○	□	■	□	□	○	○	○	○	○	□
Élément des réseaux trophiques	■	■	■	■	■	□	■	□	■	□	□	□
Habitat d'espèces sauvages	■	■	■	■	■	■	■	□	□	□	■	□
Activités récréatives	■	■	■	■	□	■	■	□	□	□	○	□
Produits												
Ressources en espèces sauvages	■	■	■	■	(■)	■	(■)	□	□	□	○	□
Ressources halieutiques	■	■	■	■	(■)	■	■	○	○	□	○	□
Ressources fourragères	■	○	■	○	■	○	■	□	□	○	○	□
Ressources agricoles	□	○	■	○	■	○	■	○	□	■	○	■
Alimentation en eau	○	○	■	○	■	■	□	○	■	■	○	□
Ressources forestières	○	○	□	○	(■)	○	□	○	○	○	○	○
Attributs												
Diversité biologique	■	■	■	□	■	□	■	■	□	□	□	□
Originalité/patrimoine culturel	■	□	■	■	□	□	■	■	■	○	□	○

Legend: ○ = valeur absente ou exceptionnelle □ = valeur présente ■ = valeur fréquente et importante pour ce type de zone humide () = valeur très dégradée dans la région méditerranéenne

végétales et animales. Les processus écologiques intervenant au sein et entre ces composantes permettent aux zones humides d'accomplir certaines fonctions telles que la prévention des inondations et la protection contre les tempêtes, et de générer des produits tels que la faune sauvage et les ressources halieutiques et forestières. Il ne faut en outre pas oublier des attributs à l'échelle de l'écosystème, diversité biologique et intérêt/patrimoine culturel par exemple (Dugan 1990). Ces fonctions, produits et attributs se retrouvent à des degrés divers dans toutes les zones humides mais il est fréquent que leur valeur ne soit reconnue qu'après dégradation ou destruction (Adamus & Stockwell 1983; Hollis et al. 1988; Skinner & Zalewski 1995). La modification des processus à la base de ces

fonctions, produits et attributs, régime hydrologique notamment, peut rapidement entraîner une diminution de la valeur des zones humides. La restauration d'une zone humide dégradée ou détruite peut s'avérer extrêmement coûteuse.

Les fonctions, produits et attributs qui confèrent leurs valeurs et bénéfices aux zones humides de l'ensemble du bassin méditerranéen ont été sérieusement dégradés. Cependant, fonctions, produits et attributs n'ont pas une importance égale quel que soit le type de zone humide; le tableau 2.1 hiérarchise ainsi les valeurs généralement associées aux principaux types de zones humides de la région méditerranéenne. Le tableau 2.2 reprend la liste des fonctions des zones humides et donne des exemples méditerranéens de sites où ces



Tableau 2.2 Exemples de zones humides méditerranéennes ayant conservé ou perdu leurs principales fonctions.

Fonction	Fonction maintenue	Fonction perdue ou sérieusement réduite
Alimentation des nappes phréatiques	Sebkhet Kelbia, Tunisie Megali Prespa, Grèce	Garaet el Haouaria, Tunisie Plaine d'inondation de l'Acheloos, Grèce
Emergence des nappes phréatiques	Merja Zerga, Maroc Delta du Göksu, Turquie	Tablas de Damiel, Espagne Marais de Phasouri, Chypre Parties de La Vera, Doñana, Espagne Oasis d'Azraq, Jordanie
Prévention des inondations	Lac Fetzara, Algérie Lacs Volvi et Langada, Grèce Réservoir de Sidi Saad, Tunisie	Plaine et delta du Pô, Italie Plaine d'inondation de la rivière Strymon, Grèce Garaet Mabtouha, Tunisie Vallée inférieure du Mondego, Portugal
Rétention de sédiments/produits toxiques	Lac Hula, Israël Lac Kerkini, Grèce Marais d'Odiel, Espagne	Delta du Kizilirmak, Turquie Rivière Júcar, Valence, Espagne
Rétention d'éléments nutritifs	Marais de Mekhada, Annaba, Algérie S'Albufera de Mallorca, Espagne	Delta de l'Axios, Grèce
Stabilisation du littoral	Lagunes du Languedoc-Roussillon, France	Delta du Nil, Egypte
Voie de communication	Lagune de Grado-Marano, Italie Rhône, France Lac de Bizerte, Tunisie	Utique, Tunisie
Élément des réseaux trophiques	Vasières des îles Kneiss, Tunisie Lagune d'Akgol, Turquie	Stagno di Molentargius, Sardaigne, Italie
Habitat d'espèces sauvages	Lac Tonga, Algérie Mikri Prespa, Grèce Estuaire du Tage, Portugal	Ichkeul, Tunisie Lac Bardawil, Egypte
Activités récréatives	Camargue, France Lac Skadar, Montenegro	Stagno di Santa Gila, Sardaigne, Italie

fonctions sont encore intactes, au moins en partie, ou dégradées ou perdues.

Mitsch & Gosselink (1993) ont qualifié les zones humides de "kidneys of the landscape" et de "biological supermarkets" (littéralement "reins du paysage" et "supermarchés biologiques") en raison de l'importance des réseaux trophiques et de la richesse de la biodiversité qu'elles abritent. La valorisation financière des fonctions et produits des zones humides progresse rapidement (par exemple, Barbier 1989). L'établissement du Parc national d'Ichkeul au nord de la Tunisie, et sa désignation comme site du patrimoine mondial, Réserve de biosphère et site Ramsar, étaient essentiellement basés sur les valeurs d'existence, de non-utilisation, de ses zones humides. Le lac et les marais offrent cependant un intérêt en tant que zones de pâturage pour le bétail, lieux de pêche et site touristique; en outre les cours d'eau contribuent à la recharge de la nappe phréatique et les marais au traitement et à la purification des eaux usées. Thomas *et al.* (1991) ont montré que les bénéfices économiques découlant de l'ouverture des vannes des

barrages sur les divers cours d'eau alimentant les zones humides dépassent ceux de l'utilisation de l'eau pour l'irrigation. Le seul traitement des eaux usées a été évalué à plus de 170.000 USD par an, soit le coût d'une station d'épuration industrielle, alors que la valeur des pêcheries dans le lac a été estimée à 650.000 USD par an. Il est évident que la plupart des programmes de suivi des zones humides doivent comporter un volet consacré aux questions économiques et aux données financières.

Les zones humides n'ont pas toutes la même valeur, mais compte tenu du rythme historique de dégradation et de destruction des zones humides méditerranéennes, la valeur de celles qui subsistent s'est trouvée accentuée. On considère aujourd'hui que toutes les zones humides méditerranéennes sont importantes mais beaucoup d'entre elles devront être réhabilitées pour retrouver l'intégralité de leur valeur. Il est nécessaire d'assurer le suivi de l'ensemble des zones humides d'une nation pour pouvoir déterminer en toute certitude la valeur relative de certains sites particuliers.



2.3 Types de changement écologique

La Convention de Ramsar précise (article 3.2) que "Chaque Partie contractante prend les dispositions nécessaires pour être informée dès que possible des modifications des caractéristiques écologiques des zones humides situées sur son territoire et inscrites sur la Liste, qui se sont produites, ou sont en train ou susceptibles de se produire, par suite d'évolutions technologiques, de pollution ou d'une autre intervention humaine." Il est donc essentiel que des procédures de suivi soient mises en place dans chaque site Ramsar pour établir s'il y a des modifications des caractéristiques écologiques et, dans l'affirmative, la direction de la tendance. Lors de la sixième Session de la Conférence des Parties contractantes, en mars 1996, la Convention a donné les définitions suivantes des expressions "caractéristiques écologiques" et "changement dans les caractéristiques écologiques":

Par caractéristiques écologiques on entend la structure des éléments biologiques, chimiques et physiques de la zone humide et les relations entre ces éléments. Elles découlent des interactions entre les processus, fonctions, attributs et valeurs de l'écosystème (ou des écosystèmes).

Par changement dans les caractéristiques écologiques d'une zone humide, on entend la perturbation ou le déséquilibre de tout processus et fonction dont dépendent la zone humide, ses produits, ses attributs et ses valeurs.

La Résolution adoptée lors de la sixième Session de la Conférence des Parties contractantes précise que "Le changement dans les caractéristiques écologiques d'un site est interprété comme signifiant changement défavorable dans le contexte de l'Article 3.2 et de la Recommandation 4.8 qui instaurait le Registre de Montreux." Elle reconnaît également que "les programmes de restauration et/ou de remise en état des zones humides peuvent aboutir à des changements favorables, induits par l'homme, dans les caractéristiques écologiques."

Le BIROE (IWRB 1993) concluait que des changements écologiques pouvaient survenir dans des systèmes de zones humides parfaitement naturels du fait, par exemple, de la succession végétale, de la sédimentation et de l'accumulation de matière organique. Cependant, les changements écologiques d'origine humaine, notamment ceux qui ont eu lieu au cours des 30 dernières années, sont beaucoup plus significatifs pour les zones humides dans le monde (IWRB 1993). Ils peuvent être négatifs, lorsque des écosystèmes de zones humides sont dégradés ou

détruits, ou positifs en cas de succès de programmes de gestion en faveur de la conservation. Ils sont également positifs lorsqu'une zone humide "perdue" retrouve l'intégralité de ses fonctions grâce à un programme de restauration.

Il est nécessaire d'assurer le suivi des changements écologiques naturels intervenant dans les zones humides afin d'en déterminer le rythme et le sens, données qui serviront de base pour juger des changements, positifs ou négatifs, d'origine humaine. Le suivi est une des composantes fondamentales de tout programme de gestion (Nature Conservancy Council 1987, Wood & Warren 1978) afin d'alimenter régulièrement en informations le cycle de gestion. On a parallèlement insisté sur l'importance du suivi dans les projets de restauration des zones humides comme moyen d'ajuster la mise en oeuvre du projet, d'en assurer la longévité grâce à une gestion active, et de contribuer à la connaissance scientifique de la restauration des habitats (Kusler & Kentula 1990).

Principales catégories de processus entraînant des changements écologiques:

- changements de superficie de la zone humide;
- changements du régime hydrologique;
- changements de la qualité de l'eau;
- exploitation non durable des produits de la zone humide;
- introduction d'espèces exogènes;
- gestion, négligence et restauration.

2.3.1 Changements de superficie de la zone humide

De nombreux processus peuvent entraîner une réduction de la superficie d'une zone humide. Le comblement du site permet de récupérer des terres qui peuvent être mises en valeur. Les zones humides côtières de la région méditerranéenne sont particulièrement vulnérables aux aménagements touristiques de ce type. Elles peuvent être totalement drainées pour tenter d'éradiquer les moustiques et autres fléaux, ou partiellement pour être converties en terres agricoles. La construction de routes ou autres voies de communication suppose souvent l'élévation de digues et le comblement de zones humides, ce qui peut à la fois avoir un impact direct sur la superficie de la zone et perturber le régime hydrologique au point de détruire l'écosystème. Le dépôt de toutes sortes d'ordures et de déchets est également courant dans les zones humides.

Le lac de Tunis a été progressivement réduit par l'empiétement urbain, la construction de routes et de

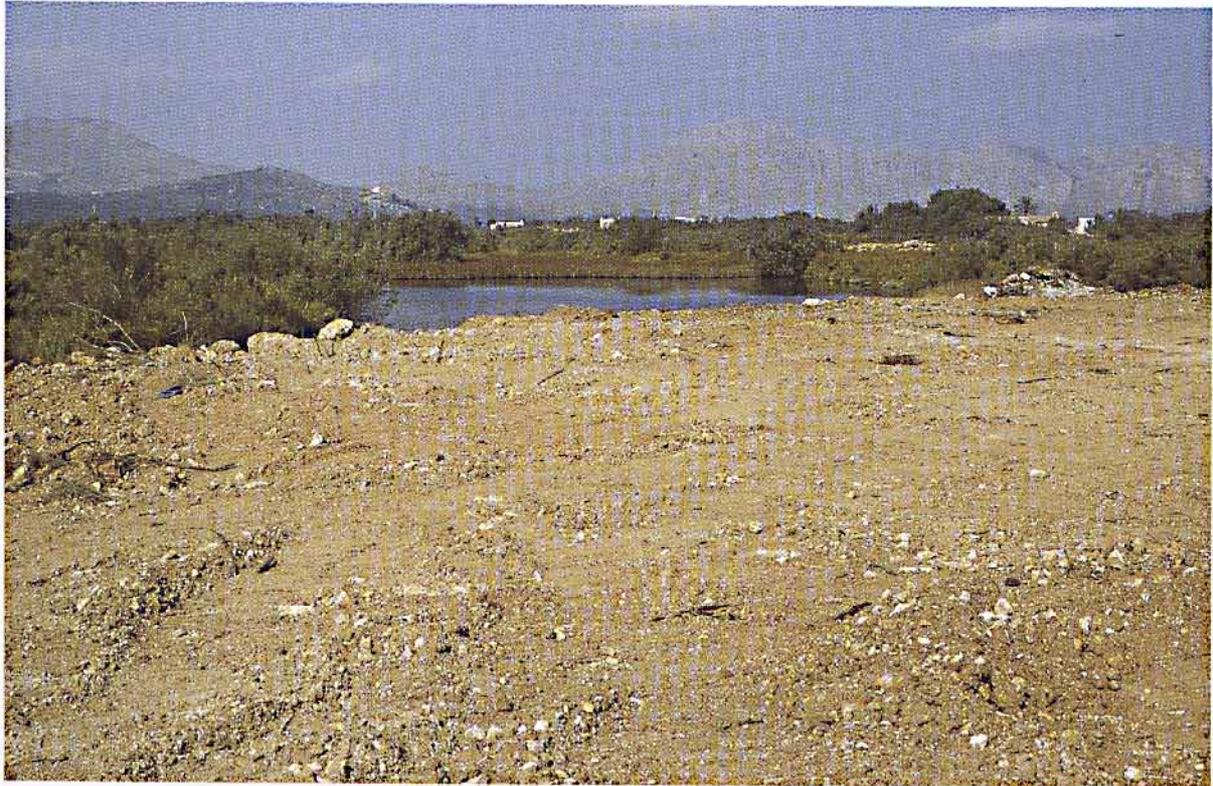


Photo 2.2 Le comblement et l'assèchement sont d'importantes causes de destruction des zones humides dans la région méditerranéenne. Can Cullerassa, Majorque. (Pere Tomàs Vives)

voies ferrées et navigables, l'expansion portuaire et le développement industriel. Durant les années 1980, près de 35% de la partie nord du lac a été récupérée par comblement et dépôt d'ordures, offrant ainsi de vastes superficies pour bâtir un nouveau quartier de la ville, des sites en bordure de lac pour des bâtiments de prestige, et un volume lacustre réduit dont il était espéré qu'il serait plus facilement renouvelé par les marées méditerranéennes limitées de la région (Zaouali 1983). Les marais de Santoña, au nord de l'Espagne, ont également en partie été comblés pour créer des routes et faciliter le développement industriel jusqu'à l'intervention de la Commission européenne.

Il est possible de perdre des fonctions naturelles et diverses des zones humides même si l'on maintient des conditions de zone humide. Dans le golfe d'Amvrakikos, à l'ouest de la Grèce, une série d'établissements de pisciculture intensive ont été bâtis avec des bassins en béton, et plusieurs viviers extensifs ont été créés en endiguant de vastes superficies de marais saumâtres périodiquement d'inondés (Papayannis 1992b).

En Algérie, le site Ramsar du lac Tonga a été partiellement asséché par la destruction d'une digue retenant l'eau dans le lac. A proximité, les marges des importants marais de Mekhada sont systématiquement drainés pour être converties en terres arables (Stevenson *et al.* 1989). En Turquie, la canalisation

des cours d'eau Kizilirmak et Göksu dans la zone de leurs deltas a réduit la superficie des habitats riverains, simplifié les habitats fluviaux restants et abaissé les lits des cours d'eau entraînant ainsi le drainage des zones humides riveraines alimentées par les eaux souterraines (Hollis 1994).

2.3.2. Changements du régime hydrologique

Le régime hydrologique est l'un des éléments moteur des zones humides et influence la nature du substrat. Le niveau d'eau, le bilan hydrologique, le taux de renouvellement et les conditions extrêmes sont les variables hydrologiques essentielles.

Changements dans le bassin versant de la zone humide

L'exploitation de l'eau dans le bassin versant en amont d'une zone humide peut avoir de sérieuses conséquences sur les caractéristiques écologiques des zones humides en aval, même distantes des ouvrages hydrauliques. Les barrages, les aqueducs entre bassins, l'extraction d'eau et l'excès de pompage des eaux souterraines sont des problèmes courants. L'irrigation est largement incriminée comme la principale activité consommatrice d'eau dans le bassin méditerranéen.



Tableau 2.3 Types de changements écologiques intervenant dans les zones humides avec certains processus en cause et exemples méditerranéens.

Type de changement écologique	Processus à la base du changement (Liste NON exhaustive)	Exemple méditerranéen
Changements de superficie	comblement: - urbanisation - industrialisation construction de routes conversion à l'agriculture dépôt d'ordures	Lac de Tunis, Tunisie Camargue orientale, Port Saint Louis, France Santoña, Espagne Delta du Pô, Italie Messolonghi, Grèce
Changements du régime hydrologique en amont	barrages: - transferts entre bassins - hydroélectricité - irrigation - évaporation dans le réservoir - piégeage des sédiments extraction d'eau fluviale extraction d'eau souterraine	Garaet El Ichkeul, Tunisie Delta de l'Ebre, Espagne Tage, Portugal La Vera, Doñana, Espagne Plaine inondable du Mondego, Portugal Delta de l'Acheloos, Grèce Delta du Rhône et Camargue, France Delta de l'Axios, Grèce Tablas de Daimiel, Espagne
Changements du régime hydrologique du site	drainage canalisation récupération de terres et poldérisation endiguement extraction d'eau irrigation dragage pour créer des voies navigables	Lac Karla, Grèce Delta du Kizilirmak, Turquie Camargue, France Ria de Aveiro, Portugal Lac Vistonis, Grèce Lac Oubeira, Algérie Lagune d'Akgol, Delta du Göksu, Turquie Lac de Bizerte, Tunisie
Changements de la qualité de l'eau	rejet d'eaux usées effluents industriels effluents aquacoles ruissellement d'éléments nutritifs d'origine agricole ruissellement de pesticides et d'herbicides salinisation des eaux de surface salinisation des eaux souterraines changements dans l'occupation des sols du bassin versant: - déforestation - érosion et envasement modification des liens à la mer: - barrage anti-sel - ouverture de l'embouchure de la lagune	Sebkhet Sedjoui, Tunisie Stagno di Cagliari, Sardaigne, Italie Golfe d'Amvrakikos, Grèce Valle Santa, Italie Estuaire du Sado, Portugal Doñana, Espagne Réservoir de Sidi Salem, Tunisie Cap Bon et Garaet El Haouaria, Tunisie Mekhada Marsh, Algérie Merja Zerga, Maroc Lac Mitricou, Grèce Lagune de Salses-Leucate, Roussillon, France
Exploitation non durable des produits de la zone humide	surpêche surchasse surpâturage exploitation minière excessive	Lac Burullus, Egypte Lagune Sto. André, Portugal Lagune de Biguglia, Corse, France Biviere di Gela, Italie Rivière Göksu, Turquie
Introduction d'espèces exogènes	plantes exogènes poissons exogènes oiseaux exogènes	<i>Eucalyptus</i> , Marais d'Odiel, Espagne Cyprin doré <i>Carassius auratus</i> , Mikri Prespa, Grèce Erismature à tête rousse <i>Oxyura jamaicensis</i> , Espagne
Gestion, négligence et restauration	restauration de plans d'eau ouverts, lutte contre la végétation par: - brûlage - pâturage - dragage gestion de la chasse gestion de la pêche restauration de la succession naturelle	S'Albufera de Mallorca, Espagne Aiguamolls de l'Empordà, Espagne S'Albufera de Mallorca, Espagne Camargue, France Étang de l'Or, France Marais salés de l'estuaire du Tage, Portugal



Le Plan national des ressources en eau tunisien prévoit six barrages sur les cours d'eau alimentant le Parc national d'Ichkeul, d'une superficie de 126 km². Avant ces ouvrages, le lac au coeur de cette zone humide était constitué d'eau douce et son niveau augmentait en hiver, inondant ainsi les marais des alentours. Les deux plus grands barrages détournent l'eau pour l'approvisionnement en eau potable et l'irrigation alors que les plus petits barrages alimentent des périmètres irrigués locaux. Quand tous les barrages seront achevés, le lac ne recevra plus que l'équivalent de l'évaporation sur les étendues d'eau libres au lieu d'un apport d'eau douce de 330 Hm³ par an. D'importantes entrées d'eau de mer produiront un lac salé de niveau relativement stable (Hollis 1992a). Après l'achèvement de trois ouvrages, la salinité est montée en flèche d'une norme hivernale pré-barrages de moins que 10 g/l à des valeurs excédant 60 g/l, avec des conséquences catastrophiques pour les *Phragmites*, *Scirpus*, *Potamogeton* et autres plantes d'eau douce ou saumâtre ainsi que pour les oiseaux hivernant et nicheurs qui en dépendaient.

Dans le Parc national d'El Kala, en Algérie, on extrait directement de l'eau d'irrigation du lac Oubeira. Les 46 Hm³ d'eau de ce lac étaient ainsi mis à profit pour approvisionner El Kala, le débit de pompage pouvant atteindre 80 m³ par heure (soit environ 0,7 Hm³ par an) sans pour autant éviter certaines coupures d'eau dans la ville. Entre mai et septembre, on autorise une extraction de 100 l/sec (près de 1,3 Hm³ par an) pour l'irrigation (Stevenson et al. 1989). Pendant les mois de sécheresse de l'été 1990, toute une série de petites motopompes ont été installées sur les bords du lac pour irriguer les champs des alentours et beaucoup de petits puits ont été creusés pour atteindre la nappe phréatique superficielle alimentant le lac. Celui-ci s'est ainsi totalement asséché pour la première fois.

Le Parc national de Las Tablas de Daimiel, sur le fleuve Guadiana au centre de l'Espagne, est une vaste zone de roselières et de mares avec un substrat tourbeux. Il était entrevenu par un apport stable d'eaux souterraines riches en calcium provenant de la nappe de La Mancha et par les crues hivernales régulières de plusieurs cours d'eau grossissant sur des roches plus imperméables. Un pompage intense de l'eau de la nappe pour irriguer une zone de culture ayant connu un développement rapide a abaissé le niveau d'eau dans l'aquifère au point que toutes les sources se sont tarées. Les cours d'eau ont perdu une grande partie de leur débit hivernal et la totalité de leur débit estival dans l'aquifère (Llamas 1988). La construction du barrage d'Azuer sur un des affluents a encore contribué à l'assèchement. Le plan de restauration de Daimiel consiste à apporter près de 30 Hm³ d'eau provenant de l'aqueduc trans-régional Tage-Segura aux sources de la Cigüela. Pour que cette eau puisse atteindre Daimiel, un programme drastique de canalisation de la Cigüela a dû être entrepris,

détruisant ainsi ses importantes roselières, asséchant un certain nombre de zones humides et endommageant des ouvrages hydrauliques sur d'autres lagunes en amont. En outre, toute une série de puits ont été creusés autour du Parc national pour l'alimenter en eaux souterraines pendant les mois critiques de l'été. Si le plan de restauration a permis de revenir aux conditions d'inondation dans le Parc, celui-ci est devenu une zone de recharge permanente des eaux souterraines et l'eau du Tage est d'une qualité tellement différente de ce qu'il y avait à l'origine que l'on enregistre des changements écologiques subtils dans les roselières et les tourbières.

Changements dans la zone humide

Des modifications hydrologiques au sein même de la zone humide peuvent affecter directement ses caractéristiques écologiques. L'apport d'eau, l'infiltration d'eau d'irrigation, les travaux d'endiguement et de drainage peuvent ainsi modifier rapidement l'écologie d'une zone humide.

La riziculture extensive en Camargue crée des habitats d'eau douce durant les mois d'été alors que leur étendue naturelle est limitée. Cette pratique a cependant pour conséquence une forte infiltration vers la nappe phréatique superficielle, entraînant une élévation des niveaux piézométriques régionaux tendant elle-même à faire remonter des eaux saumâtres dans les zones entourant les rizières (Boulot 1991; DDA 1970).

En Grèce orientale, la protection du lac Karla contre les crues du fleuve Pinios et la construction d'un tunnel vers la mer et de profonds fossés pour drainer le lac ont eu des conséquences environnementales défavorables (Gerakis 1992). Si certains des pêcheurs d'autrefois ont tiré des avantages de leur nouveau statut d'agriculteurs, les fonctions traditionnelles de la zone humide ont toutes été perdues. Il y a maintenant une pénurie d'eau d'irrigation en été, un manque d'inondation hivernale, une intrusion marine du fait de l'abaissement des niveaux piézométriques, des problèmes sociaux résultant de l'absence de planification dans l'affectation des terres, une pollution par les industries locales de transformation des produits agricoles, une grave pollution par produits agrochimiques, et on ne trouve plus de poissons d'eau douce ni d'oiseaux d'eau.

Au centre de la Tunisie, Sebket Kelbia est un lac temporaire qui s'assèche occasionnellement sans laisser de croûte de sel. Lorsqu'il est en eau, il abrite de grandes concentrations d'oiseaux et revêt ainsi une importance internationale. Le bassin du lac est normalement endoréique et il n'y a que des rares débordements vers la mer. La demi-douzaine de crues



du XXe siècle ont eu de fortes répercussions du fait des dommages en aval, notamment en 1969. La capacité du lac a été réduite de 343 Hm³ en 1934 à 169 Hm³ seulement aujourd'hui en raison de l'importance de la teneur en sédiments des cours d'eau débouchant dans le lac et de l'érosion du seuil de débordement. On a montré que cette baisse de capacité a eu plus d'impact sur l'écologie du lac que ne l'auront les changements qui résulteront des trois grands barrages limitant maintenant l'apport des cours d'eau (Hollis & Kallel 1986).

2.3.3 Changements de la qualité de l'eau

L'enrichissement en éléments nutritifs est l'une des formes les plus fréquentes de pollution des zones humides dans la région méditerranéenne (Golterman 1992). Beaucoup d'entre elles reçoivent en effet des quantités excessives d'azote et de phosphore provenant des eaux usées urbaines et des ruissellements agricoles. On commence maintenant à trouver des détergents sans phosphates, tardivement, mais l'emploi d'engrais agricoles a augmenté. En outre, beaucoup de petites zones humides sont polluées de par leur utilisation comme égouts ou décharges pour les communautés rurales voisines (voir, par exemple, Lieutaud et al. (1992) sur les lagunes du Languedoc en France).

Un grand nombre d'étendues d'eau côtières de la région sont maintenant sérieusement eutrophisées. C'est ainsi que des tonnes d'azote et de phosphore aboutissent dans les lagunes tidales du delta du Pô (Viaroli 1992), que les lagunes des deltas du Nestos et du Louros et de l'Arachthos en Grèce sont qualifiées d'eutrophes (Papayannis 1992b) et que le lac Manzalla en Egypte reçoit des eaux usées et des déchets industriels non traités (Ramsar Bureau 1993a). Ces étendues d'eau étant souvent peu profondes et renouvelées de manière irrégulière, il se crée d'importantes formations d'algues macroscopiques. Les lagunes et autres étendues d'eau côtières sont maintenant plus couramment le siège d'odeurs nauséabondes, de proliférations de phytoplancton potentiellement toxique et de périodes d'anoxie critiques.

Une grande partie de la pollution industrielle dans le bassin méditerranéen provient des complexes pétrochimiques qui ont contribué à la prospérité de la région. La menace de pollution due au transport et au raffinage du pétrole est évidente pour les zones humides côtières et leur espèces sauvages, qui peuvent être dévastées par les marées noires. La fabrication de plastiques, de pesticides, d'engrais et de produits pharmaceutiques s'effectue dans d'énormes complexes tels que ceux installés le long de la lagune de Venise et de l'étang de Berre dans le sud de la France. Les produits chimiques agricoles aboutissent également dans les

Photo 2.3 L'industrie pétrochimique est une des grandes sources de pollution des zones humides méditerranéennes. Zone industrielle autour de l'étang de Berre, France. (Pere Tomàs Vives)





zones humides. L'élimination et l'accumulation des déchets constituent des problèmes complexes et il y a toujours des risques d'écoulement et de pollution en aval.

L'extraction minière défigure la région méditerranéenne depuis des millénaires. Les mines à ciel ouvert modernes telles que celles qui entourent l'infâme baie de Portman, en Espagne, ont décimé la faune des fonds marins voisins. L'élimination des eaux usées des complexes touristiques et urbains grandissants est un véritable fléau pour un grand nombre de zones humides. Il est de toute urgence nécessaire de se doter de systèmes peu coûteux de traitement et d'élimination pour de nombreux déchets urbains, agricoles et industriels. Les filtres que constituent les zones humides peuvent contribuer au traitement des eaux usées, comme on l'a suggéré dans le cas des lagunes du delta du Pô, mais il ne s'agit pas de la solution universelle. La capacité naturelle des zones humides à assimiler les déchets peut souvent être dépassée, exacerbant ainsi les problèmes d'eutrophisation et de pollution.

2.3.4 Exploitation non durable des produits de la zone humide

Beaucoup de zones humides de la région méditerranéenne sont considérées comme des ressources communautaires et certains utilisateurs

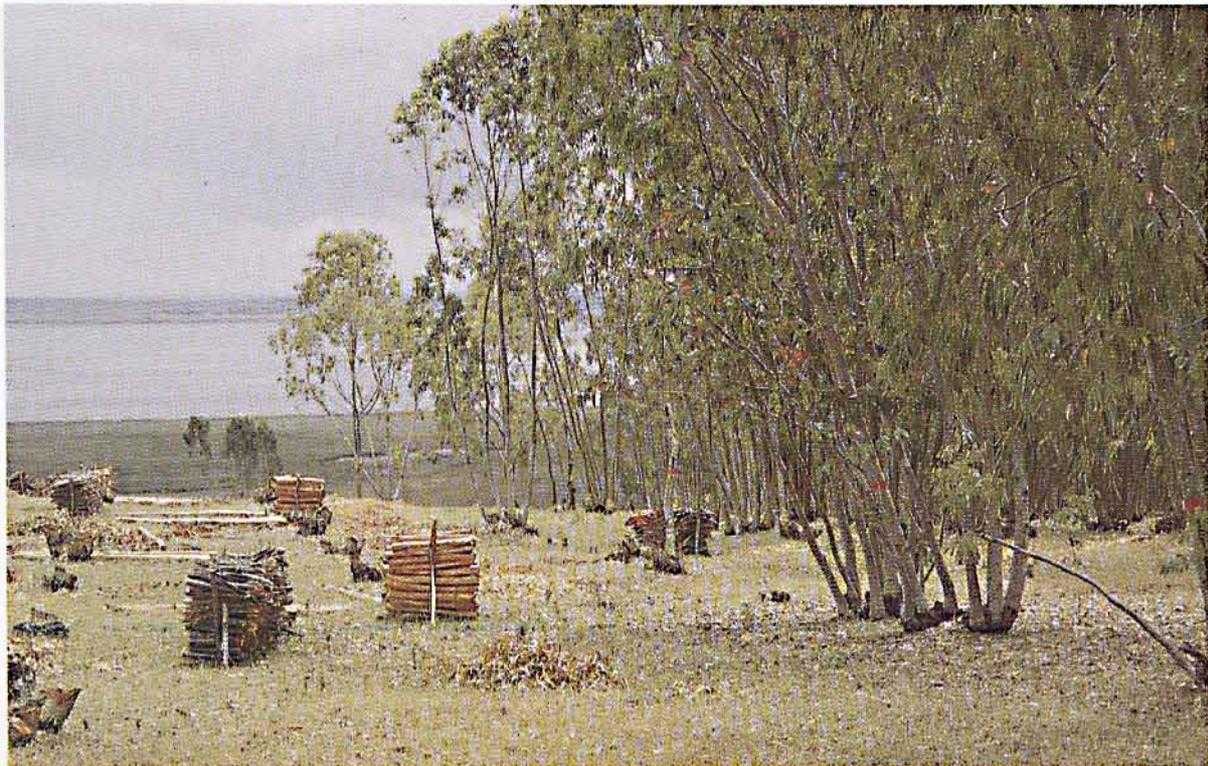
cherchent à en tirer le maximum sans égard au niveau approprié d'exploitation durable par l'ensemble des utilisateurs. On constate donc un surpâturage des marais, une surpêche dans les lacs et lagunes et des prélèvements excessifs d'oiseaux d'eau sans qu'une attention suffisante soit accordée aux réglementations.

Tamisier (1992) a examiné les changements qualitatifs intervenant dans les derniers habitats naturels de Camargue du fait des pressions humaines. Il citait le cas des pâturages qui avaient diminué de moitié alors que l'intensification des exploitations, notamment par l'utilisation de compléments alimentaires artificiels, avait entraîné un doublement des troupeaux. Si l'exploitation touristique de la Camargue "authentique" est rentable, elle est également à l'origine de la division de l'habitat naturel en petites parcelles souffrant de surpâturage et de piétinement. Le prélèvement annuel de 150.000 canards hivernant en Camargue n'a pas changé depuis des années alors que la chasse a beaucoup augmenté, une évolution que Tamisier (1992) a interprété comme une preuve de la baisse des "prises par d'unité d'effort" et donc de surchasse.

2.3.5 Introduction d'espèces exogènes

Des espèces exogènes, végétales ou animales, peuvent s'implanter dans les habitats des zones humides par la

Photo 2.4 Plantation d'eucalyptus sur les dunes côtières de la Merja Zerga, Maroc. (Francesca Crespi Ramis)





volonté humaine ou par accident. L'homme peut ainsi penser que la nouvelle espèce exploitera une niche particulière de l'écosystème et en améliorera significativement la valeur. Si le système tout entier peut être perturbé en raison d'une introduction accidentelle, ce peut également être le cas avec des introductions planifiées. Dans les deux cas, l'introduction de la nouvelle espèce entraîne certains changements écologiques.

Au cours des années 80, on a introduit le cyprin doré *Carassius auratus* dans le Parc national de Prespa, en espérant probablement que cette mesure permettrait de renverser la tendance à la baisse des pêches. Les effectifs et la taille des cyprins dorés ont rapidement augmenté et l'espèce est bientôt devenue la principale composante des prises. Elle n'atteint toutefois qu'une valeur relativement faible sur le marché et des études ultérieures ont montré que la médiocrité des prises était consécutive à une surpêche (Catsadorakis & Crivelli sous presse).

Peu de temps après la seconde guerre mondiale, l'Erismature rousse *Oxyura jamaicensis* a été importée d'Amérique du Nord dans la réserve du Wildfowl and Wetlands Trust de Slimbridge, en Angleterre. Un certain nombre d'oiseaux se sont échappés et ont prospéré au Royaume-Uni avant de s'étendre dans toute l'Europe, et notamment en Espagne où l'espèce se

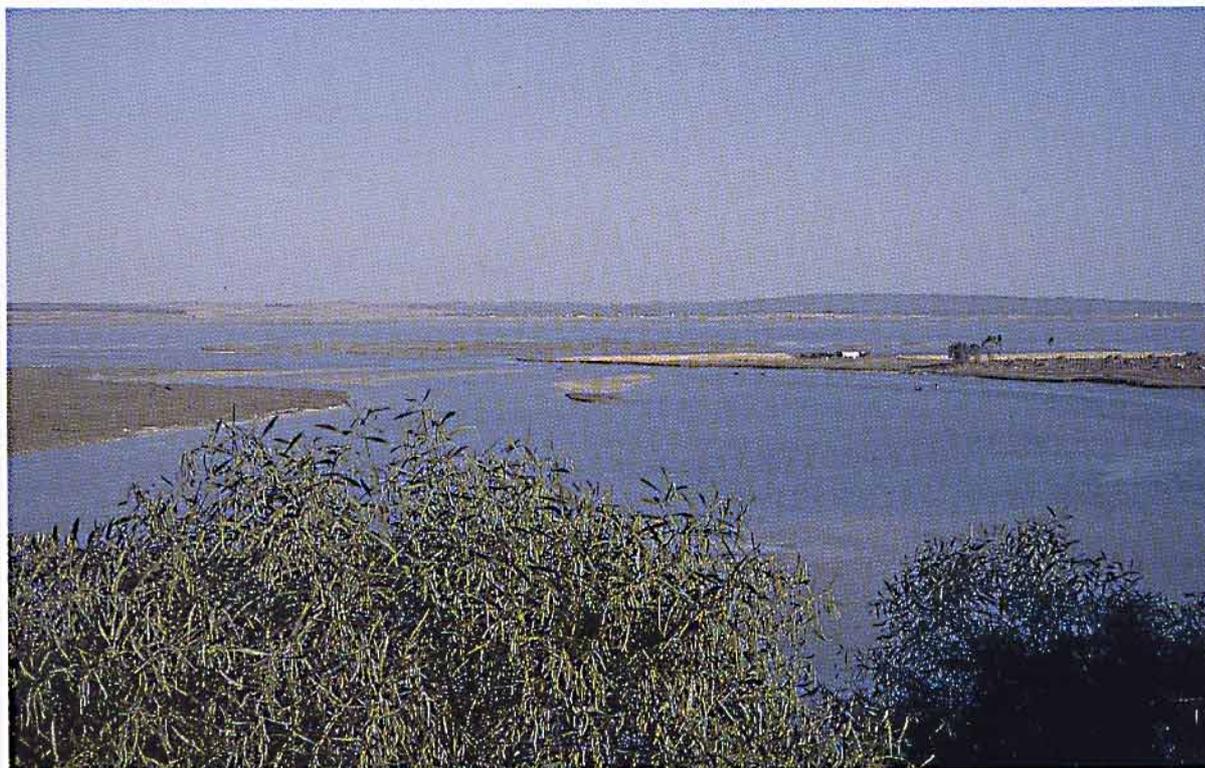
croise avec l'Erismature à tête blanche, *Oxyura leucocephala*, rare et menacée, pour produire des hybrides. Une campagne d'extermination a été lancée pour sauver l'Erismature à tête blanche de l'extinction dans la région méditerranéenne.

L'*Eucalyptus*, qui venait d'Australie, est peut-être l'espèce introduite la plus omniprésente dans la flore méditerranéenne. Cet arbre est particulièrement avide d'eau et a été utilisé dans certains cas pour assécher des zones humides. Il a été planté pour sa fibre, et son aptitude à pousser sur des sols très pauvres a permis le développement d'une industrie de la pâte à papier. Il ne fournit cependant pas grand chose, voire rien à la faune locale, il ne produit aucun sous-bois et appauvrit les sols. Des plantations semi-commerciales d'*Eucalyptus* occupent de grandes superficies de dunes et de dépressions intradunales à El Kala, en Algérie. Un forêt similaire dans le Parc naturel des marais d'Odiel, en Espagne, est actuellement en train d'être éliminée du fait de sa nature exogène.

2.3.6 Gestion, négligence et restauration

Grâce à des mesures de gestion efficace et à des plans de restauration, et parfois par négligence mineure, l'homme peut avoir un impact positif sur les zones humides.

Photo 2.5 On constate des changements quantitatifs et qualitatifs de l'eau de la Merja Zerga, une zone humide d'importance internationale sur la côte atlantique du Maroc. (Francesca Crespi Ramis)





Les mesures de gestion des habitats peuvent améliorer significativement les fonctions, produits et attributs des zones humides lorsqu'elles sont correctement mises en œuvre avec des systèmes de suivi et d'évaluation. Le complexe de plus de 10.000 ha de lagunes de Caorle, de Venise, du delta du Pô et de Comacchio est depuis des siècles le lieu d'activités traditionnelles de pêche et d'aquaculture. Le système d'aquaculture "vallicoltura" constitue un lien particulièrement important entre la conservation des zones humides et l'utilisation des marais (Rallo 1992) et un exemple de gestion intégrée dont les techniques ont été élaborées au cours des siècles. Tavis (1990) a décrit les processus et coûts du plan de gestion de la réserve naturelle privée de la Tour du Valat, en Camargue, France. Les importantes mesures de gestion permettent de préserver la biodiversité de la réserve et d'y effectuer des recherches écologiques mais aussi de cultiver les sols et d'y faire paître des troupeaux. Il a montré que les coûts de gestion de la réserve naturelle s'élevaient à 50 ECU par ha, y compris le suivi écologique, et s'ajoutaient aux inévitables coûts fixes.

L'activité humaine, notamment le développement de l'industrie du sel avec ses bassins d'évaporation, peut être très bénéfique pour certains oiseaux méditerranéens. Sept pays de la partie occidentale du bassin méditerranéen abritent près de 70.000 flamants roses *Phoenicopterus ruber roseus*. Les oiseaux se reproduisent chaque année dans des colonies pouvant compter jusqu'à 20.000 couples sur une île artificielle dans les salines de Camargue. Ils nichent aussi régulièrement à Fuente de Piedra en Andalousie et ne fréquentent les sites naturels de reproduction en Espagne et en Tunisie que si ceux-ci ont été inondés après de fortes pluies automnales et hivernales (Johnson 1992). Des salines industrielles et quelques opérations artisanales parsèment l'ensemble de l'aire de répartition méditerranéenne du flamant rose. Ces habitats artificiels ou modifiés par l'homme s'avèrent très bénéfiques aux flamants parce que les niveaux d'eau sont idéaux, la nourriture y est souvent abondante et en quantités prévisibles, et parce que beaucoup d'entre eux sont bien protégés. Au Portugal, des salines en activité ou abandonnées peuvent abriter des densités relativement importantes de couples reproducteurs d'échasses blanches *Himantopus himantopus*. On ne recense ainsi qu'un couple par 10 ha dans les exploitations piscicoles de l'estuaire du Tage, alors que cette densité est double dans les salines actives et triple dans les salines inactives. La "productivité" des salines en termes de reproduction des échasses blanches peut être significativement accrue par une gestion active (Rufino & Neves 1992).

Merja Zerga, sur la côte atlantique au nord du Maroc, est une lagune intertidale peu profonde d'importance internationale; ses importantes étendues de vasières (3.625 ha), très productives, constituent le principal

site pour les oiseaux d'eau de passage et hivernants au Maroc (Michel & Salathé 1991). Le Bureau de Ramsar (1990) note que "Merja Zerga est ... le premier site de zones humides au Maroc, et la plus importante zone d'hivernage dans le pays pour des dizaines de milliers d'oiseaux d'eau". Une récente étude hydrologique et bibliographique a révélé, pour la première fois, que si seule une petite partie de l'ensemble des flux coulant vers la zone humide et en provenance de celle-ci était constituée d'eau douce, des sources locales d'eau souterraine alimentaient des habitats d'eau douce d'importance cruciale (Goldsmith *et al.* sous presse). Malgré le peu d'intérêt apparent des responsables de la gestion de l'eau pour cette région, en termes de mesures de gestion active et de suivi, la lagune a pu conserver son importance écologique pour les oiseaux d'eau, les pêcheries et le pâturage. De grandes modifications qualitatives et quantitatives des caractéristiques hydrologiques ont été associées à l'assèchement d'un système fluvial, pour les besoins de l'irrigation, et à la multiplication par six des apports d'eau douce, mais polluée, consécutive à la canalisation vers Merja Zerga des eaux provenant du drainage d'un bassin versant et de périmètres d'irrigation situés plus au sud (Conservation Course 1994).

Les projets de restauration des zones humides deviennent plus fréquents dans la région méditerranéenne (Montes *et al.* 1995). A Doñana, en Espagne, le régime d'inondation des Marismas a été interrompu suite à un drainage agricole entrepris en dehors du Parc. Il a cependant pu être restauré en pompant l'eau d'une rivière vers les marais et en supprimant une berge afin de permettre l'invasion des marais par les eaux estuariennes (Hollis & Jepsen 1991). Si ce plan semblait avoir été efficace dans un premier temps, la poursuite du programme de suivi soulève de plus en plus de questions quant à sa valeur à long terme. Les chasseurs constituent parfois de puissants groupes de pression en faveur de la conservation des zones humides, et peuvent apporter également des bénéfices économiques aux propriétaires terriens. La relative richesse des associations de chasse permet aussi de recruter des chercheurs et de financer des projets de restauration des zones humides tels que celui des marais de Bozza sur le lac Maggiore (Sorrenti & Concialini 1992). Enfin, en Algérie, les mesures prises par les hydrauliciens pour protéger des crues les aciéries d'Annaba ont entraîné la restauration presque fortuite du lac Fetzara et des zones humides associées. Une bonne gestion des vannes à la sortie du lac fournit maintenant de l'eau pour l'irrigation, prolonge la saison de pâturage et assure une protection contre les crues en aval; elle a en outre rétabli des habitats pour les oiseaux d'eau, notamment pour l'Oie cendrée *Anser anser*, et recrée des occasions de chasse (Stevenson *et al.* 1989). Cette restauration par inadvertance n'a, bien sûr, pas été associée à un programme de suivi et son efficacité et ses avantages à long terme ne sont pas étudiés.



2.4 Causes de changements écologiques défavorables

Presque toutes les zones humides méditerranéennes ont été plus ou moins influencées par des siècles d'activités humaines. À l'approche du nouveau millénaire, elles sont presque toutes soumises à d'intenses pressions d'aménagement et menacées de dégradation ou de destruction. Pour éviter d'autres changements écologiques défavorables, il convient d'en aborder les facteurs sous-jacents et souvent invisibles, les composantes politiques et institutionnelles, de même que les causes plus apparentes et presque toujours évidentes (Hollis 1992b).

En termes de suivi, on ne peut habituellement se contenter de la seule évaluation des changements survenant dans les zones humides. Les divers facteurs à l'origine de ces modifications, généralement défavorables, sont alors souvent trop établis pour être réversibles. Un bon programme de suivi d'une zone humide doit donc non seulement s'appuyer sur des éléments propres à l'écosystème mais aussi tirer parti de renseignements obtenus auprès des agences de développement et des instances où sont formulées les politiques.

2.4.1 Facteurs sous-jacents

Les causes profondes de la poursuite de la dégradation et de la destruction des zones humides méditerranéennes sont les suivantes: la pression démographique; le manque de sensibilisation des politiques et du grand public aux valeurs des zones humides; le manque d'engagement politique en faveur de la conservation des zones humides; l'excès de centralisation des procédures de planification; et les politiques et irrégularités financières. Parmi les facteurs externes figurent les politiques de la CE, les activités des agences d'aide au développement, bien qu'elles révisent leurs pratiques, et l'héritage du passé. Les causes plus immédiates se rapportent à la faiblesse des institutions de conservation; à l'organisation sectorielle des processus décisionnels; aux insuffisances des études d'impact et des analyses coûts-avantages; au manque de capacité coercitive, réduisant la portée de législations pourtant correctes; au manque de personnel bien formé; aux insuffisances des pressions internationales; et à des alliances promouvant les études plus que les actions (Hollis 1992b).

2.4.2 Causes apparentes

Parmi les causes apparentes de la perte et de la dégradation des zones humides figurent des activités

qui en affectent directement les caractéristiques écologiques. Ce sont, en fait, des manifestations des causes profondes de la destruction des zones humides, généralement inséparables des pressions exercées par la croissance démographique et la poursuite du développement économique. Les principales causes apparentes de destruction et de dégradation des zones humides comprennent:

- l'intensification de l'agriculture;
- l'urbanisation et l'industrialisation;
- les aménagements touristiques;
- l'augmentation de la pêche et la multiplication des projets d'aquaculture;
- les activités de chasse.

Bien que citées séparément, ces causes ne sont pas totalement indépendantes. La pollution de l'eau peut ainsi être due à des pratiques industrielles et agricoles comme à des aménagements touristiques et piscicoles. La pression du tourisme peut aussi entraîner la conversion de zones humides et des prélèvements d'eau excessifs. L'intensification de l'agriculture, grâce à l'irrigation, l'expansion des complexes touristiques, le bourgeolement des centres urbains, et l'augmentation de la demande en énergie électrique peuvent conjointement inspirer des projets de barrages et de détournement d'eau, incluant la production d'hydroélectricité, avec des conséquences radicales sur les zones humides en aval. Il convient de garder à l'esprit cette interdépendance lors de l'établissement de plans de gestion et de programmes de suivi visant à remédier aux causes de destruction et dégradation des zones humides. Il est bien entendu souvent beaucoup trop tard pour prendre des mesures correctrices une fois que les changements ont été perçus dans la zone humide.

Intensification de l'agriculture

L'agriculture est un des principaux secteurs d'activité dans l'ensemble du bassin méditerranéen. L'irrigation est utilisée, à des degrés divers, dans tous les pays et d'importantes pressions sont exercées pour accroître et intensifier la production agricole par l'amélioration de l'irrigation et du drainage, l'utilisation accrue d'engrais et autres produits agrochimiques, et l'accroissement de la mécanisation. Au sud et à l'est de la région, la croissance démographique est un facteur contraignant (Golini *et al.* 1990). Récemment encore, la Politique agricole commune de l'UE, avec ses prix garantis, a été l'un des principaux moteurs de l'intensification (Baldock 1990). L'accroissement des superficies cultivées, l'augmentation de la demande en eau d'irrigation et le ruissellement des éléments nutritifs et des produits agrochimiques peuvent tous entraîner des changements écologiques dans les zones humides (Viaroli 1992).



Photo 2.6 Les techniques agricoles traditionnelles sont abandonnées pour être remplacées par l'agriculture intensive, avec une utilisation accrue d'engrais et de pesticides chimiques. Vue des veles, un système de riziculture traditionnelle, près de s'Albuïera de Mallorca. (Gabriel Perelló Coll)

Le drainage des zones humides, lagunes et lacs peu profonds est l'un des moyens de conversion – et de destruction – des zones humides les plus faciles et plus spectaculaires que l'homme puisse mettre en oeuvre pour accroître les superficies agricoles (Hollis 1990). Les techniques habituellement utilisées font appel à la construction de digues, vannes, stations de pompage et systèmes de drainage souterrain. Lors du drainage de terrains tourbeux, l'oxydation des sols récemment aérés conduit rapidement à leur rétraction et à l'abaissement du niveau du sol. Un lac peu profond a été drainé le long du cours inférieur de la rivière Strymon, au nord de la Grèce, afin de récupérer des sols tourbeux très productifs. Ceux-ci se sont progressivement décomposés et la plupart des agriculteurs connaissent des problèmes de drainage (Psilovikos 1992).

Les projets d'irrigation peuvent affecter les zones humides de plusieurs manières: création de retenues sur les cours d'eau; réduction des débits par transferts entre bassins ou augmentation de l'évaporation dans les champs eux-mêmes; salinisation des eaux souterraines et des cours d'eau en aval puisque l'évaporation entraîne une concentration des sels dans les eaux s'écoulant des champs; conversion et drainage des zones humides, ou au moins de leurs pourtours; conséquences négatives du lessivage d'engrais et autres produits agrochimiques provenant des cultures

intensives (Llamas 1988; Hollis 1990; DHKD 1992; Munteanu & Toniuc 1992).

Urbanisation et industrialisation

La croissance de la population méditerranéenne, sa concentration toujours plus grande dans des centres urbains, et l'importance du secteur industriel dans les villes du bassin soumettent les zones humides à des pressions intenses (Golini *et al.* 1990). Dans certains cas, et notamment en zone côtière à proximité de Montpellier, France, (Tamisier 1992) et d'Annaba, Algérie, (Stevenson *et al.* 1989), on constate des incursions dans les zones humides, principalement pour construire des résidences secondaires et des hôtels. Toutes les villes prélèvent de grandes quantités d'eau de leur arrière-pays, Athènes étant tristement célèbre pour s'être récemment approvisionnée dans l'Evinos qui alimente les zones humides de Messolonghi, de l'autre côté du pays (Hollis 1993). En outre, les industries produisent des déchets et les villes doivent toutes se débarrasser de leur eaux usées (World Bank & EIB 1990).

La gestion du Rhône après la seconde guerre mondiale illustre la diversité et les interdépendances des impacts d'un plan complexe visant à fournir aux villes de l'électricité, une voie navigable et des cultures



irriguées. La construction de 48 barrages hydroélectriques et de 19 écluses contrôlant 200 km de canaux de dérivation, et le détournement d'eau pour la production d'hydroélectricité sur le cours supérieur et pour l'irrigation dans la plaine côtière méditerranéenne ont eu de profonds impacts sur le fleuve. Sur son cours supérieur, les débits maximums ont diminué au printemps et en été alors qu'ils ont augmenté en hiver du fait de la gestion des barrages. A Porte du Scex, où le Rhône débouche dans le Léman au travers du site Ramsar des Grangettes, la rapport entre les débits maximum et minimum est tombé de 8,8 avant 1930 à 3,8 seulement après 1951. En Camargue, où le fleuve se divise autour du delta, le débit a baissé de 10% en raison de détournements d'eau, entraînant une migration d'eau saline vers l'amont. Les installations hydroélectriques ont réduit le débit d'avril à décembre mais l'ont significativement augmenté pendant les mois hivernaux lorsque la demande en électricité est maximale. Outre ses conséquences écologiques, cette réduction dans des débits d'étiage n'est pas propice au refroidissement des centrales nucléaires installées le long du fleuve. La baisse de la charge sédimentaire du Rhône, de près de 50 millions de tonnes par an dans les années 1930 à moins de 3 millions de tonnes aujourd'hui, liée au piégeage du limon par les barrages, se ressent dans le delta dont le front s'est érodé à un taux variant entre 3 et 10 m par an au cours des dix dernières années (Corre 1992).

Aménagements touristiques

Le tourisme a constitué dans la région méditerranéenne un sérieux facteur de dégradation et de destruction des zones humides. Parmi les pires exemples de ses impacts figurent le comblement de zones humides dans le Languedoc, France, pour fournir des terrains pour un tourisme de masse de faible rapport, le pompage de l'eau douce des dunes côtières de Doñana, Espagne, pour approvisionner Matalascañas (Hollis, Mercer & Heurteaux 1989), la construction illégale de résidences secondaires sur le banc de sable de Louros à Messolonghi, Grèce (Handrinos 1992), et le dépôt d'ordures non traitées dans les lagunes de Faro, Obidos et Albufeira au Portugal.

Bien géré, le tourisme peut être compatible avec la conservation des zones humides, mais même dans ce cas il peut donner lieu à des critiques, comme en Camargue, France (Tamisier 1992), où beaucoup de propriétaires entretiennent leurs marais d'eau douce pour attirer des chasseurs. A Majorque, un grand projet de restauration et de diversification des habitats est en cours pour améliorer l'importance écologique et économique de s'Albufera. Il peut parfois s'avérer nécessaire de limiter le tourisme à certaines périodes de

l'année (par exemple en période de croissance de plantes rares ou lorsque des oiseaux coloniaux nichent sur les plages). Les retombées économiques potentielles du tourisme lié aux zones humides pourraient être importantes au niveau local, surtout s'il est possible d'attirer les touristes en dehors des saisons principales, comme c'est le cas pour les ornithologues.

Pour planifier le développement de nouvelles activités touristiques liées aux zones humides, les pouvoirs locaux doivent, avec les conseils de scientifiques et des organismes de conservation, tenir compte de l'ensemble des conséquences potentielles de leurs choix (Ramsar Bureau 1993b). Ainsi, lorsque l'on cherche à garantir la disponibilité d'eau potable pour un complexe touristique, il peut être nécessaire d'envisager des mesures pour assurer la conservation des zones humides voisines et en aval. En outre, les installations locales de traitement des ordures et des eaux usées auront sans doute à faire face à des volumes beaucoup plus importants durant la saison touristique estivale. D'autres problèmes surviennent si les espèces sauvages sont perturbées, si les sols à proximité des zones humides sont compactés et si les ruissellements augmentent. Tous ces éléments doivent être incorporés dans les plans de développement afin de garantir que la valeur des zones humides sera accrue et non diminuée. Il est évidemment indispensable d'entreprendre un premier programme de suivi pour donner aux promoteurs des informations sur les zones humides qui pourraient être affectées par leurs projets et un deuxième qui concernera les projets de développement eux-mêmes.

Pêche et aquaculture

La pêche était autrefois la principale activité pratiquée dans les lacs d'eau douce, grands fleuves et lagunes de la région méditerranéenne. Aujourd'hui cependant, avec la dégradation des habitats, l'agriculture et d'autres activités ont largement supplanté les pratiques de pêche traditionnelles et durables (Crivelli 1992). Dans certains cas, la pêche a disparu (comme dans beaucoup de grands fleuves et quelques lacs) ou est devenue une activité marginale (dans les lagunes de l'étang de l'Or, France, par exemple). La dégradation des habitats, la pollution et l'eutrophisation, l'introduction d'espèces de poissons exogènes et la surpêche, souvent favorisée par de nouvelles technologies, sont les principaux facteurs responsables de la baisse des pêcheries dans la région (Crivelli 1992).

Tous ces facteurs ont contribué au déclin ou à la disparition d'espèces de poissons indigènes ainsi qu'à l'épuisement des stocks de poissons commerciaux comme la précieuse Carpe commune *Cyprinus carpio* dans le lac Koronia, en Grèce, et les mulets *Liza aurata* et *Chelon labrosus* dans le site d'Albufera des Grau, aux Baléares



(Cardona & Pretus 1992). Lorsqu'elle est pratiquée avec des techniques traditionnelles n'ayant pour ainsi dire pas changé, la pêche dans les lagunes est considérée comme compatible avec le maintien de la biodiversité et de l'intégrité des zones humides méditerranéennes. Malheureusement, ces dernières décennies ont vu se développer des formes d'aquaculture intensive axées sur des espèces de haute valeur telles que le Loup *Dicentrarchus labrax* et la Daurade *Sparus aurata*.

De nombreux élevages de truites ont été installés dans les zones humides d'eau douce et divers types de cages destinées à d'autres espèces font maintenant plus couramment partie du paysage des lacs et réservoirs, notamment en Italie. De telles pratiques augmentent généralement le risque d'eutrophisation et de déversement de pesticides et d'hormones de croissance dans l'environnement. En outre, on peuple des zones humides d'eau douce avec des espèces exogènes, comme la Carpe amour *Ctenopharyngodon idella*, entraînant au lac Oubeira, Algérie, par exemple, la disparition de toute la végétation émergente et submergée. De plus, le secteur de l'aquaculture reste encore beaucoup trop dépendant de l'approvisionnement en alevins provenant du milieu naturel (des lacs Ichkeul, en Tunisie, et Tonga, en Algérie, pour les exploitations piscicoles italiennes par exemple) et de l'introduction d'espèces exogènes et

entraîne d'importantes dégradations des zones humides naturelles comme sur les rives septentrionales du golfe d'Amvrakikos, en Grèce. Dans les zones humides côtières, l'aquaculture a contribué à la dégradation ou à la destruction d'habitats, du fait de la construction d'enclos dans les systèmes lagunaires, de l'aménagement et donc de la perturbation du substrat pour l'élevage des palourdes et de la transformation des salines (comme dans l'estuaire du Sado, Portugal).

Activités de chasse

La chasse au gibier d'eau n'est pas forcément une cause de destruction des zones humides, mais sa pratique est tellement intense dans beaucoup de zones humides méditerranéennes qu'elle peut entraîner une dégradation de l'écosystème par perturbation, saturnisme (empoisonnement au plomb) et effets directs sur les populations d'oiseaux (Tamisier 1987). Les mesures de gestion prises pour favoriser la chasse, telles que les coupes de roseaux et les inondations à contre-saison des marais comme en Camargue, peuvent diminuer la qualité et la diversité de la végétation. Les informations relatives à l'importance de la dégradation des zones humides du fait de la chasse sont souvent insuffisantes pour les besoins d'une gestion efficace: les statistiques sont fréquemment en deçà des nombres réels d'oiseaux abattus; les données

Photo 2.7 Les aménagements touristiques et cynégétiques font partie des facteurs affectant la qualité et la diversité des zones humides méditerranéennes. Complexe touristique et zone aménagée pour la chasse (au premier plan), Albufereta de Pollença, Majorque. (Pere Tomàs Vives)





sur les oiseaux mourant du saturnisme sont incomplètes, et celles qui se rapportent au degré de perturbation sont très variables (Perco & Perco 1992).

Chaque responsable de la gestion d'une zone humide peut contribuer à une pratique rationnelle de la chasse en faisant respecter les règlements et calendriers d'ouverture, en luttant contre le braconnage et entretenant un ensemble semi-naturel et diversifié d'écosystèmes de zones humides (Sorrenti & Concialini 1992). Diverses stratégies conservatrices basées sur la réduction des risques ont été proposées pour la chasse au gibier d'eau aux niveaux national et supranational, notamment: l'amélioration du système d'octroi des permis; l'établissement de liens entre le nombre de chasseurs et la capacité de charge potentielle; la création d'un réseau de zones non perturbées; la fermeture de la chasse avant le début de la migration de printemps; l'introduction de munitions non toxiques; l'établissement de quotas pour les espèces en déclin; l'interdiction de toute activité de chasse pour les espèces menacées d'extinction ainsi que pour celles qui leur ressemblent étroitement; le recueil de données sur l'intensité de la chasse; une gestion plus stricte de la chasse touristique; et de meilleures politiques et procédures d'application pour réduire le braconnage. Ces mesures, de même que des dispositions pour garantir le strict respect des réglementations de chasse, devraient être adoptées tout au long des voies de migration des oiseaux d'eau.

Le suivi des effectifs dans un site particulier peut aider à déterminer à la fois l'impact de la chasse et la capacité de charge, alors que les recensements coordonnés au niveau international sont indispensables pour dégager des tendances à long terme quant aux populations globales d'oiseaux d'eau.

2.5 Conclusion: changement écologique et suivi

En conclusion, les changements écologiques sous forme de dégradations d'origine humaine et relativement rapides des zones humides méditerranéennes sont courants et entraînent une diminution des fonctions et valeurs de ces écosystèmes. Il y a beaucoup moins d'exemples d'impact positif de l'ingérence humaine, mesures de gestion ou de restauration, sur le fonctionnement des zones humides.

Les principales catégories de processus produisant des changements écologiques défavorables sont: les changements de superficie de la zone humide; les changements du régime hydrologique; les changements de la qualité de l'eau; l'exploitation non durable des produits de la zone humide; et l'introduction d'espèces exogènes. Les facteurs qui sous-tendent ces

changements écologiques sont sociaux, économiques et politiques mais les causes immédiates sont liées à des activités humaines telles que l'extension et l'intensification de l'agriculture, l'urbanisation et l'industrialisation, le tourisme, la pêche et la chasse.

La gestion des zones humides méditerranéennes exige de suivre l'ampleur des changements écologiques pour pouvoir prendre des mesures correctrices, ce qui est faisable lorsqu'il s'agit, par exemple, d'effectifs de canards et de l'impact de la chasse, l'organisme de gestion pouvant espérer exercer un certain contrôle au sein même de la zone humide. Il n'est cependant pas aussi facile de gérer les changements de régime hydrologique dus à la construction d'un barrage destiné à satisfaire la demande en eau potable et d'irrigation dans un autre bassin fluvial. En effet, lorsque les changements écologiques auront été perçus grâce au programme de suivi, il sera probablement beaucoup trop tard pour prendre des mesures de gestion puisque le barrage et le système de transfert d'eau seront alors opérationnels. Dans le cas de projets pouvant avoir des effets défavorables sur les caractéristiques écologiques des zones humides, il est nécessaire de recourir à une structure institutionnelle pour assurer la gestion intégrée de toutes les demandes d'eau dans l'ensemble des bassins fluviaux. Le suivi des impacts écologiques du changement climatique et de l'élévation du niveau des mers sur les zones humides méditerranéennes (Jeftic *et al.* 1992) sera primordial puisqu'il est probable que les zones humides côtières seront de bons indicateurs des changements écologiques au niveau mondial. Il sera cependant difficile de séparer les effets des activités humaines locales de ceux, plus généraux, des changements écologiques mondiaux. La gestion des changements écologiques à l'échelle mondiale doit évidemment avoir lieu au niveau international, mais le suivi écologique local peut révéler des possibilités de mesures de gestion et d'atténuation au niveau des sites.

RÉFÉRENCES

- Adamus, P. and Stockwell, L. 1983. *A method for wetland functional assessment. Vols. I and II.* Reports FHWA-IP-82-23 and 24, US Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, USA. 181 and 134 pp.
- Baldock, D. 1990. *Agriculture and Habitat Loss in Europe.* World Wide Fund for Nature and European Environmental Bureau, London, UK. 60 pp.
- Barbier, E.B. 1989. *The economic value of ecosystems: 1 - Tropical wetlands.* Gatekeeper Series No LEEC 89-02, London Environmental Economics Centre, London, UK. 15 pp.
- Boulot, S. 1991. *Essai sur la Camargue.* Actes Sud. Arles, France. 89 pp.



- Cardona, L and J.L. Pretus. 1992. Effects of a dystrophic crisis on Grey Mulletts. In: C.M. Finlayson, G.E. Hollis and T. J. Davis (eds.). *Managing Mediterranean Wetlands and their Birds*. IWRB Special Publication 20, Slimbridge, UK. pp 165–168.
- Catsadorakis, G. and A. Crivelli (in press). *The Prespa National Park, Greece*. Monographicae Biologicae, Junk, Dordrecht, Holland.
- Conservation Course. 1994. *Hydrology, vegetation and human use of Merja Zerga, Morocco*. Discussion Papers in Conservation 63, University College London, London, UK.
- Corre, J.J. 1992. Implications des changements climatiques, Étude de cas: Le Golfe du Lion (France). In: L. Jeftic, J.D. Milliman and G. Sestini (eds.). *Climatic Change and the Mediterranean*. Arnold, Sevenoaks, UK. pp 328–427.
- Crivelli, A.J. 1992. Fisheries of the Mediterranean wetlands. Will they survive beyond the year 2000? In: K.T. O'Grady, A.J.B. Butterworth, P.B. Spillet and J.C.J. Domianewski (eds.). *Fisheries in the year 2000, Proc. of the 21st Anniversary Conference of the Institute of Fisheries Management*. London, UK. pp 237–252.
- DDA (Direction Départementale de l'Agriculture du Département des Bouches-du-Rhône). 1970. *Etude hydrogéologique, pédologique et de salinité*. Direction Départementale de l'Agriculture du Département des Bouches-du-Rhône, Compagnie Nationale d'Aménagement de la Région du bas Rhône et du Languedoc. Rapport général et annexes. Arles, France.
- DHKD (Dogal Hayati Koruma Dernegi). 1992. *Towards integrated management in the Göksu Delta: A Protected Special Area*. DIKD, Istanbul, Turkey. 272 pp.
- Dugan, P.J. 1990. *Wetland Conservation: A Review of Current Issues and Required Action*. IUCN, Gland, Switzerland. 96 pp.
- Finlayson C.M., G.E. Hollis and T.J. Davis (eds.). 1992. *Managing Mediterranean Wetlands and Their Birds*. IWRB Special Publication 20, Slimbridge, UK. 285 pp.
- Gerakis, P.A. (ed.). 1992. *Conservation and Management of Greek Wetlands*. IUCN, Gland, Switzerland. 493 pp.
- Goldsmith, F.B., F.J. Hinchcliffe, G.E. Hollis and G. Cowlishaw (in press). Rapid interdisciplinary assessment for the conservation and planning of North African wetlands: A case study of Merja Zerga, Morocco. *Biological Conservation*.
- Golini, A., G. Gesano and F. Heius. 1990. *South-North migration with special reference to Europe*. Proceedings of the Ninth IOM Seminar on Migration, Geneva, December 1990, International Organization for Migration, Geneva, Switzerland. Document 2.1.
- Golterman, H. 1992. Wetland pollution: an emphasis on eutrophication. In: C.M. Finlayson, G.E. Hollis and T. J. Davis (eds.). *Managing Mediterranean Wetlands and their Birds*. IWRB Special Publication 20, Slimbridge, UK. pp 154–158.
- Handrinos, G. 1992. Wetland loss and wintering waterfowl in Greece during the 20th Century: a first approach. In: C.M. Finlayson, G.E. Hollis and T.J. Davis (eds.). *Managing Mediterranean Wetlands and their Birds*. IWRB Special Publication 20, Slimbridge, UK. pp 183–187.
- Hollis, G.E. 1990. Environmental impacts of development on wetlands. *Hydrological Sciences Journal* 35 (4): 411–428.
- Hollis, G.E. 1992a. Implications of Climatic Changes in the Mediterranean Basin: Garaet El Ichkeul and Lac de Bizerte. In: L. Jeftic, J.D. Milliman and G. Sestini (eds.). *Climatic Change and the Mediterranean*. Arnold, Sevenoaks, UK. pp 602–665.
- Hollis, G.E. 1992b. The causes of wetland loss and degradation in the Mediterranean. In: C.M. Finlayson, G.E. Hollis and T. J. Davis (eds.). *Managing Mediterranean Wetlands and their Birds*, IWRB Special Publication 20, IWRB, Slimbridge, UK. pp 83–90.
- Hollis, G.E. 1993. Hydrological aspects of the Acheloos diversion scheme. In: The Acheloos diversion: elements for an objective evaluation. Hellenic Ornithological Society, WWF Greece, Eliniki Eteria, Hellenic Society for the Protection of Nature, Athens, Greece. pp 27–56. [in Greek].
- Hollis, G.E. 1994. Mediterranean Wetland Management and the Göksu and Kizilirmak Deltas: Priorities for Turkish Wetlands. *Turkish Journal of Zoology* 18: 95–105.
- Hollis, G.E. and M.R. Kallel. 1986. Modelling the effects of natural and man induced changes on the hydrology of Sebket Kelbia, Tunisia. *Transactions of the Institute of British Geographers* 11(1): 86–104.
- Hollis, G.E., M. Holland, E. Maltby and J. Larson. 1988. The Wise Use of Wetlands. *Nature and Resources* 24 (1): 2–13.
- Hollis, G.E. and P.U. Jepsen. 1991. Wetland Restoration Projects and the Conservation of Ramsar Listed Sites. *Proceedings of the Fourth Conference of the Contracting Parties to the Convention on Wetlands of International Importance especially as Waterfowl Habitat, Montreux, Switzerland, June 1990*. Volume II: 107–123.
- Hollis, G.E., J. Mercer and P. Heurteaux. 1989. *The implications of groundwater extraction for the long term future of the Doñana National Park, Spain*. Report to World Wide Fund for Nature (International), University College London Dept. of Geography, London, UK. 53 pp and Appendix 9 pp.
- IWRB. 1993. Conclusions from Workshop B: Measuring Ecological Change in Wetlands. In: M. Moser, R.C. Prentice and J. van Vessem (eds.). *Waterfowl and Wetlands Conservation in the 1990s - A Global Perspective*. IWRB Special Publication 26, Slimbridge, UK. pp 83–84.
- Jeftic, L., J.D. Milliman and G. Sestini (eds.). 1992. *Climatic Change and the Mediterranean*. Arnold, Sevenoaks, UK. 666 pp.



- Johnson, A. 1992. The western Mediterranean population of greater Flamingo: is it at risk? In: C.M. Finlayson, G.E. Hollis and T.J. Davis (eds.). *Managing Mediterranean Wetlands and their Birds*. IWRB Special Publication 20, Slimbridge, UK. pp 215–219.
- Kusler, J. and M.E. Kentula. 1990. *Wetland Creation and Restoration: The status of the science*. Island Press, Washington, D.C., USA. 594 pp.
- Lieutaud, A., M-C. Ximenes and T. Moutin. 1992. Lagoon eutrophication assessment for rehabilitation purposes: nitrogen and phosphorus loadings in different compartments. In: C.M. Finlayson, G.E. Hollis and T.J. Davis (eds.). *Managing Mediterranean Wetlands and their Birds*. IWRB Special Publication 20, Slimbridge, UK. pp 147–153.
- Llamas, M.R. 1988. Conflicts between wetland conservation and groundwater exploitation. *Environmental Geology* 11(3): 241–251.
- Mermet, L. 1991. France. In: K. Turner and T. Jones (eds.). *Wetlands: Market and Intervention Failures*. Earthscan, London, UK. pp 111–143.
- Michel, B. and T. Salathé. 1991. *Zones Humides Marocaines: leur valeur, gestion et conservation*. International Council for Bird Preservation, Cambridge, UK.
- Mitsch, W.J. and J.G. Gosselink. 1993. *Wetlands*. Second Edition. Reinhold, New York, USA. 722 pp.
- Morgan, N.C. 1982. An ecological survey of standing waters of North West Africa: III. Site Description for Morocco. *Biological Conservation* 24: 161–182.
- Montes, C. and P. Bifani. 1991. Spain. In: K. Turner and T. Jones (eds.). *Wetlands: Market and Intervention Failures*. Earthscan, London. pp 144–196.
- Montes, C.M., G. Oliver, F. Molina and J. Cobos (eds.). 1995. *Bases Ecológicas para la Restauración de Humedales en la Cuenca Mediterránea*. Junta de Andalucía, Sevilla, Spain. 348 pp.
- Munteanu, D. and N. Toniuc. 1992. The present and the future state of the Danube delta. In: M. Finlayson, G.E. Hollis and T.J. Davis (eds.). *Managing Mediterranean Wetlands and their Birds*. IWRB Special Publication 20, Slimbridge, UK. pp 43–46.
- Nature Conservancy Council. 1987. *Site Management Plans for Nature Conservation: a working guide*. NCC, Peterborough, UK. 40 pp.
- Papayannis, T. 1992a. Greek wetlands: factors of change. In: P.A. Gerakis (ed.). *Conservation and management of Greek wetlands*. IUCN, Gland, Switzerland. pp 207–230.
- Papayannis, T. 1992b. Wetland degradation at Ramsar sites in the Mediterranean. In: C.M. Finlayson, G.E. Hollis and T.J. Davis (eds.). *Managing Mediterranean Wetlands and their Birds*. IWRB Special Publication 20, Slimbridge, UK. pp 97–105.
- Pearce, F. and A.J. Crivelli. 1994. *Characteristics of Mediterranean Wetlands*. MedWet publication 1, Tour du Valat, Arles, France. 88 pp.
- Perco, F. and F. Perco. 1992. Waterfowl hunting pressure and regulations in Italy with special reference to the lagoons of the upper Adriatic. In: C.M. Finlayson, G.E. Hollis and T.J. Davis (eds.). *Managing Mediterranean Wetlands and their Birds*. IWRB Special Publication 20, Slimbridge, UK. pp 23–27.
- Psilovikos, A. 1992. Prospects for wetlands and waterfowl in Greece. In: C.M. Finlayson, G.E. Hollis and T.J. Davis (eds.). *Managing Mediterranean Wetlands and their Birds*. IWRB Special Publication 20, Slimbridge, UK. pp 53–55.
- Rallo, G. 1992. Use and conservation of salt marsh wetlands in the Northern Adriatic: an example of integrated management. In: C.M. Finlayson, G.E. Hollis and T.J. Davis (eds.). *Managing Mediterranean Wetlands and their Birds*. IWRB Special Publication 20, Slimbridge, UK. pp 141–143.
- Ramsar Bureau. 1990. *Review of National Reports submitted by the Contracting Parties and review of implementation of the Convention since the Third Meeting of the Conference in Regina, Saskatchewan, Canada in May/June 1987*. Document Inf. C.4.18, Fourth Meeting of the Conference of the Contracting Parties, Montreux, Switzerland, 27 June – 4 July 1990. 80 pp.
- Ramsar Bureau. 1993a. *Proceedings of the Fifth Meeting of the Conference of the Contracting Parties, Kushiro, Japan, June 1993*. Ramsar Bureau, Gland, Switzerland. 358 pp.
- Ramsar Bureau. 1993b. *Guidelines on management planning for Ramsar Sites and other wetlands*. Annex to Resolution C.5.7, Fifth Meeting of the Conference of the Contracting Parties to the Convention on Wetlands of International Importance Especially as Waterfowl Habitat, Kushiro, Japan, June 1993, Ramsar Bureau, Gland, Switzerland, Volume 1:186–192.
- Rufino, R. and Neves, R. 1992. The effects on wader populations of the conversion of salines to fish farms. In: C.M. Finlayson, G.E. Hollis and T.J. Davis (eds.). *Managing Mediterranean Wetlands and their Birds*. IWRB Special Publication 20, Slimbridge, UK. pp 177–182.
- Skinner, J. and S. Zalewski. 1995. *Functions and values of Mediterranean Wetlands*. MedWet publication series 2, Tour du Valat, Arles, France. 80 pp.
- Sorrenti, M. and Concialini, A. 1992. Commitment of Italian hunters to preventing the loss of waterfowl and wetlands. In: C.M. Finlayson, G.E. Hollis and T.J. Davis (eds.). *Managing Mediterranean Wetlands and their Birds*. IWRB Special Publication 20, Slimbridge, UK. pp 234–235.
- Stevenson, A.C., J. Skinner, G.E. Hollis and M. Smart. 1989. The El Kala National Park and Environs, Algeria: An ecological evaluation. *Environmental Conservation* 16: 335–348.
- Tamisier, A. 1987. Camargue: quartier d'hiver et de transit pour les oiseaux d'eau. *Le Courier de la Nature* 109: 30–37.

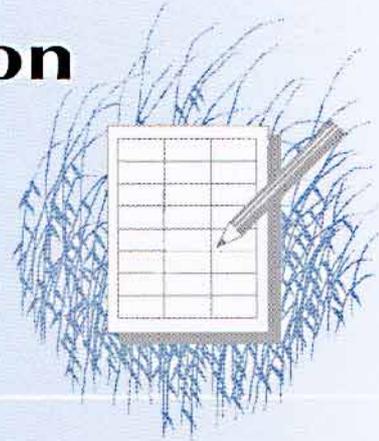


- Tamisier, A. 1992. The Camargue: a model of environmental decline. In: C.M. Finlayson, G.E. Hollis and T.J. Davis (eds.). *Managing Mediterranean Wetlands and their Birds*. IWRB Special Publication 20, Slimbridge, UK. pp 106–108.
- Taris, J-P. 1990. Tour du Valat/Petit Badon (Camargue) management plan implementation and follow up: costs and implications. In: *Council of Europe Workshop on Management of Mediterranean Wetlands*. Doñana, Andalusia, Spain. pp 45–47.
- Thomas, D.H.L., Ayache, F. & Hollis, G.E. 1991. Use and non-use values in the conservation of Ichkeul National Park, Tunisia. *Environmental Conservation* 18 (2):119–130.
- Viaroli, P. 1992. Eutrophication of the Po Delta lagoons: evaluation and prospects for restoration. In: C.M. Finlayson, G.E. Hollis and T.J. Davis (eds.). *Managing Mediterranean Wetlands and their Birds*. IWRB Special Publication 20, Slimbridge, UK. pp 159–164.
- Wood, J.B. and Warren, A. 1978. *A Handbook for the Preparation of Management Plans: Conservation Course Format*. Discussion Papers in Conservation 18, University College London, London, UK. 41 pp.
- World Bank and European Investment Bank. 1990. *The Environment Program for the Mediterranean*. World Bank, Washington DC, USA. 93 pp.
- Zaouali, J. 1983. Lac de Tunis: 300 years of engineering and pollution. A bibliographical study with comments. *UNESCO Report in Marine Science* 29: 30–47.



3 Cadre de conception d'un programme de suivi

C. Max Finlayson



RÉSUMÉ

On trouvera ci-après un cadre qui aidera à la conception de programmes de suivi efficaces. Ce cadre s'inscrit dans le contexte d'un système de gestion qui fournit les moyens de répondre aux résultats du programme de suivi. On notera immédiatement que suivi et surveillance n'ont pas la même signification, la seconde étant généralement entreprise sans que l'on ait une raison particulière de recueillir les données ou informations. Le cadre n'est pas une recette normative pour un certain type de programme de suivi. Il donne plutôt une série d'étapes agencées selon une séquence logique, dont les grands titres figurent ci-dessous:

- *identifier le problème/la question*
- *fixer l'objectif*
- *établir l'hypothèse*
- *choisir les méthodes et variables*
- *évaluer la faisabilité et la rentabilité*
- *effectuer une étude pilote*
- *prélever les échantillons*
- *analyser les échantillons*
- *rendre compte des résultats*
- *appliquer les mesures de gestion et évaluer le projet*

Ces étapes sont présentées de manière graphique et décrites dans le texte. Les boucles de rétroaction fournissent les moyens de réévaluer l'efficacité de la méthode choisie pour atteindre l'objectif (c.à.d. d'évaluer le projet). Trois exemples hypothétiques ont été donnés pour illustrer l'utilisation du cadre (sans entrer dans les détails) lors de la conception d'un programme de suivi.



3.1 Introduction

Le suivi environnemental a fait l'objet d'une attention accrue ces dernières années. Au niveau mondial, cette évolution est liée à la prise de conscience de l'ampleur des dégradations environnementales et destructions d'habitats. Les zones humides, y compris celles de la région méditerranéenne, n'ont pas échappé à cette dégradation générale de grande échelle (voir, par exemple, Finlayson *et al.* 1992). Les préoccupations que soulève l'étendue du problème au niveau mondial sont telles que l'on s'efforce de plus en plus de mettre au point des processus de gestion et des mesures correctrices efficaces. Dans de nombreux cas, ces efforts se heurtent à un manque d'informations pertinentes quant à la nature du problème, à ses causes et à l'efficacité des procédures et mesures de gestion. De bons programmes de suivi peuvent contribuer à surmonter de telles difficultés.

En substance, le suivi aborde la question générale du changement ou de l'absence de changement dans le temps et dans des sites particuliers. Il procède des sondages et de la surveillance mais il est plus précis et vise des cibles ou buts spécifiques (Goldsmith 1991).

Une campagne de collecte de données (*survey* en anglais) est un exercice débouchant sur un ensemble d'observations qualitatives mais sans idées préconçues quant à la teneur des résultats.

La surveillance consiste en une série de collectes de données répétées dans le temps et est destinée à vérifier l'importance de la variabilité et/ou de la gamme de valeurs de certains paramètres.

Le suivi est basé sur la surveillance et consiste à recueillir systématiquement dans le temps des données et autres informations pour vérifier le niveau de conformité avec une norme ou position prédéterminée.

Le suivi repose donc sur une série de collectes de données répétées dans le temps et diffère de la surveillance en ce sens que l'on a une raison spécifique pour recueillir les données et informations (voir Spellerberg 1991, Goldsmith 1991, Furness *et al.* 1994).

L'efficacité du suivi varie considérablement et n'est liée ni à la complexité ni au coût du programme. Elle doit être évaluée par la pertinence et l'opportunité des données et informations recueillies. Des approches simples peuvent être très efficaces lorsqu'elles sont bien conçues.

On trouvera ci-après un cadre de conception d'un programme de suivi. Il s'applique à toutes les formes de suivi (portant, par exemple, sur les changements de la superficie ou de l'équilibre écologique d'une zone humide, ou encore sur les raisons sous-jacentes de la destruction des zones humides) sans être normatif. Il ne s'agit pas d'une recette pour un type de problème ou de zone humide particulier, ce qui aurait été présomptueux compte tenu des nombreuses différences entre sites, problèmes et ressources disponibles, mais plutôt d'un ensemble d'étapes qui devraient aider les responsables de la conception d'un programme de suivi à prendre des décisions adaptées à leur situation. Celles-ci resteront basées sur un certain niveau de connaissances et/ou d'expertise auquel que le cadre ne peut en aucun cas se substituer.

Dans les cas où il existe déjà un programme de suivi, le cadre permet de vérifier que le suivi s'effectue d'une manière logique et bien structurée. Tout programme de ce type devrait en effet être régulièrement réévalué et, le cas échéant, modifié ou interrompu. Le cadre peut ainsi servir d'outil d'aide à l'examen et à l'évaluation de programmes existants.

Parallèlement, la Convention de Ramsar a, également examiné les modifications des caractéristiques écologiques et la surveillance continue des sites d'importance internationale et, en mars 1996, la sixième Session de la Conférence des Parties contractantes a adopté un cadre méthodologique pour la surveillance continue et des lignes directrices pour l'interprétation des changements écologiques. Ce cadre est basé sur les travaux de Finlayson (1994), comme celui présenté dans ce guide.

3.2 Gestion et suivi

Un programme de suivi, même bien conçu, n'aurait que peu d'intérêt si les informations recueillies n'étaient pas utilisées ou ne servaient pas à influencer les activités de gestion du site concerné. Dans l'idéal, celui-ci fera l'objet d'un plan de gestion global et interactif fournissant les moyens de réagir aux informations obtenues grâce au programme de suivi. En l'absence de plan de gestion formel ou officiel, ou s'il n'est pas correctement appliqué, il sera essentiel de définir des mécanismes pour mettre à profit les informations obtenues. Les données recueillies par des organisations non gouvernementales ou par des institutions de recherche sont souvent exploitées pour amener le grand public à exercer des pressions en faveur de l'amélioration de certains processus gestionnaires, de l'application de la législation et des réglementations en vigueur, ou de l'introduction de nouvelles dispositions juridiques ou gestionnaires.



Constable (1991) a donné les grandes lignes des rapports indispensables entre une procédure de gestion formelle et un programme de suivi environnemental. En essence, celui-ci doit fournir les moyens de mesurer le résultat de la procédure de gestion, c'est-à-dire d'évaluer l'état de l'environnement (tel que l'on peut l'observer) et l'importance des altérations éventuelles. Si les objectifs de gestion ne sont pas remplis, la législation ou les réglementations en vigueur affectant le site (ou la région) doivent permettre d'ajuster les activités de gestion. Il convient donc de noter que l'on peut lancer un programme de suivi avant ou après la mise en oeuvre d'une activité de gestion particulière. Il est essentiel que les informations recueillies grâce à un programme de suivi soient utilisées pour influencer les activités de gestion lors d'une prise de décision.

La qualité de la gestion dépend partiellement de la disponibilité d'informations adéquates. Celles-ci peuvent provenir de programmes de suivi officiels ou non, l'origine des informations n'est pas le problème essentiel. Dans la mesure où elles sont bonnes et témoignent des changements réels ou potentiels, elles peuvent être utilisées pour promouvoir des activités de gestion appropriées.

3.3 Un cadre de suivi

L'existence d'un programme de suivi n'est pas une garantie de son efficacité en tant qu'outil de gestion. C'est ainsi que les programmes qui génèrent beaucoup de données mais peu d'information ont un intérêt limité pour la gestion. L'efficacité est encore moindre si le programme fournit des informations trompeuses. Les cadres de conception de programmes de suivi constituent des outils destinés à aider les gestionnaires et les planificateurs et il est important de répéter qu'ils n'apportent pas les réponses, celles-ci devant provenir des responsables de la conception.

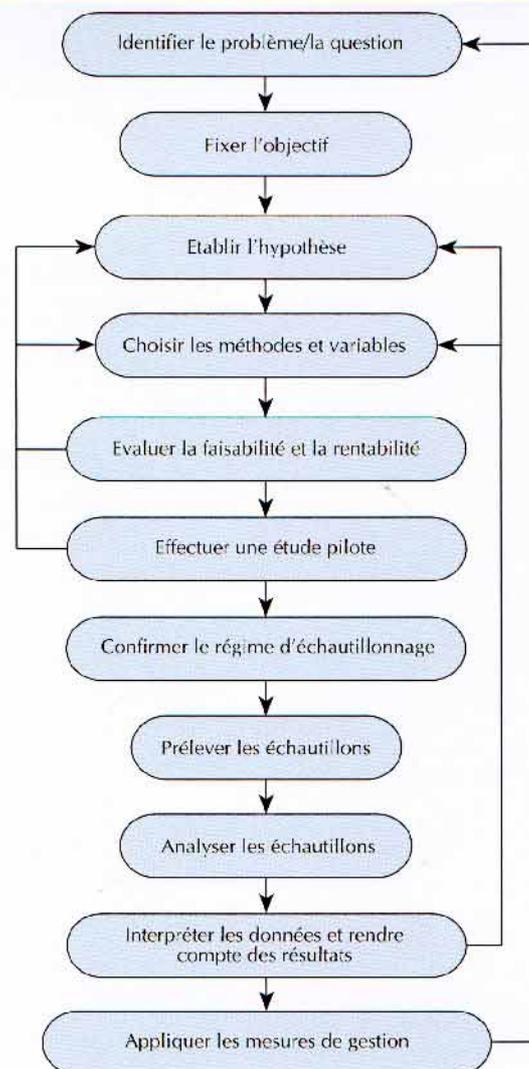
Dans l'idéal, la mise au point d'un programme de suivi devrait être un processus simple faisant appel à la collaboration entre gestionnaires (qui prennent des décisions) et scientifiques (qui fournissent des conseils d'experts et interprètent les données). En simplifiant, les premiers devraient définir les besoins et les seconds recommander les techniques les plus appropriées, permettant ainsi, par un processus itératif, d'adopter une approche à la fois rigoureuse au plan scientifique et remplissant les objectifs de gestion. Mais, nombreux sont les programmes de suivi qui ne remplissent pas les objectifs de gestion ou, pire même, fournissent des informations trompeuses. Si le respect d'un cadre logique de conception de programmes de suivi ne permet pas d'éliminer de tels écueils, il peut fournir les

moyens d'identifier les limites d'un programme et de réduire par conséquent l'incidence de ces problèmes.

Le cadre proposé est présenté de manière graphique à la figure 3.1. Les principaux aspects de ses divers éléments sont décrits ci-dessous, sur la base de données provenant d'un certain nombre de publications (Green 1984, Maher & Norris 1990, Goldsmith 1991, Spellerberg 1991, Finlayson 1994, Maher *et al.* 1994). On trouvera en outre au tableau 3.1 un résumé des points dont il faut tenir compte lors de l'utilisation du cadre, ainsi que trois exemples hypothétiques d'utilisation pratique aux tableaux 3.2, 3.3 et 3.4.

Le cadre illustre une situation idéale et peut-être même hypothétique. Le temps consacré à chaque étape dépendra du calendrier à respecter et des ressources disponibles. Ne s'agissant pas d'une procédure normative, rien n'oblige à accorder autant

Figure 3.1 Cadre de conception d'un programme de suivi des zones humides.





d'attention aux différentes étapes. Gestionnaires et concepteurs jugeront d'eux-mêmes en fonction des conditions locales, le cadre fournissant un guide pour les aider dans ces décisions.

3.3.1 Identifier le problème/la question

L'identification du problème conduisant à une modification des caractéristiques écologiques d'une zone humide est une première étape cruciale. Le problème doit être énoncé clairement et sans ambiguïté, ce travail étant étroitement lié à la fixation de l'objectif. Lorsque le problème aura été identifié, il sera possible de formuler des activités de gestion, y

compris des recherches supplémentaires, pour mieux le comprendre et en justifier le suivi.

Dans la mesure du possible, on cherchera également à déterminer l'étendue ou l'échelle du problème/de la question (existant(e) ou potentiel(le)) (l'ensemble de la zone humide sera-t-il concerné? Voire plusieurs zones humides distinctes?). Ceci peut s'avérer difficile si l'on n'a pas une connaissance suffisante des caractéristiques écologiques de la zone humide (superficie, volume d'eau, etc.). Des données de référence sont donc indispensables et il peut être nécessaire de passer en revue les informations existantes: publications scientifiques, documents de gestion, de suivi et de politiques et connaissances locales.

Tableau 3.1 Résumé des points clés à envisager lors de l'utilisation d'un cadre de conception d'un programme de suivi d'une zone humide.

Identifier le problème/la question	Énoncer clairement et sans ambiguïté Établir l'ampleur du problème et la cause la plus vraisemblable Définir une situation de référence
Fixer l'objectif	Sert de base à la collecte d'informations Doit être réaliste et réalisable dans un délai raisonnable
Définir une hypothèse	Sous-tend l'objectif et peut être testée
Choisir les méthodes et variables	Adaptées au problème et fournissent les informations permettant de tester l'hypothèse Doivent permettre de détecter un changement et d'en évaluer l'importance Identifient ou élucident la cause du changement
Évaluer la faisabilité et la rentabilité	Décider s'il est possible d'entreprendre le programme sur une base régulière et continue Évaluer les facteurs influençant le programme d'échantillonnage: disponibilité de personnel formé; accès aux sites d'échantillonnage; disponibilité et fiabilité des matériels spécialisés; méthodes d'analyse et d'interprétation des données; utilité des données et autres informations; moyens pour rendre compte dans les délais voulus Déterminer si les coûts d'acquisition et d'analyse des données sont compatibles avec le budget Si nécessaire, réévaluer l'hypothèse, et les méthodes et variables
Effectuer une étude pilote	Moment de tester et d'affiner la méthode et les équipements spécialisés Évaluer les besoins en formation du personnel Vérifier les méthodes d'analyse et d'interprétation des données Si nécessaire, réévaluer l'hypothèse, et les méthodes et variables
Prélever les échantillons	Le personnel doit avoir été formé à toutes les méthodes d'échantillonnage Tout échantillon doit être accompagné des informations suivantes: date et emplacement; noms des personnes responsables; méthodes de prélèvement; matériel utilisé; moyens de stockage et de transport; toute modification apportée aux méthodes établies Les échantillons doivent être traités rapidement et toutes les données seront accompagnées des informations suivantes: date et lieu; noms des personnes responsables; méthodes de traitement; matériel utilisé; toute modification apportée aux méthodes établies
Analyser les échantillons	L'analyse des échantillons et des données doit faire appel à des méthodes éprouvées et rigoureuses Les analyses seront accompagnées des informations suivantes: date et emplacement; noms des personnes responsables; méthodes et équipements utilisés; moyens de stockage des données
Interpréter les données et rendre compte des résultats	Interpréter et communiquer tous les résultats en temps voulu et de façon économique Le rapport doit être succinct et concis, indiquer si l'hypothèse a été vérifiée et contenir des recommandations en matière de gestion, y compris en termes de poursuite du suivi Si nécessaire, réévaluer l'hypothèse, et les méthodes et variables
Appliquer les mesures de gestion et évaluer le projet	Examiner l'efficacité de toutes les procédures, faire les ajustements nécessaires et éventuellement clore le programme



Tableau 3.2 Exemple hypothétique d'un programme destiné à suivre les problèmes que pourrait créer un complexe touristique installé sur les rives d'une lagune d'eau douce. On supposera que l'on dispose au préalable de données de référence adéquates sur la profondeur d'eau. Compte tenu de la place disponible, il n'est pas possible de justifier le choix des objectifs, méthodes, etc. mais il faut rappeler ici que les concepteurs doivent prendre des décisions et en consigner les raisons.

Problème/question global(e)	Un grand complexe touristique, comportant un golf de 18 trous, a été aménagé en bordure d'une lagune d'eau douce importante pour les oiseaux d'eau.
Problème/question spécifique	Les niveaux d'eau de la lagune vont baisser compte tenu des quantités extraites pour alimenter l'hôtel et arroser le golf.
Objectif	Suivre le taux d'extraction et le niveau d'eau dans la lagune.
Hypothèse	Le taux d'extraction d'eau ne devrait jamais dépasser (préciser un taux). Le niveau d'eau dans la lagune ne devrait pas varier de manière significative (intervalle de confiance à 95%) par rapport à la moyenne à long terme ($x \pm y$ mètres) pendant les mois de juillet et août.
Méthodes et variables	Un débitmètre (préciser le modèle) sera installé sur la seule pompe utilisée pour extraire l'eau de la lagune. Les données seront relevées (préciser comment et selon quelle périodicité). On suivra la profondeur d'eau (préciser comment) et on notera les données recueillies (préciser comment et selon quelle périodicité). Les données seront évaluées quotidiennement et enregistrées dans une base de données (définir le type de base et le lieu). On effectuera des analyses statistiques (préciser la méthode).
Faisabilité/rentabilité	Définir le matériel nécessaire (par exemple, débitmètre à enregistrement automatique ou à lecture visuelle; bathymètre à enregistrement automatique ou échelle limnimétrique) et établir un programme de vérification et d'entretien. Former le personnel à la vérification et à l'entretien du matériel. Préparer la base de données et familiariser le personnel aux méthodes statistiques. Évaluer les coûts du matériel et du personnel et confirmer le budget.
Etude pilote	Tester le matériel en conditions de terrain et vérifier la fiabilité des enregistrements. Confirmer les procédures de consignation des informations et les méthodes statistiques. Former le personnel à l'entretien du matériel et aux analyses statistiques.
Echantillonnage	Il n'y a pas ici de prélèvements mais il faut vérifier régulièrement le matériel d'enregistrement et la qualité des données recueillies.
Analyse des échantillons	Sans objet.
Préparation du rapport	Les données ont été soumises à l'analyse statistique et sont transmises (préciser à qui et dans quels délais) avec des conclusions et recommandations quant aux activités de gestion et/ou de suivi.
Mise en oeuvre des mesures de gestion et évaluation du projet	Clore le projet si l'on peut montrer que le taux d'extraction d'eau n'est pas nuisible.

La cause (ou la cause la plus probable) du problème devrait aussi être identifiée (déversement de substances polluantes dans un ruisseau alimentant le site, ou suspicion d'une espèce particulière, par exemple), éventuellement en mettant en place un programme de recherche de son origine. Il peut cependant s'avérer difficile d'établir des relations de cause à effet entre une activité et des caractéristiques de l'environnement. Ce type d'informations n'est souvent pas disponible et, compte tenu de l'urgence de nombreuses situations, peu d'efforts sont entrepris pour les obtenir. En leur absence toutefois, il sera difficile de décider sur quels éléments devra porter le suivi.

3.3.2 Fixer l'objectif

L'objectif visé est à la base de la collecte d'informations et des objectifs imprécis ou inadéquats

réduisent à néant l'intérêt d'un programme de suivi. Il n'est ainsi pas suffisant de déclarer qu'il faut éviter une extraction d'eau excessive. L'objectif doit être énoncé très précisément et rester spécifique. Un programme de surveillance peut être conduit sans objectif spécifique, mais pas un programme de suivi. L'objectif est le point de départ d'un programme de suivi. Si l'on identifie plusieurs objectifs, ils conviendra de les hiérarchiser, sans en éliminer aucun, afin d'utiliser au mieux le temps et les ressources disponibles.

La précision de l'énoncé est utile non seulement pour faciliter la définition des programmes d'échantillonnage, mais également dans le cas de programmes à long terme pour permettre aux nouveaux personnels de continuer à travailler de manière cohérente. Les objectifs sont à la base de l'obtention des informations requises pendant une période donnée. Ils doivent être réalistes et réalisables



dans un délai raisonnable, avec des paramètres mesurables.

3.3.3 Etablir l'hypothèse

L'objectif doit être sous-tendu par une hypothèse explicite. Une hypothèse telle que "évaluer des changements significatifs" ne serait pas assez claire et elle devrait être modifiée pour indiquer le niveau de changement voulu (c.à.d. dépasser un niveau ou une norme prédéterminé, ou différer significativement (au plan statistique) de la moyenne établie sur une longue période de référence). En d'autres termes, l'hypothèse doit pouvoir être testée sur la base des données et autres informations recueillies, faute de quoi on ne pourra savoir si l'objectif a été atteint. Il est important de noter également les sources et la variabilité des données/informations pour déterminer si celles-ci confirment

l'hypothèse, et ce notamment lorsque les fluctuations naturelles (de la profondeur d'eau ou des effectifs par exemple) sont fortes ou même inconnues. L'hypothèse doit être fondée sur de solides informations.

Il est fréquent que les hypothèses ne soient pas formulées et le suivi est alors rarement fructueux ou rentable. La surveillance s'effectue généralement sans formuler d'hypothèse et peut être utile, sans toutefois nécessairement fournir la preuve des relations de cause à effet pourtant indispensable à la gestion. La signification des résultats doit être évaluée pour que le programme puisse être utile aux activités de gestion.

3.3.4 Choisir les méthodes et variables

Beaucoup de méthodes de suivi sont envisageables et il est indispensable de connaître les avantages et

Tableau 3.3 Exemple hypothétique d'un programme destiné à suivre la perte potentielle d'habitats de zone humide que pourraient entraîner des activités de drainage dans un delta fluvial. On supposera que l'on dispose au préalable de données de référence adéquates sur l'étendue des zones humides dans le delta. Compte tenu de la place disponible, il n'est pas possible de justifier le choix des objectifs, méthodes, etc. mais il faut rappeler ici que les concepteurs doivent prendre des décisions et en consigner les raisons.

Problème/question global(e)	On augmente les superficies irriguées dans le delta.
Problème/question spécifique	Les dernières zones humides du delta sont drainées pour être converties à l'agriculture.
Objectif	Suivre la superficie des zones humides dans le delta.
Hypothèse	La superficie des zones humides dans le delta ne devrait pas baisser de manière significative (intervalle de confiance à 95%) par rapport à la superficie actuelle (préciser cette superficie et définir l'intervalle de confiance autour cette valeur).
Méthodes et variables	Prendre des photographies aériennes (détails des vols, altitude, type de photographie, etc.) une fois par an (préciser la meilleure date ainsi que d'autres options en cas de problèmes météorologiques ou matériels) sur l'ensemble du delta (fixer les limites) et comparer les résultats avec les données de référence. Définir des méthodes pour reporter, d'après les photographies, la superficie des zones humides sur des cartes et stocker ces données, ou évaluer d'une autre manière si des zones humides ont été détruites. Évaluer la fiabilité des données. Identifier des procédures d'inspection au sol au cas où il ne serait pas possible d'obtenir des photographies aériennes (même temporairement).
Faisabilité/rentabilité	Vérifier la disponibilité du matériel ainsi que la qualité des photographies, des techniques d'inspection au sol, des techniques de représentation cartographique, etc. Évaluer les coûts d'obtention et d'interprétation des photographies, d'évaluation des données et des enquêtes au sol. Identifier l'intervalle de confiance.
Etude pilote	Tester le matériel en conditions de terrain et vérifier la fiabilité des données, méthodes d'interprétation, procédures statistiques, etc. Des vérifications au sol peuvent être nécessaires pour confirmer la fiabilité des données. Former le personnel à la collecte et à l'interprétation des données et aux analyses statistiques.
Echantillonnage	Obtention des photographies aériennes, interprétation et stockage des données. Entreprendre des enquêtes au sol.
Analyse des échantillons	Comparaison statistique des résultats avec les données de référence.
Préparation du rapport	Analyses statistiques interprétées et transmises (préciser à qui et dans quels délais) avec des conclusions et recommandations quant aux activités de gestion et/ou de suivi.
Mise en oeuvre des mesures de gestion et évaluation du projet	Clore le projet si l'on peut montrer qu'il n'y a pas de drainage.



Tableau 3.4 Exemple hypothétique d'un programme destiné à suivre l'impact que pourraient avoir les politiques de développement des agences gouvernementales sur les zones humides. On supposera que l'accès aux informations nécessaires est parfaitement libre et que l'on a défini au préalable les sites importants et leurs valeurs. Compte tenu de la place disponible, il n'est pas possible de justifier le choix des objectifs, méthodes, etc. mais il faut rappeler ici que les concepteurs doivent prendre des décisions et en consigner les raisons.

Problème/question global(e)	On prévoit d'intensifier le développement industriel (préciser la région concernée).
Problème/question spécifique	Le développement industriel aboutira au comblement et au drainage des dernières zones humides de la région.
Objectif	Suivre les projets de développement proposés (préciser l'agence responsable).
Hypothèse	L'agence ne devrait ni combler ni drainer de zones humides (préciser le site).
Méthodes et variables	Sélectionner les documents appropriés, définir les moyens de les obtenir dans les délais voulus. Établir une procédure d'analyse des documents pour déterminer si une proposition de comblement/drainage est avancée, même au simple stade de la faisabilité. Définir des moyens de stocker les documents. Si les documents sont difficiles à obtenir, envisager des visites sur le terrain, des campagnes de sensibilisation du public, etc.
Faisabilité/rentabilité	Évaluer les procédures de documentation et d'archivage de l'agence concernée et si les documents en question peuvent être analysés en temps voulu. Dans la négative, identifier les documents indicateurs clés ou même les fonctionnaires à cibler. Évaluer les coûts d'obtention et de stockage des documents, de même que les coûts qu'entraînerait le contact de fonctionnaires clés.
Etude pilote	Évaluer le temps et l'expertise nécessaire pour obtenir et analyser correctement les documents. Former le personnel à identifier les mots/sujets clés, etc. Réviser les méthodes et même les objectifs s'il n'est pas possible d'obtenir les documents.
Echantillonnage	Établir une procédure pour obtenir les documents dans des délais raisonnables et pour les stocker afin de faciliter leur analyse.
Analyse des échantillons	Sans objet.
Préparation du rapport	Identifier les propositions importantes pouvant affecter les zones humides et les transmettre (préciser à qui et dans quels délais) avec des conclusions et recommandations quant aux activités de gestion et/ou de suivi.
Mise en oeuvre des mesures de gestion et évaluation du projet	Réduire la fréquence du suivi si l'on peut montrer que les activités de développement sont bien planifiées.

inconvenients des différentes formules par rapport au niveau de protection requis lors du choix des méthodes appropriées au suivi d'un site ou d'un problème spécifique. On aura avantage à étudier la littérature disponible et à s'entourer de conseils avisés mais il faut surtout garder à l'esprit l'objectif du suivi et l'hypothèse précédemment établie; la méthode peut-elle détecter un changement du niveau recherché et sur la période de temps choisie?

Pour choisir les méthodes et/ou variables, il est nécessaire de savoir quel est le niveau de changement acceptable (l'hypothèse) et si la (les) méthode(s) envisagée(s) permet (permettent) de tenir compte d'éventuelles sources de variabilité des données et autres informations recueillies. Les paramètres suivants doivent ainsi être retenus:

- existence et qualité des informations de référence;
- approches générales de la collecte des données/informations;

- nombre et emplacement des sites d'échantillonnage;
- fréquence des échantillonnages;
- répliquats;
- techniques spécifiques de prélèvement des échantillons;
- techniques de traitement et/ou de stockage des échantillons;
- protocoles et moyens de stockage des données ou informations;
- méthodes d'analyse statistique des données;
- procédures d'interprétation des données et informations.

D'une manière générale, les méthodes doivent permettre de détecter tout changement, d'en évaluer la signification et d'en identifier ou élucider la cause. En l'absence de méthodes adéquates, des recherches dirigées seront nécessaires pour mettre au point ou identifier des techniques particulières. On évitera toute méthode ne permettant pas de tester l'hypothèse.



3.3.5 *Évaluer la faisabilité et la rentabilité*

Une fois la méthode choisie et le régime d'échantillonnage défini, il est nécessaire de déterminer s'il est réellement possible d'entreprendre le programme sur une base régulière et continue. Une telle évaluation peut conduire à réviser l'hypothèse et/ou le choix des méthodes et variables. Il faut par conséquent tenir compte des facteurs influençant le processus d'échantillonnage et la continuité du programme, notamment:

- la disponibilité de personnel formé pour prélever et traiter les échantillons;
- l'accès aux sites d'échantillonnage;
- la disponibilité et la fiabilité des matériels spécialisés pour le prélèvement et l'analyse des échantillons;
- les méthodes d'analyse et d'interprétation des données;
- l'utilité des données et informations obtenues;
- les moyens de rendre compte dans les délais voulus;
- le soutien matériel et financier pour la poursuite du programme.

Il devrait être facile d'évaluer ces éléments dans le cas d'un programme de suivi intégré à un plan de gestion structuré. Ce sera sans doute plus difficile dans le cas contraire et il faudra donc y être très attentif.

Il faut également envisager le rapport coût-efficacité dans le cadre de l'étude de faisabilité. Le but d'un programme d'échantillonnage est, à quelques exceptions près, de recueillir des informations ou données utiles au moindre coût. Il convient de déterminer les coûts de l'acquisition et de l'analyse des données et de les rapporter au budget et à l'objectif du programme, évaluation qu'il pourrait être avantageux de faire effectuer par un expert indépendant. Dans l'idéal, elle devrait influencer l'affectation budgétaire pour le programme. Une insuffisance de fonds pourra justifier une réduction du programme, ou même son abandon, mais en aucun cas une moindre rigueur scientifique, le but étant d'obtenir des données fiables à des fins de gestion ou d'influencer des décisions en la matière.

3.3.6 *Effectuer une étude pilote*

Avant de lancer un programme à grande échelle, il est essentiel d'effectuer une étude pilote afin d'économiser temps et ressources. C'est le moment d'affiner la méthode et les protocoles individuels et de tester les hypothèses fondamentales à la base de la méthode et du régime d'échantillonnage. On pourra à ce stade avoir une certaine idée de la rigueur de la méthode et

de la nécessité de modifier la conception d'ensemble ou des techniques spécifiques de prélèvement ou d'analyse des données. C'est également le moment d'apporter les changements nécessaires aux procédures qui ont été choisies. Il peut en effet s'avérer très coûteux de le faire plus tard, avec en outre le risque d'invalider le programme. Le matériel de terrain spécialisé doit être testé dans le cadre de cette étude pilote et, le cas échéant, modifié sur la base de l'expérience pratique. C'est aussi l'occasion d'évaluer les besoins en formation du personnel.

Les méthodes d'analyse des données doivent également être testées. Si l'on prévoit de faire des analyses statistiques, elles devront tout d'abord être testées avec les données de l'étude pilote. On devrait ainsi pouvoir mettre en évidence un éventuel non-respect des conditions initiales, par exemple données ne suivant pas une distribution normale, données non indépendantes, ou nombre de répliquats insuffisant, et prendre les mesures compensatoires qui s'imposent. Il n'est pas forcément indispensable que toutes ces hypothèses de départ soient parfaitement vérifiées, mais il est essentiel de comprendre l'importance et les conséquences des éventuelles violations.

Le temps et les efforts qu'il faudra consacrer à l'étude pilote varieront considérablement en fonction de l'hypothèse à tester et des méthodes choisies. Dans certains cas, les informations recueillies durant l'étude pilote pourront aussi contribuer au suivi. L'évaluation de la méthode doit permettre de confirmer et de préciser clairement le régime d'échantillonnage. Les protocoles individuels devront être finalisés et une procédure détaillée sera transmise à tout le personnel concerné. La normalisation entre individus peut s'avérer critique. Les informations découlant de l'étude pilote pourraient entraîner des modifications à la fois de l'hypothèse et des méthodes.

L'étude pilote peut ainsi montrer que les méthodes choisies ne sont pas utilisables en pratique, voir, par exemple, les cas hypothétiques décrits dans les tableaux 3.2 à 3.4. Dans le premier cas, les débitmètres automatiques peuvent être impossible à obtenir ou trop coûteux; dans le deuxième, il peut s'avérer impossible de prendre des photographies aériennes à intervalles réguliers ou de les obtenir dans les temps; et dans le troisième il peut être difficile d'obtenir les documents voulus. Dans de tels cas, il peut être nécessaire de modifier jusqu'aux hypothèses et méthodes du programme ou même d'abandonner celui-ci purement et simplement.

3.3.7 *Prélever les échantillons*

L'échantillonnage ne devrait pas commencer avant d'avoir établi clairement les méthodes et/ou protocoles



et formé le personnel en conséquence. La rigueur de l'échantillonnage est un des facteurs essentiels du succès d'un programme de suivi. Les détails (par exemple, reproduction, dimensions) devront être basés sur des principes statistiques et testés pendant l'étude pilote. Une fois adoptés, les protocoles d'échantillonnage devront être strictement respectés. En cas d'impossibilité, toutes les variations devront être soigneusement documentées et ces notes seront conservées avec les données. Tous les échantillons seront accompagnés des indications suivantes:

- date et emplacement;
- noms des personnes responsables de l'échantillonnage;
- méthode de prélèvement;
- nombre d'échantillons requis;
- matériel utilisé pour le prélèvement;
- moyens de stockage et de transport des échantillons;
- toute modification apportée aux méthodes et protocoles établis.

L'échantillonnage et le recueil de données devraient être effectués de façon à garantir que les résultats soient statistiquement fiables (c.à.d. que le nombre de répliquats doit être suffisant). La fourniture d'informations sur toutes les pratiques est donc essentielle.

L'efficacité d'un programme de suivi dépend également de la rapidité du traitement des échantillons pour des analyses ultérieures (par exemple dissection de poissons pour effectuer une analyse chimique sur un tissu particulier). L'objectif de rapidité ne doit cependant pas aller à l'encontre de la qualité du traitement des échantillons et des changements de procédures peuvent être nécessaires si celui-ci n'est pas suffisamment rapide. Peut-être faut-il également réévaluer le programme, des retards dans le traitement des échantillons pouvant en affecter l'utilité. Les informations suivantes relatives au traitement devront être précisées:

- date et emplacement;
- noms des personnes responsables du traitement;
- méthode de traitement;
- matériel utilisé pour le traitement;
- toute modification apportée aux méthodes et protocoles établis.

3.3.8 Analyser les échantillons

Beaucoup d'échantillons doivent être analysés après le prélèvement et le traitement. Qu'il s'agisse d'une analyse chimique ou d'une identification biologique, les moyens à mettre en oeuvre doivent être déterminés au stade de l'étude pilote.

On fait maintenant régulièrement appel à des méthodes statistiques pour analyser les données et évaluer l'ampleur d'un changement ou d'une variation. Ces techniques devraient également être correctement testées au stade de l'étude pilote. Le prélèvement et le traitement d'échantillons offrent peu d'intérêt si l'on ne dispose pas des moyens nécessaires pour interpréter les données. Le prélèvement d'échantillons dans l'espoir de trouver les moyens de les analyser n'est pas une stratégie efficace pour un programme de suivi (elle peut être appropriée dans le cadre d'un projet de surveillance). La réalisation de l'objectif d'un programme de suivi est impossible si l'on ne peut interpréter les données des échantillons. Une bonne analyse statistique est capitale lorsque l'on aborde des problèmes complexes ou litigieux (voir Hewett 1986, Bishop 1983). L'analyse des échantillons et des données devra donc faire appel à des procédures rigoureuses et incontestées.

Comme pour le prélèvement des échantillons, un ensemble d'informations de base devront être enregistrés lors de l'analyse:

- date et emplacement;
- noms des personnes responsables de l'analyse;
- méthodes d'analyse;
- matériel utilisé pour l'analyse;
- moyens et lieu de stockage des données;
- toute modification apportée aux méthodes établies;
- tests statistiques et niveau de signification.

3.3.9 Interpréter les données et rendre compte des résultats

Les informations et résultats provenant du suivi doivent être interprétés et rapportés en temps voulu et de façon économique, sans quoi on pourrait considérer que le programme a échoué puisqu'il est conçu pour fournir des résultats devant contribuer aux activités de gestion futures.

L'interprétation devrait avoir lieu dans le cadre fourni par l'objectif du programme. Pour garantir que cet aspect critique du programme reçoive l'attention qui lui est due, on pourra rendre publics le calendrier d'établissement des rapports et les rapports eux-mêmes.

L'établissement de rapports peut prendre beaucoup de formes différentes et il n'est pas toujours nécessaire, ni même désirable, d'inclure tous les résultats et détails du programme, même si ceux-ci doivent rester facilement accessibles. La forme du rapport sera en partie déterminée par la nature du problème et les objectifs du suivi. On cherchera ici à garantir que les données obtenues soient intégrées au processus de planification des activités de gestion. Dans de nombreux cas, il sera aussi intéressant que le rapport précise les besoins



futurs en matière de suivi, que ce soit de la même nature ou non. La taille et style du rapport dépendront de l'objectif, de la méthode employée et des destinataires; il devra cependant rester succinct et concis et s'appuyer sur des analyses statistiques.

Le rapport doit indiquer si l'hypothèse a été vérifiée et si des mesures de gestion sont nécessaires. Il devrait aussi servir à évaluer l'efficacité des méthodes d'échantillonnage.

3.3.10 Appliquer les mesures de gestion et évaluer le projet

Le cadre présenté au tableau 3.1 et à la figure 3.1 décrit un ensemble de procédures pouvant alimenter le processus de planification. Elles devront être mises à profit tout au long de la planification et de la mise en oeuvre du programme de suivi pour garantir que le niveau de rigueur voulu est obtenu et que l'hypothèse pourra être testée grâce aux données recueillies. A la fin du programme, ou à l'issue d'une période prédéterminée, l'ensemble du processus devra être réexaminé afin d'apporter et d'enregistrer les modifications nécessaires. Le programme pourra être clos lorsque les objectifs auront été atteints.

3.4 Conclusion

Le suivi fait partie intégrale du processus de gestion. A ce titre, les défauts de conception constituent un handicap auquel il convient de remédier, les programmes mal conçus pouvant produire des données et autres informations trompeuses ou erronées. Compte tenu de la difficulté d'obtenir des ressources pour la gestion, il est important d'éviter tout gaspillage dans des programmes de suivi inefficaces.

Le cadre présenté ci-dessus ne fournit pas une recette de programme de suivi. Il décrit en revanche une série d'étapes qui peuvent aider les planificateurs

de programmes de suivi à prendre des décisions adaptées à leurs besoins particuliers en connaissance de cause. Les différentes boucles de rétroaction permettent de réévaluer régulièrement l'adéquation d'un programme.

RÉFÉRENCES

- Bishop, D.N. 1983. *Statistics for biology*. Longman, Harlow, UK. 232 pp.
- Constable, A.J. 1991. The role of science in environmental protection. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research* 42: 527-538.
- Finlayson, C.M. 1994. Monitoring ecological change in wetlands. In: G. Aubrecht, G. Dick and R.C. Prentice (eds.). *Monitoring Ecological Change in Wetlands of Middle Europe*. Stapfia 31, Linz, Austria and IWRB Special Publication 30, Slimbridge, UK. pp 163-180.
- Finlayson, C.M., G.E. Hollis & T.J. Davis (eds.). 1992. *Managing Mediterranean Wetlands and Their Birds*. IWRB Special Publication 20, Slimbridge, UK. 285 pp.
- Furness, R.W., J.J.D. Greenwood & P.J. Jarvis. 1994. Can birds be used to monitor the environment? In: R.W. Furness & J.J.D. Greenwood (eds.). *Birds as Monitors of Environmental Change*. Chapman & Hall, London, UK. pp 1-14.
- Goldsmith, F.B. (ed.). 1991. *Monitoring for Conservation and Ecology*. Chapman & Hall, London, UK. 275 pp.
- Green, R.H. 1984. Statistical and nonstatistical considerations for environmental monitoring studies. *Environmental Monitoring and Assessment* 4: 293-301.
- Hewett, C.N. 1986. *Methods of Environmental Data Analysis*. Chapman & Hall, London, UK. 309 pp.
- Maher, W.A., P.W. Cullen & R.H. Norris. 1994. Framework for designing sampling programs. *Environmental Monitoring and Assessment* 30: 139-162.
- Maher, W.A. & R.H. Norris. 1990. Water quality assessment programs in Australia: deciding what to measure, and how and where to use bioindicators. *Environmental Monitoring and Assessment* 14: 115-130.
- Spellerberg, I.F. 1991. *Monitoring Ecological Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 334 pp.

4 Identification d'indicateurs

Patrick Grillas



RÉSUMÉ

Les indicateurs sont des variables mesurables permettant de caractériser un écosystème. Le nombre de paramètres pouvant être utilisés dans le cadre d'un programme de suivi est considérable mais les différences de coût et d'efficacité (valeur indicative, détection rapide) entre indicateurs sont tout aussi grandes. La sélection des indicateurs constitue donc une étape cruciale de la planification d'un programme de suivi. L'identification d'une hypothèse claire et réfutable est un préliminaire indispensable au choix des indicateurs. Ceux-ci doivent permettre d'apporter une réponse au problème en cherchant le meilleur compromis entre clarté des informations, rapidité d'obtention, coûts et faisabilité.

Les indicateurs physiques sont probablement les plus adaptés à une alerte rapide parce qu'ils sont généralement les plus proches des processus pouvant endommager l'écosystème tels que la destruction d'une zone humide, l'eutrophisation, la pollution par des substances toxiques ou les modifications de régime hydrologique. Ils peuvent malheureusement être d'une utilisation coûteuse et leur impact sur les composantes biologiques de l'écosystème peut s'avérer difficile à évaluer. Les indicateurs biologiques seront utilisés à la fois pour leur intérêt propre et pour leur valeur indicative. Ils fournissent des informations sur l'impact de processus adverses sur les organismes vivants. Les espèces bioaccumulatrices peuvent constituer des outils moins coûteux pour évaluer la présence et la concentration de substances toxiques dans l'environnement. Les indicateurs biologiques présentent cependant également un certain nombre d'inconvénients, dont la mobilité et le délai et l'amortissement de la réponse.

Des indicateurs pour les zones humides méditerranéennes sont proposés ci-après pour des menaces spécifiques (destruction de l'écosystème, modifications du régime hydrologique, eutrophisation, pollution par des composés toxiques, exploitation nuisible). Ils ne peuvent bien évidemment pas être pertinents dans toutes les situations, mais l'objectif est plutôt de montrer comment sélectionner des indicateurs parmi l'ensemble des possibilités qui sont offertes.



4.1 Introduction

Le but ultime du suivi des zones humides consiste à évaluer les changements des caractéristiques écologiques (voir le chapitre 2 de ce document) pouvant intervenir dans ces écosystèmes (ces changements étant d'origine naturelle ou humaine, et résultant d'activités *in situ* ou *ex situ*) et à se doter des informations nécessaires pour établir des hypothèses sur les causes de ces changements (stress). Les effets des stress sur les écosystèmes s'expriment de manière différente aux divers niveaux de l'organisation (voir, par exemple, Odum 1985).

Les grandes étapes de l'établissement d'un programme de suivi sont présentées au chapitre 3 (Finlayson, dans ce document). Les objectifs du suivi sont établis à partir de Goldsmith (1991) et Keddy *et al.* (1993):

1. La définition claire de l'état "originel" ou "optimal" de l'écosystème;
2. L'identification des variables (indicateurs) témoignant de l'état de l'écosystème;
3. La détermination pour ces variables de seuils permettant de fixer les limites des conditions acceptables (c.à.d. séparant ce que l'on pourrait appeler un "bruit de fond environnemental" dû aux fluctuations naturelles, des changements écologiques d'origine humaine); et enfin
4. L'évaluation des résultats des activités de gestion.

Une fois que les objectifs du suivi ont été fixés, l'identification d'hypothèses réfutables relatives à l'évolution des caractéristiques écologiques d'une zone humide est cependant, comme le souligne le chapitre 3 (Finlayson, dans ce document), une étape très importante qui facilitera le choix des indicateurs.

Cette sélection au sein d'une gamme de variables considérable est probablement une des décisions majeures qu'il faut prendre lors de la planification d'un programme de suivi. Elle serait relativement facile à faire de manière rationnelle si l'on disposait de modèles prédictifs opérationnels pour les zones humides. Malheureusement nous ne savons pas quelles sont, dans un écosystème, les variables clés (variables d'état) décrivant sa qualité et le niveau de stress auquel il est soumis (Rapport *et al.* 1985).

La sélection des indicateurs est un compromis entre le "meilleur" programme de suivi que l'on pourrait planifier d'après ce que l'on connaît de l'écologie de l'écosystème visé (programme généralement beaucoup trop exigeant en temps et matériel) et ce que l'on peut

faire avec les ressources disponibles. Ce compromis est temporaire puisque les menaces pesant sur un écosystème et ses ressources peuvent évoluer et que les connaissances du fonctionnement de l'écosystème augmentent à mesure de la réalisation d'études et de l'accumulation de données. Les indicateurs doivent être choisis dans chaque site en fonction des objectifs du programme de suivi, du type de changement écologique, du type de zone humide, de considérations d'espace et de temps, et des informations et ressources disponibles.

Il ne s'agit pas d'une mesure isolée dans le processus de planification d'un programme de suivi; celui-ci, on l'a vu au chapitre 3 (voir la figure 3.1) doit être itératif et le choix des indicateurs dépend du résultat d'autres étapes. Il est ainsi essentiel de décider au préalable ce que l'on cherche à caractériser: biodiversité (y compris les effectifs de certaines espèces cibles), vitesse d'érosion, intensité de stress dû à certains polluants, etc. La définition d'objectifs précis est par conséquent primordiale dans le choix des indicateurs.

Ce chapitre cherche à établir certains principes pour le choix des indicateurs. Le nombre de situations envisageables (type de zone humide x type de changement écologique) et d'indicateurs potentiels est considérable et il ne serait pas possible de les présenter tous ici, encore moins de les examiner en détail. On peut cependant regrouper certains indicateurs en catégories s'appliquant à des situations particulières (c.à.d. à certains types de zones humides, de menaces, etc.). Un indicateur est d'autant plus utile qu'il est spécifique.

L'approche est pragmatique en ce sens que l'on a cherché à aider les utilisateurs, en particulier les gestionnaires de zones humides, à sélectionner leurs propres indicateurs en fonction de leurs besoins et de leurs ressources, et établi la liste des indicateurs ou groupes d'indicateurs importants dans les zones humides méditerranéennes. Si cette liste ne peut en aucun cas être considérée comme complète ni adaptée à toutes les situations, le processus de sélection quant à lui doit pouvoir s'appliquer. Il s'appuie sur l'analyse fonctionnelle de l'écosystème et reste basé sur l'hypothèse que si la qualité de l'habitat est maintenue, les espèces qui l'utilisent et la diversité biologique seront préservées. Dans la plupart des cas, il faudra d'abord choisir les indicateurs pour caractériser les facteurs écologiques clés contrôlant la structure de l'habitat et la production. Dans les zones humides méditerranéennes, les niveaux d'eau, les quantités d'éléments nutritifs et la salinité sont les facteurs écologiques les plus importants contrôlant la composition en espèces, la structure, la diversité et la production des communautés végétales et, par conséquent l'utilisation qui en est faite par la faune sauvage et les populations humaines.



4.2 Qu'est-ce qu'un indicateur?

Les *indicateurs* sont des variables mesurables représentant des caractéristiques supposées fondamentales d'un écosystème (zone humide), dont la mesure permet de vérifier la conformité avec un certain objectif environnemental. Kushlan (1993a) suggère que la base théorique des indicateurs relève de la théorie générale des systèmes (Von Bertalanffy 1968, Odum 1983) stipulant que l'on peut prévoir l'état d'un système (y compris d'un écosystème) d'après le niveau des variables d'état et les processus les reliant. On peut distinguer trois catégories de variables dans un écosystème (Noss 1990) soumis à un stress: variables de composition, de structure et de fonctionnement. Les indicateurs permettent de mesurer des caractéristiques de fonctionnement, de structure ou de composition du système, quelle que soit l'échelle considérée:

- les indicateurs de composition d'un écosystème portent sur les types de paysage, les communautés, les populations, les espèces, les éléments infraspécifiques;
- les indicateurs de structure décrivent l'assemblage physique des éléments du système: paysage, habitats, espèces, populations, variations génétiques, etc.;
- les indicateurs de fonctionnement décrivent les processus intervenant dans l'écosystème: régime hydrologique, cycle des éléments nutritifs, interactions entre espèces, flux génétique, flux de matières, etc.

Les variables physiques comme biologiques peuvent constituer des indicateurs intéressants. Une pléthore d'indicateurs est ainsi disponible et beaucoup ont été utilisés pour le suivi d'écosystèmes, du niveau infracellulaire à celui du paysage. La quasi-totalité des variables ou espèces peuvent être des indicateurs de l'état d'un système/d'une zone humide mais la quantité d'informations fournies et leur coût peuvent cependant être très différents selon la variable/l'espèce considérée, la zone humide, le problème examiné, etc.

Bien que l'on y prête rarement l'attention suffisante, il est possible de trouver *ex-situ* des indicateurs peu coûteux et intéressants dans des agences gouvernementales et non gouvernementales, notamment en ce qui concerne la partie amont du site étudié (occupation des sols, données météorologiques, stations de pompage, projets d'irrigation et de drainage, installations industrielles, densités démographiques, etc.).

4.2.1 Indicateurs biologiques et physiques

Un programme de suivi peut inclure des variables non biologiques (niveaux d'eau, teneurs en éléments nutritifs et divers ions, température, radioactivité, etc.) et/ou biologiques (allant du niveau subcellulaire à celui de l'individu, de l'espèce, de la population, ou même de la communauté toute entière). L'utilisation concomitante de ces deux types de variables permet de tester des hypothèses quant aux causes des changements observés.

Indicateurs physiques

Les indicateurs physiques donnent des informations précises sur l'impact des mesures de gestion et sur les éventuelles causes de stress (superficie de la zone humide, mouvements d'eau, sédiments, substances polluantes, etc.). Quelques variables physiques sont généralement essentielles (indicateurs environnementaux clés) et parfois très faciles à mesurer (comme le niveau d'eau, la salinité, ou les solides en suspension). Les indicateurs physiques importants dans une zone humide sont liés aux cycles des éléments nutritifs et aux problèmes de pollution.

Beaucoup d'indicateurs physiques sont très spécifiques à des menaces particulières et doivent donc être choisis en fonction du type de zone humide et des menaces qui sont les plus à craindre (il serait extrêmement coûteux de suivre tous les polluants). Le dosage de certains polluants à de très basses concentrations peut être complexe et coûteux (métaux lourds par exemple). En outre, il ne suffit pas de connaître la teneur d'une substance polluante particulière dans une zone humide pour évaluer avec précision sa disponibilité et son impact sur les éléments biologiques du système.

Indicateurs biologiques

La gamme d'indicateurs biologiques pouvant être utilisés dans le cadre d'un programme de suivi est très large, allant du niveau du paysage à celui de la molécule, et le sujet est à l'origine d'un nombre considérable de publications. Outre leur valeur indicative, les bio-indicateurs peuvent avoir une valeur intrinsèque, comme objectifs de la gestion (valeur de conservation), comme nuisibles ou pour leur intérêt économique (ressource). Trois raisons peuvent ainsi inciter à suivre une espèce (Keddy 1991): (1) l'intérêt particulier de l'espèce pour sa rareté (par exemple, *Gentiana pneumonanthe* dans les zones humides méditerranéennes, ou le Pélican frisé *Pelecanus crispus*), (2) l'aspect indésirable de l'espèce (espèces exogènes souvent, comme *Ludwigia grandiflora*, ou



l'Erisma rousse *Oxyura jamaicensis*) ou (3) l'intérêt de l'espèce comme indicateur de conditions environnementales (comme les roseaux *Phragmites australis* qui témoignent des conditions hydrologiques et façonnent les habitats pour la faune sauvage). La répartition des espèces n'est pas uniforme mais répond plutôt à l'hétérogénéité des conditions physiques (climat, altitude, substrat, profondeur d'eau, etc.) et aux interactions entre espèces. Chaque espèce a des exigences particulières en matière d'environnement, relativement étroites ou au contraire plus larges (espèces ubiquistes). En écologie végétale, on utilise certaines espèces pour l'identification de communautés ou d'habitats. L'utilisation d'organismes biologiques comme indicateurs de l'état d'un écosystème exploite les informations que l'on peut tirer de la présence et de l'absence de certains organismes sur les conditions environnementales (celles-ci se situant à l'intérieur des limites tolérées par les organismes présents).

Pour être efficace dans un programme de suivi, un bio-indicateur doit avoir un certain nombre des attributs présentés dans l'encadré 4.1.

4.2.2 Indicateurs et accumulateurs

Un organisme peut témoigner d'un niveau de stress (pollution par exemple) de deux manières différentes: comme indicateur ou accumulateur.

Encadré 4.1 Attributs souhaitables pour les bio-indicateurs (Hellawell 1986)

1. Ils sont faciles à identifier – les incertitudes taxonomiques peuvent compliquer l'interprétation des données;
2. Ils sont faciles à échantillonner, c'est-à-dire sans qu'il y ait besoin de plusieurs opérateurs ni de matériel coûteux, et quantitatifs;
3. Ils ont une aire de répartition cosmopolite – l'absence d'espèces ayant des exigences écologiques très étroites et une aire de répartition limitée n'est pas forcément liée à la pollution, etc.;
4. Ils sont associés à d'abondantes données sur les exigences autoécologiques – ce qui aide considérablement l'analyse des résultats des enquêtes et la définition d'indices de pollution ou biotiques;
5. Ils revêtent une importance économique en tant que ressource ou nuisible; les espèces ayant un intérêt économique (poissons) ou considérées comme des nuisibles (certaines algues) présentent un intérêt intrinsèque;
6. Ils accumulent facilement les polluants – en particulier d'une manière reflétant les niveaux dans l'environnement puisque cela facilite la compréhension de leur répartition en fonction des niveaux de pollution;
7. Ils peuvent facilement être cultivés en laboratoire, ce qui permet également de relier les études expérimentales des réponses aux polluants avec les observations effectuées sur le terrain;
8. Ils présentent une faible variabilité, à la fois en termes de génétique et de rôle (niche) qu'ils occupent dans la communauté biologique.

Bio-indicateurs de présence

La présence d'une espèce particulière dans un habitat indique que le niveau de pollution y reste inférieur à la limite de tolérance pour cette espèce. On peut alors définir un indicateur sous forme d'indice de présence/absence fournissant une estimation très grossière du niveau de stress et ne pouvant déceler que des problèmes aigus. On a également mis au point des indicateurs plus sensibles de stress physiologique, portant sur des effets biologiques sublétaux (taux de croissance, taux de reproduction, morphogénèse, etc.).

Les informations fournies par un bio-indicateur varient largement en fonction du niveau d'organisation auquel il se trouve (voir l'encadré 4.2) et des effets du stress (Kushlan 1993a, 1993b; Hellawell 1986). Aux niveaux du paysage ou de l'écosystème, les indicateurs intègrent un grand nombre de considérations mais ne sont pas très efficaces pour donner une alerte rapide et ne permettent pas toujours de désigner le responsable du stress. On peut trouver des bio-indicateurs intéressants à un niveau inférieur à celui de l'organisme (niveau anatomique, physiologique ou moléculaire) et servant à donner une alerte rapide. Ils témoignent d'une exposition à un facteur de stress avant que l'on puisse déceler d'effet adverse au niveau de l'individu ou de la population (Huggett *et al.* 1992, Zakharov & Clarke 1993). Beaucoup

Encadré 4.2 Bio-indicateurs potentiels utilisables à divers niveaux d'organisation biologique dans les zones humides (d'après Kushlan 1993b)

Niveau	Type d'indicateur
1. Suborganisme	moléculaire, physiologique, his:opathologique, immuno:ogique, charge xénobiotique (tous niveaux taxonomiques; plantes, invertébrés, poissons, etc.)
2. Organisme	croissance, mort, comportement, études toxicologiques (DL50, par exemple, très utilisée pour les études toxicologiques sur les poissons)
3. Population	présence/absence, répartition, effectifs, succès de reproduction (tous niveaux taxonomiques)
4. Communauté	assemblage d'espèces, richesse spécifique, indices de diversité
5. Ecosystème	énergie et flux de matières, variables d'état



d'entre eux sont cependant difficiles à suivre pour un gestionnaire de zone humide (comme les modifications d'ADN, l'activité enzymatique, la production d'anticorps, etc.) et restent du domaine de la recherche plus que de celui des mesures de routine.

On a beaucoup utilisé la composition en espèces, leur diversité et leur abondance pour suivre les perturbations d'un écosystème et le retour aux conditions normales. Bien que les données soient habituellement disponibles pour certains groupes de végétaux ou d'animaux, il convient d'évaluer soigneusement leur sensibilité avant de les utiliser comme indicateurs. Un bon programme de suivi exige de faire appel à une gamme d'indicateurs à différents niveaux d'organisation (végétation, invertébrés, batraciens et poissons par exemple), avec un objectif commun et une procédure d'échantillonnage adéquate. Il est également nécessaire de pouvoir distinguer les effets respectifs du changement écologique de ceux des fluctuations environnementales (comme les fluctuations climatiques naturelles) ou des changements extérieurs (en particulier pour les organismes non sédentaires). L'agrégation d'un ensemble hétéroclite d'études de suivi d'effectifs ne peut en aucun cas constituer un véritable programme de suivi d'un écosystème.

Bio-indicateurs accumulateurs

Un organisme peut accumuler des substances dans ses tissus (rôle de bio-accumulateur) et donc témoigner de la concentration de telle ou telle substance dans l'environnement ou de son niveau d'exposition à cette substance. Les bio-accumulateurs sont très utiles dans le cas de substances qu'on ne trouve qu'à de très faibles concentrations dans l'environnement, où elles sont difficiles à déceler. Ils le sont également pour témoigner de pollutions ponctuelles soumettant les organismes à des pics irréguliers de substances toxiques (cas des métaux lourds par exemple). Les indicateurs bio-accumulateurs ont été utilisés en particulier pour suivre les pollutions par des métaux et pesticides, insecticides organochlorés notamment. Les exemples les plus connus chez les oiseaux concernent probablement l'impact des organochlorés sur le Faucon pèlerin *Falco peregrinus* (Moore & Ratcliffe 1965) et sur le Pélican brun *Pelecanus occidentalis* aux États-Unis (Jehl 1973).

Phillips (1977) et Hellawell (1986) ont décrit sept caractéristiques d'un bio-indicateur accumulateur idéal (voir l'encadré 4.3). On peut ajouter que celui-ci devrait également être assez grand pour fournir des tissus en quantités adéquates pour les analyses, sédentaire de manière à refléter les conditions locales et robuste pour survivre en laboratoire (Phillips 1977). Un tel indicateur idéal n'existe pas mais ces

Encadré 4.3 Attributs d'un indicateur bio-accumulateur idéal (d'après Hellawell 1986)

1. Il doit y avoir la même corrélation simple entre la teneur en résidus dans l'organisme et la concentration moyenne de polluant dans l'environnement (eau, sédiments, aliments) pour tous les individus de l'espèce utilisée comme indicateur, quels que soient le site et les conditions;
2. L'espèce devrait accumuler un polluant donné sans que le niveau maximum rencontré dans l'environnement n'entraîne sa mort;
3. L'espèce devrait être sédentaire afin d'être certain que les résultats se rapportent à la zone d'étude;
4. L'espèce devrait être abondante dans l'ensemble de la zone d'étude (et être de préférence largement répandue afin de faciliter les comparaisons entre sites);
5. L'espèce devrait avoir une bonne longévité afin de permettre l'échantillonnage de plusieurs classes d'âge et d'évaluer les effets à long terme;
6. L'espèce devrait être de grande taille afin de fournir suffisamment de tissus pour les analyses;
7. L'espèce devrait être facile à prélever et robuste pour survivre en laboratoire.

caractéristiques soulignent les problèmes auxquels on est confronté sur le terrain. Parmi les facteurs affectant la fiabilité des indicateurs figurent les modifications des taux d'accumulation et d'excrétion des substances polluantes, l'âge, la taille et la physiologie de l'espèce indicatrice, son niveau trophique, les variables environnementales affectant la solubilité et le taux d'absorption des substances, et les interférences entre substances (Hellawell 1986).

4.3 Choix des indicateurs

La première dichotomie concerne ici les objectifs d'un programme de suivi: portent-ils sur la superficie ou sur la qualité de la zone humide. Dans le premier cas, on s'intéresse principalement à des questions de perte et de transformation d'habitat (superficie de la zone humide et des différents habitats), qu'elles soient d'origine humaine ou naturelle. À l'opposé, les problèmes liés aux caractéristiques biologiques, physiques et chimiques de l'écosystème concernent la qualité de la zone humide.

Les changements des caractéristiques écologique d'une zone humide et, par suite, leurs indicateurs, peuvent être très divers. Les changements écologiques peuvent être dus: (1) à l'impact des activités de gestion (en cas de succès d'un plan de restauration ou de gestion par exemple); (2) à des menaces extérieures, plus ou moins localisées (comme les problèmes de pollution, d'extraction d'eau, etc.); ou (3) à des tendances extérieures généralisées (climatiques par exemple).



Dans tous les cas, les objectifs du programme de suivi consisteront à mettre ces changements en évidence le plus tôt possible (ce qui nécessite d'avoir des données de référence ou un témoin), à en évaluer l'ampleur, à en déterminer les causes et, finalement, à identifier les mesures qui permettront de bloquer ou de renverser les tendances.

Il est relativement facile d'identifier les indicateurs à choisir lorsque le suivi porte sur l'impact d'activités de gestion. Ils doivent se rapporter le plus étroitement possibles aux changements physiques ou biologiques dus à la gestion et concerner les différents compartiments de l'écosystème (abiotique, végétal et animal) aux divers niveaux d'organisation. Les changements les plus fréquemment introduits par les activités de gestion concernent le régime hydrologique (durée, période d'inondation, hauteur d'eau), le pâturage (interdiction, introduction, changements de la pression de pâturage, espèces ou races), le prélèvement de végétaux ou d'animaux, les perturbations, etc.

Bien que les changements écologiques et les menaces extérieures puissent être très divers, certains types sont beaucoup plus fréquents que d'autres. Outre la destruction et les modifications physiques drastiques, qui sont traitées dans la section suivante, les changements les plus fréquents et les plus importants qui menacent les zones humides méditerranéennes sont: (1) les modifications du régime hydrologique; (2) l'eutrophisation; (3) la pollution par des éléments non biologiques; (4) la surexploitation des ressources naturelles (pâturage, chasse, pêche, récolte des roseaux pour constructions, etc.); et (5) l'introduction d'espèces exogènes.

Indices biotiques

Par sa présence, chaque espèce fournit un élément d'information sur la situation écologique d'une zone humide donnée et sur le niveau de stress auquel est soumis l'écosystème. Ces informations sont difficiles à analyser et interpréter lorsqu'il y a beaucoup d'espèces et que l'on considère des séries de données. L'objectif des indices biotiques est de résumer les informations apportées par une liste d'espèces ou des données d'abondance relative ou absolue des espèces rencontrées. Ces indices peuvent être basés sur les effectifs de certains taxons, sur la structure (abondance et diversité d'espèces) des assemblages d'espèces (phytoplancton, invertébrés, etc.) ou comparer différents assemblages d'espèces ou communautés. Les indices calculés sur les effectifs de certaines espèces sont particulièrement utiles pour suivre l'eutrophisation, alors que les indices de structure sont employés pour évaluer le niveau de stress auquel est soumis un écosystème en mesurant les écarts par

rapport à une structure théorique (voir, par exemple, Fisher *et al.*, 1943, Preston 1948, MacArthur 1957). Un gestionnaire de zone humide peut établir un programme de suivi basé sur des indices biotiques qui permettront de faire une évaluation globale du stress auquel est soumis l'écosystème. Ces indicateurs doivent être identifiés à un niveau relativement élevé d'organisation (population, communauté, écosystème) et ne permettront par conséquent pas de donner une alerte rapide. Il faudra être très attentif aux traitements statistiques que l'on applique aux indices.

Les sections suivantes présentent différents paramètres pouvant servir d'indicateurs, regroupés par type de changement, avec une brève description et quelques commentaires relatifs à leurs avantages et inconvénients. Ces paramètres ont été soulignés dans le texte.

4.3.1 Changements de superficie d'une zone humide

Le suivi de l'évolution de la superficie des zones humides, à la baisse ou à la hausse, exige au préalable une définition claire et opérationnelle de l'écosystème étudié. La définition elle-même n'affecte pas le processus, à condition qu'elle n'évolue pas avec le temps et qu'elle permette de délimiter la zone humide. Ce type de suivi peut faire appel à des inventaires répétés, avec représentation cartographique, tous les 5 à 10 ans sur les mêmes sites (voir Méthodologie MedWet pour l'inventaire des zones humides, in Costa *et al.* 1996). Toutefois, les objectifs du programme de suivi visent plus à évaluer les changements qu'à faire un inventaire complet de l'écosystème et on peut donc utiliser un nombre inférieur d'indicateurs.

Un certain nombre d'indicateurs peut être utilisés à différents niveaux:

- la **liste des différents habitats** d'une zone humide (marais temporaires, lagunes, prairies inondées, etc.) peut constituer un indicateur de composition. De telles listes d'habitats figurent dans le Système de description des habitats proposé par MedWet (Farinha *et al.* 1996) ou dans la classification CORINE des biotopes de l'Union européenne (Commission des Communautés européennes 1991, Devillers & Devillers-Terschuren 1993). Les indicateurs de composition ne fournissent aucune information sur les changements quantitatifs de superficie de la zone humide;
- l'**hétérogénéité des habitats**, la **superficie par habitat**, la **fragmentation** ou la **longueur d'un cours d'eau** ne sont que quelques uns des multiples indicateurs possibles de la structure du site;



- l'analyse de la **tendance** révèle la vitesse de diminution ou d'augmentation de la superficie de la zone humide. Celui-ci peut être étudié dans le temps (par exemple, Frayer *et al.* 1983a, Hollis 1992) et/ou comparé avec les informations disponibles pour d'autres régions, ou avec d'autres tendances (concernant, par exemple, les superficies cultivées: Lemaire *et al.* 1987, Baldock 1989).

Outre les indicateurs immédiats tels que ceux qui sont mentionnés ci-dessus, il convient de choisir aussi des indicateurs *ex-situ* ou à des niveaux d'organisation différents afin de comprendre les causes de la destruction des zones humides. Ceux-ci pourront varier en fonction des situations, les causes de changement et par conséquent les éventuels indicateurs pouvant être l'occupation des sols dans la zone humide et/ou dans le bassin versant, la canalisation des cours d'eau, l'endiguement, le taux d'érosion/d'accrétion, le taux de subsidence, etc.

À l'échelle nationale ou régionale, il n'est généralement pas possible d'effectuer des inventaires complets des zones humides à une fréquence suffisante (tous les 5 à 10 ans). Les enquêtes à intervalles réguliers sur des sites choisis ne peuvent pas être représentatives de la superficie entière (sélection des sites: on choisit généralement les grands sites, ainsi que ceux qui revêtent une importance particulière pour des espèces emblématiques comme certains oiseaux, etc.) et ne se prêtent pas à une analyse statistique des tendances (les échantillons ne sont pas indépendants). Le suivi doit donc être basé sur un protocole comportant un échantillonnage aléatoire (stratifié) des zones humides (Frayer *et al.* 1983a & b, Ernst *et al.* 1995). Les enquêtes répétitives exigent au préalable une définition claire et pratique des sites permettant une délimitation homogène par les techniciens de terrain, ainsi qu'un système de classification standardisé.

La télédétection par photographies aériennes (ballons, avions, ultra-légers motorisés, etc.) ou images satellitaires constitue le principal outil pour suivre la destruction des zones humides. Les photographies aériennes aux infrarouges (à une échelle d'environ 1:20000) semblent les plus adaptées à la délimitation et aux programmes de suivis (Anonymous 1992, Taylor *et al.* 1995). Les images satellitaires sont utiles pour les grandes superficies, quand il n'est pas possible d'avoir des photographies aériennes et/ou lorsqu'il n'est pas nécessaire d'avoir une résolution extrêmement précise. L'utilisation de radars en est encore au stade expérimental mais pourrait à l'avenir, conjointement avec des capteurs optiques, améliorer les résultats obtenus grâce aux données satellitaires (Holmes 1992). Les informations devraient si possible être regroupées

dans un système d'information géographique (SIG), technique particulièrement adaptée au stockage de grandes quantités de données à différentes échelles géographiques et permettant des analyses croisées (Cluis 1992). Les analyses porteront sur les séries temporelles, les statistiques spatiales, etc.

4.3.2 Modifications du régime hydrologique

Dans la plupart des cas, les changements de régime hydrologique ont une origine humaine et concernent une réduction du niveau d'eau, de la durée d'inondation, etc., due à une surexploitation des ressources dans la zone humide même ou en amont (voir le chapitre 2 de ce document). Inversement, les activités de gestion peuvent permettre d'augmenter le niveau d'eau ou la durée d'inondation dans une zone humide ou de modifier la périodicité ou l'amplitude des variations de niveaux d'eau, comme au lac Kerkini, Grèce (Crivelli *et al.* 1995), ou en Camargue, France (Tamisier & Grillas 1994). Les mesures de gestion de l'eau, comme le détournement d'eau douce au lac Ichkeul, Tunisie, peuvent parfois induire des changements de salinité sans grande modification de niveau, lorsque celui-ci dépend en partie du niveau de la mer.

Les changements de régime hydrologique peuvent aussi être dus à des processus naturels. L'assèchement des écosystèmes aquatiques (élévation du niveau du sol par accumulation de matière organique) est un processus lent mais qui est accéléré par l'eutrophisation. L'abaissement des lacs karstiques, comme à Megali Prespa, à l'ouest de la Grèce, constitue un autre exemple de processus naturel, dû ici à des raisons géologiques.

Dans tous les cas, il convient d'être très attentif à distinguer les changements d'origine naturelle de ceux dus à l'homme (activités de gestion), et les fluctuations des tendances. Les très fortes fluctuations de précipitations caractéristiques de la région méditerranéenne modifient profondément le régime hydrologique des zones humides qu'il y ait ou non interférence humaine. À une autre échelle de temps, le changement climatique et l'élévation du niveau des mers pourraient modifier les conditions hydrologiques actuelles. Il est essentiel de connaître l'ampleur des fluctuations naturelles avant de chercher à évaluer d'éventuels changements.

Les indicateurs de changements de régime hydrologique d'une zone humide sont assez évidents. Sur le site même, il convient de mesurer le niveau d'eau et les volumes arrivant dans l'écosystème (précipitations, cours d'eau, canaux, etc.) ou, en ce qui concerne les fleuves, le débit ou la hauteur d'eau. Un



programme de suivi devrait au minimum comporter une mesure directe des **niveaux des eaux de surface et souterraines**. Facteur écologique fondamental à la base de la répartition des habitats et des espèces, le niveau des eaux de surface doit être suivi dans toutes les zones humides. L'absence de telles données, relativement fréquente, gêne l'évaluation écologique. On peut souvent obtenir *ex situ* et/ou *in situ* des données utiles auprès des agences responsables des fleuves, des lacs ou d'autres types de zones humides. Les niveaux d'eau des barrages et des fleuves sont généralement mesurés quotidiennement sur de longues périodes et donnent de précieuses informations sur les changements en amont.

Le calcul du **bilan hydrologique** (quantités d'eau entrant et sortant des zones humides) permet de mieux comprendre les causes des changements (ou au moins d'établir des hypothèses). Les principales sources d'eau sont généralement les précipitations, les cours d'eau, les canaux ou les eaux souterraines (voir Mitsch & Gosselink 1993). Ces variables peuvent être mesurées très facilement à des coûts très modestes tant que du personnel reste affecté sur place. Les systèmes d'enregistrement automatique des données améliorent l'efficacité si les ressources le permettent.

Les mesures de **salinité** (ou de son équivalent: la **conductivité électrique**) des eaux de surface et souterraines donnent d'autres informations pertinentes dans les zones humides côtières et endoréiques où les mouvements d'eau ont des effets de concentration ou de dilution. Lorsque l'eau baisse dans un marais, les mesures de salinité permettent d'estimer les pertes par évapotranspiration ou infiltration. De même, la salinité des lagunes constitue un indicateur du bilan hydrologique des différents compartiments (précipitations, mer, fleuves, etc.) et donc des processus hydrologiques. Dans certains cas, la **température de l'eau** peut être un indicateur des changements de régime hydrologique, par exemple dans des zones humides alimentées par des sources d'une température très différente de celle des eaux de surface.

Certaines espèces de plantes, d'invertébrés ou de poissons peuvent constituer des bio-indicateurs du régime hydrologique des zones humides. On ne peut cependant les recommander dans le cadre d'un programme de suivi parce que les mesures directes des conditions physiques sont plus faciles et moins coûteuses et fournissent plus d'informations sur le régime hydrologique de l'écosystème. Leur utilisation devrait être limitée aux sites où il est impossible de mettre en place un suivi continu. Une espèce végétale unique ne constitue probablement pas un bon indicateur, mais le **rapport entre les espèces annuelles et pérennes** témoigne de l'intensité d'un stress. De même, les **nombres relatifs d'espèces**

végétales aquatiques, amphibiens et terrestres donnent des indications sur les conditions hydrologiques prévalantes. La **présence d'espèces remarquables d'invertébrés de grande taille** (phyllopoètes) ou de **zooplancton** est caractéristique de marais temporaires isolés sans relation avec des sites plus importants abritant des poissons (Pont *et al.* 1991). A l'opposé, la **présence de poissons** peut être un indicateur de la permanence d'eau tout au long de l'année ou d'une connexion temporaire ou permanente entre étendues d'eau, lagunes, mer et/ou cours d'eau par exemple.

4.3.3 Changements de la qualité de l'eau: eutrophisation

L'azote et le phosphore sont les principaux polluants naturels qui menacent les zones humides et ils favorisent tous deux la tendance naturelle à l'eutrophisation. Durant la première phase de ce processus, on assiste à une augmentation de la production primaire (végétale) des plantes enracinées, flottantes ou planctoniques. L'hyper-eutrophisation est caractérisée par d'intenses proliférations d'algues responsables de la destruction de la végétation enracinée, souvent suivie d'une baisse de la teneur en oxygène dans la colonne d'eau et dans les sédiments lors de la mort des importantes biomasses d'algues. Ce manque d'oxygène entraîne rapidement une élimination plus ou moins totale des formes de vie animales dans l'ensemble ou une partie au moins de la zone humide (les poissons peuvent éventuellement s'échapper mais les invertébrés benthiques peu mobiles meurent). Les conséquences de l'eutrophisation, et donc les indicateurs qu'il faudra choisir, dépendent du type de zone humide concerné, de l'origine de la pollution et des conditions locales. Des caractéristiques communes méritent cependant d'être signalées et on soulignera les différences en temps voulu.

Le meilleur moyen de mesurer l'eutrophisation consiste à établir le **bilan des éléments nutritifs** (quantités entrant dans la zone humide et en sortant) et à mesurer les quantités et les mouvements d'azote et de phosphore dans et entre les différents compartiments (eau, sédiments oxydés, sédiments sans oxygène (réduits), plantes, etc.). Les plus importantes sources d'éléments nutritifs sont les cours d'eau, les sources ponctuelles (telles que le débordement d'une station d'épuration d'eau) et les sources non ponctuelles agricoles et urbaines. Les autres sources sont généralement plus bénignes (contamination atmosphérique, eaux souterraines) mais leur importance potentielle devra être évaluée au niveau local. Les teneurs relatives en azote et phosphore et leurs formes chimiques (NH_3 , NO_3 , NO_2 , PO_4) varient en fonction de la source de pollution. Le bilan des éléments nutritifs est complexe et ne peut

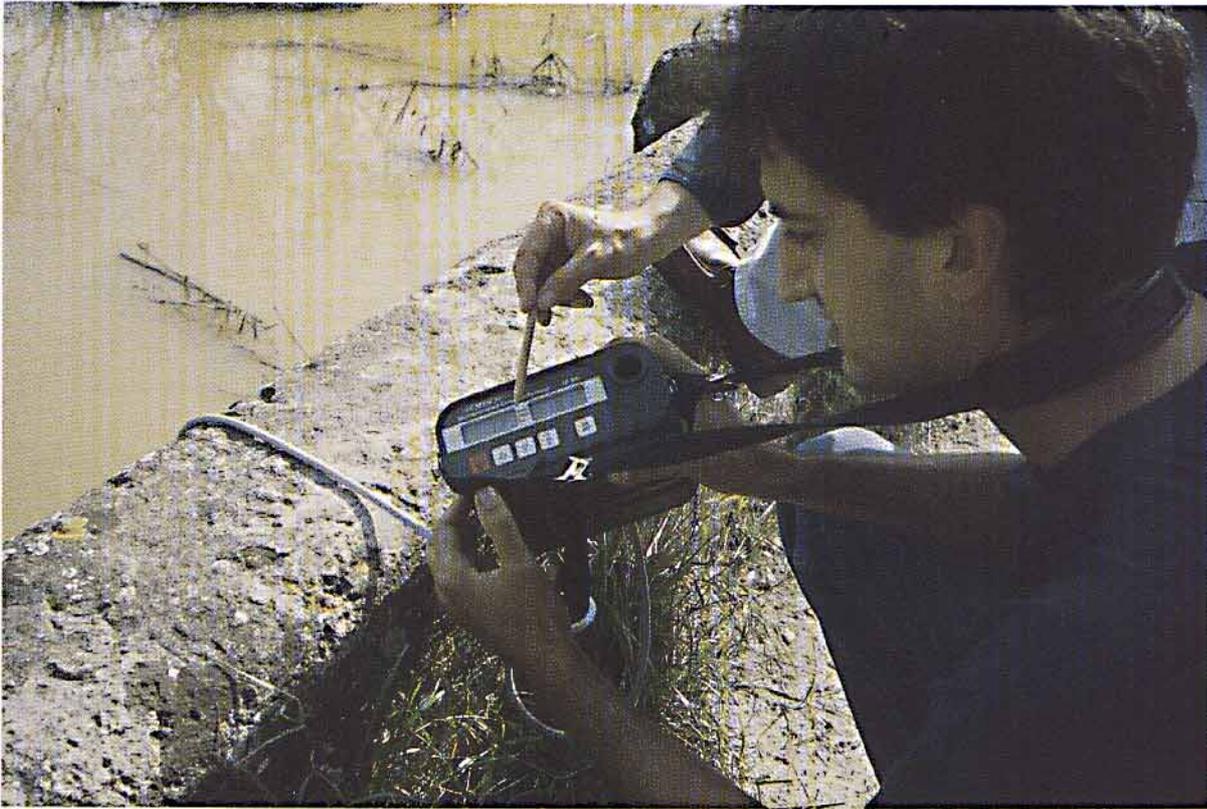


Photo 4.1 La salinité de l'eau peut être mesurée au moyen d'un conductimètre électronique. (Nick Riccidiordi)

généralement pas être établi grâce à un seul programme de suivi, mais il sera possible, dans certains cas, de suivre de manière plus intensive un nombre limité de sources responsables de la majorité des apports d'éléments nutritifs.

Eléments nutritifs dans l'eau

Dans les lacs profonds et les rivières, les **teneurs en éléments nutritifs de l'eau** constituent de bons indicateurs du niveau trophique. Dans les lacs profonds, on peut généralement trouver une corrélation entre la biomasse phytoplanctonique et la concentration en ortho-P (voir, par exemple, Vollenweider 1968, Pourriot & Meybeck 1995). A l'opposé, les teneurs en éléments nutritifs de l'eau ne sont pas de bons indicateurs du niveau trophique des lagunes côtières, des marais et des lacs peu profonds parce que, d'une part ces éléments sont pour l'essentiel généralement stockés dans les sédiments, d'autre part ces concentrations peuvent changer rapidement dans la colonne d'eau en raison de l'assimilation par les végétaux et des échanges avec les sédiments (remise en suspension de sédiments sous l'influence du vent, passage de phosphore des sédiments vers la colonne d'eau du fait d'une diminution du potentiel rédox des sédiments, etc.). En revanche, les teneurs en éléments nutritifs de l'eau pénétrant dans une zone humide sont

des variables essentielles pour établir un bilan. Les mesures doivent être effectuées sur un cycle de 12 mois, leur fréquence pouvant à terme être réduite lorsque l'on aura une bonne connaissance du modèle saisonnier. Les concentrations en nitrates atteignent généralement un maximum en hiver, probablement en raison d'une diminution des taux de photosynthèse et de dénitrification.

Indicateurs dans les sédiments

Les **teneurs en éléments nutritifs des sédiments** constituent de bons indicateurs des quantités totales stockées (et à terme disponibles pour la production végétale) dans les marais, lagunes et lacs peu profonds. Le **phosphore total** et l'**azote total**, essentiellement impliqués dans l'eutrophisation anthropogène, sont les indicateurs les plus utilisés. Les variations saisonnières sont moins nettes dans les sédiments que dans l'eau et on ne peut proposer de modèle valable pour différents sites (Laporte 1979, Sfriso *et al.* 1988 pour des lagunes) et éléments.

La profondeur des sédiments concernés est importante et doit être clairement indiquée, les profils d'éléments nutritifs dans les sédiments variant beaucoup d'un site à l'autre et même dans certains cas d'une saison à l'autre. La profondeur des sédiments analysés devra



être choisie en fonction des objectifs et des problèmes étudiés. L'enracinement des plantes submergées reste généralement superficiel et une profondeur de 10 cm est suffisante pour les analyses. Une profondeur plus importante pourra être nécessaire pour des plantes amphibies de grande taille (comme les *Phragmites*) et il pourra être utile de prélever des échantillons jusqu'à une profondeur de 0,5 m et même plus. Dans le cas de grandes profondeurs, il est préférable de prélever des échantillons à différentes profondeurs plutôt que de mélanger l'ensemble du profil. Une telle répétition des analyses peut fournir des informations supplémentaires sur les processus liés à l'accumulation des éléments nutritifs ou aux cycles biogéochimiques. En superficie, les sédiments peuvent être relativement pauvres du fait des échanges avec la colonne d'eau et de l'assimilation par les plantes ou, à l'inverse, particulièrement riches suite à une récente augmentation de la charge en éléments nutritifs. Les **profils des éléments nutritifs** des sédiments peuvent constituer un indicateur du taux d'eutrophisation dans le temps.

Le **potentiel rédox** est un indicateur de la quantité de matières organiques et des processus de dégradation dans les sédiments. Sa valeur dépend d'un certain nombre de réactions biogéochimiques complexes et témoigne de la disponibilité de l'oxygène et des modifications chimiques associées dans les sédiments. Les faibles valeurs ($< -0,2V$ à pH 7, Brooking 1988) dans des sédiments d'origine marine indiquent la présence de composés toxiques (Fe^{2+} , S^{2-}) pour les végétaux (Koch & Mendelsohn 1989; Van Wijck *et al.* 1992). Les potentiels rédox varient peu dans l'année mais dépendent de la vitesse d'écoulement de l'eau et de la granulométrie des sédiments (cette dernière étant liée au lieu de prélèvement au sein de la lagune et fonction de la circulation de l'eau, des sources d'éléments nutritifs et des sites préférentiels de sédimentation). Ils varient également avec la profondeur, le modèle changeant avec la situation trophique (CEMAGREF-IARE 1994).

Indicateurs dans la colonne d'eau

La baisse de **transparence de l'eau** est souvent un effet secondaire de l'eutrophisation résultant de l'atténuation lumineuse due à la présence d'algues et/ou de fines particules. Dans les lagunes côtières, les baies et les estuaires, la présence de lumière est le principal facteur de distribution et d'abondance des macrophytes aquatiques submergées enracinées (Zimmerman *et al.* 1994). Une méthode très simple pour évaluer l'atténuation lumineuse consiste à mesurer la profondeur d'eau à laquelle un observateur à la surface perd de vue un disque standard noir et blanc (disque de Secchi). On obtient ainsi une estimation de la profondeur à laquelle la lumière est

suffisante pour assurer la croissance des plantes submergées enracinées. Les mesures doivent être répétées fréquemment, les résultats étant sensibles à des facteurs très dynamiques comme l'abondance de phytoplancton et de solides en suspension. On peut effectuer des mesures plus sophistiquées et plus précises de la transparence de l'eau avec des capteurs lumineux permettant d'obtenir des profils d'atténuation lumineuse de l'eau et même un bilan radiatif continu (si l'on dispose d'un enregistreur de données).

La **teneur en oxygène** et le **pH** constituent de bons indicateurs de la production primaire s'ils sont enregistrés sur un cycle de 24 heures. Une forte production entraîne une augmentation de la teneur en oxygène et du pH vers le milieu de la journée; une importante biomasse végétale conduit à une forte baisse de la teneur en oxygène durant la nuit.

Microphytes

Les **algues planctoniques, épiphytes et benthiques** sont utiles comme indicateurs dans les études portant sur l'eutrophisation (voir une étude dans Hellawell 1986, Shortreed *et al.* 1984, Cattaneo 1987). Parmi les autres indicateurs importants figurent la **densité** (nombre de cellules/ml), la **structure de taille**, la **biomasse (chlorophylle)**, la **production**, la **composition spécifique** et la **diversité des espèces** (abondance relative des différents groupes), qui dépendent des teneurs en éléments nutritifs, de la circulation d'eau, de la salinité, etc. La grande variabilité, dans le temps et dans l'espace, de la biomasse et de la production fait qu'il est difficile d'établir une référence et qu'il est nécessaire de prévoir une fréquence d'échantillonnage très élevée (hebdomadaire) et un grand nombre de sites (CEMAGREF-IARE 1994).

La **densité**, la **biomasse**, la **quantité de chlorophylle**, la **composition spécifique** et la **diversité** des communautés du phytoplancton ou du périphyton constituent des bio-indicateurs du niveau trophique des lacs, lagunes et cours d'eau. Il est difficile de mettre en place un échantillonnage quantitatif standardisé d'algues benthiques et épiphytes (Cattaneo *et al.* 1995) et il faut en outre recourir à des substrats artificiels (lames de verre par exemple, voir Hellawell 1986). La rémanence du squelette siliceux (frustule) des diatomées dans les sédiments permet d'analyser la composition en espèces sur de longues périodes (Stevenson & Battarbee 1991, méthode utilisée à Ichkeul, Prespa, etc.). Dans les lagunes, il n'est pas toujours facile de déterminer les causes des changements de la composition en espèces du phytoplancton, l'apport d'éléments nutritifs et les entrées d'eau douce ayant tous deux des effets



marqués sur la composition spécifique et se produisant souvent simultanément.

L'utilisation de ces bio-indicateurs exige une grande expertise en taxonomie et demande beaucoup de temps (comptage des cellules).

Macrophytes

A l'opposé, les macrophytes (angiospermes et macroalgues) sont faciles à identifier, sont beaucoup moins sujettes à des variations à court terme et constituent de bons indicateurs de l'hydrodynamique et des conditions de substrat et de lumière (turbidité) (CEMAGREF-IARE 1994), notamment pour les cours d'eau (Haslam 1982, Klosowski 1985, Haslam 1987, Carbenier *et al.* 1990). La réaction des macrophytes aux conditions écologiques dans les rivières et fleuves méditerranéens est cependant mal connue (Ferrer & Comin 1979, Romero & Onaindía 1995) et il est indispensable de se constituer des références régionales intégrant des données sur la pente, la vitesse du courant et la géologie.

La **composition spécifique**, la **diversité** et la **production** (ou la biomasse) des différentes espèces et groupes de macrophytes sont affectées par l'eutrophisation. L'interprétation des résultats exige beaucoup de prudence car une augmentation de la biomasse de macrophytes enracinées peut être due à un effet saisonnier ou à une élévation des apports en éléments nutritifs (stade précoce) ou encore témoigner d'une récupération après un stade d'eutrophisation plus sévère.

L'eutrophisation a des conséquences directes et indirectes sur la pénétration de la lumière et sur le substrat (sédimentation de matières organiques) et, par suite, sur les macrophytes. La **profondeur maximale de colonisation** par les macrophytes submergées enracinées (différente pour chaque espèce) est liée à la pénétration de la lumière et constitue un indicateur du bilan radiatif au fond des lacs, des lagunes et de la mer pendant la saison de croissance. Cette variable est non seulement sensible à l'eutrophisation mais change également dans le temps avec la profondeur d'eau ou tout autre facteur modifiant la transparence de l'eau (solides en suspension, salinité, densité d'organismes filtrants tels que moules et huîtres, etc.).

Dans les lagunes, les macrophytes enracinées (*Angiospermae*: *Cymodocea*, *Zostera*, *Potamogeton*, etc.) disparaissent en premier pendant le processus d'eutrophisation; elles sont remplacées par des *Rhodophyceae* qui cèdent elles-mêmes la place ensuite à des *Chlorophyceae*. Les espèces les plus nitrophiles de ce dernier groupe dominant (*Enteromorpha*, *Ulva*). A

des salinités plus faibles, *Ruppia* et *Potamogeton pectinatus* sont les plus tolérantes à l'eutrophisation. La **biomasse** et la **fréquence des différents groupes** (*Angiospermae*, *Rhodophyceae*, *Chlorophyceae*) peuvent fournir d'intéressants indicateurs. Les stades avancés d'eutrophisation dans les lacs, cours d'eau, lagunes et baies marines peu profondes sont souvent caractérisés par une **couverture dense d'algues macroscopiques flottantes**.

Dans les lacs et autres zones humides d'eau douce, l'eutrophisation favorise les espèces à grand développement (accès à la lumière: plantes émergentes ou à feuilles flottantes) ainsi que les espèces submergées ayant de faibles exigences en lumière (comme *Ceratophyllum*).

Macro-invertébrés

Les macro-invertébrés forment un groupe d'espèces largement utilisées dans les programmes d'étude et de suivi des pollutions, notamment dans les cours d'eau pour lesquels un certain nombre d'indices ont été proposés (pour un examen d'ensemble, voir, par exemple, Hellawell 1986, Spellerberg 1991, Pourriot & Meybeck 1995). Les **chironomides** et les **mollusques** ont été considérablement utilisés pour la classification des niveaux trophiques des lacs. Le nombre d'espèces est très important, ce qui offre par conséquent une grande diversité d'indicateurs et de réponses mais augmente également les difficultés taxonomiques pour certains groupes (larves de chironomides par exemple). La grande variabilité dans l'espace et dans le temps oblige à multiplier les échantillons et allonge les délais d'analyse. Ces difficultés peuvent être partiellement surmontées au moyen de techniques appropriées (analyse au niveau des familles, stratégie d'échantillonnage), améliorant le rapport coût-avantages de l'analyse. Dans les lagunes, la répartition et l'abondance des espèces/groupe sont liées à la salinité, aux fluctuations de température, aux mouvements d'eau et au dépôt de matières organiques (voir par exemple Guelorget & Perthuisot 1984, Whitlatch 1981). Dans ces écosystèmes, les macro-invertébrés sont soumis à de nombreux stress, ce qui complique l'identification de symptômes consécutifs à un stress supplémentaire (effets de la pollution, par exemple). En mer en revanche, les conditions physiques sont stables et un plus grand nombre de macro-invertébrés constituent de bons bio-indicateurs du niveau de pollution, y compris des espèces d'alerte rapide (Bellan 1976, 1991; Salen-Picard 1993) si l'on dispose de données de référence (voir par exemple, Peres & Picard 1958, 1964). Diverses méthodologies ont été proposées pour identifier, de manière rigoureuse, de bons indicateurs dans différentes régions (voir par exemple, Gray & Pearson 1982).

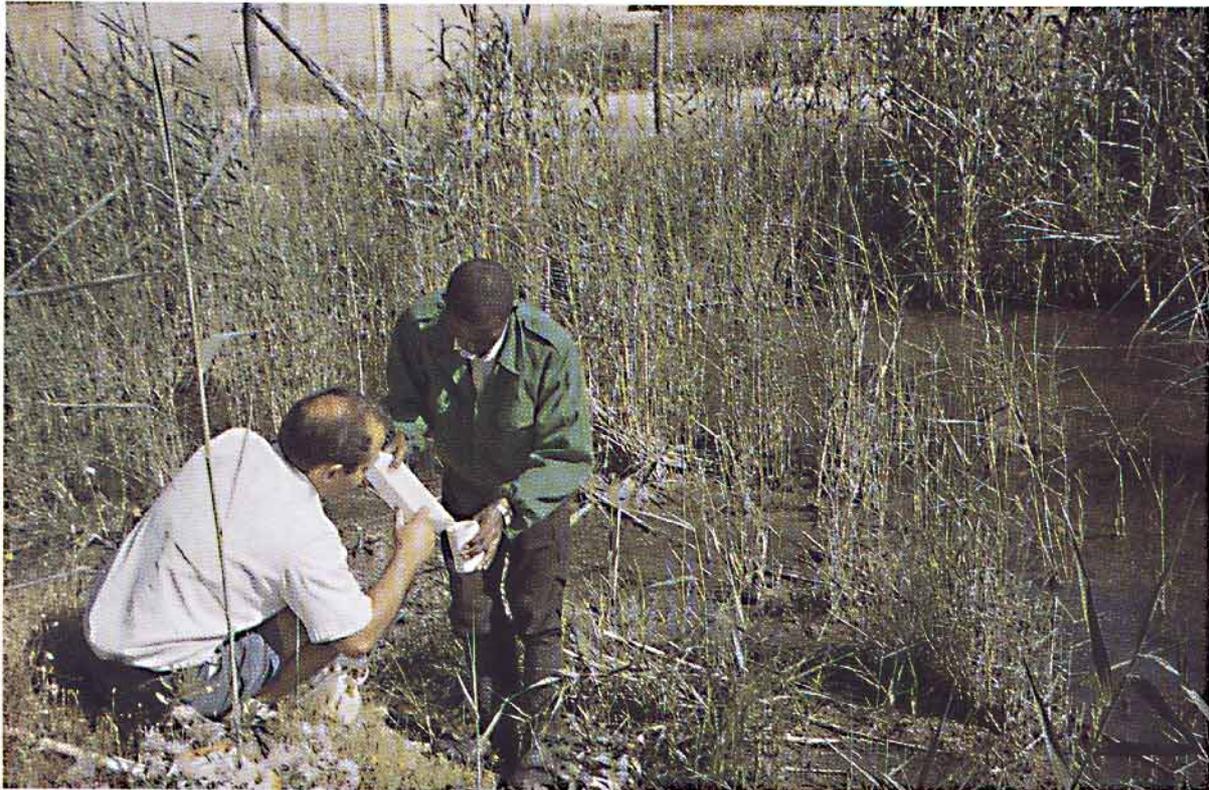


Photo 4.2 Échantillonnage d'invertébrés aquatiques servant d'indicateurs de la qualité de l'eau. (Nick Riddiford)

Vertébrés

Les **vertébrés** sont généralement de piètres indicateurs des conditions trophiques d'une zone humide. Bien qu'ils soient sensibles aux pollutions, ils ne témoignent que tardivement des pollutions organiques. En outre, du fait de leur grande mobilité, ils ont tendance à s'échapper (dans les systèmes ouverts comme les lagunes) quand les conditions se dégradent. La **composition en espèces des communautés de poissons** peut cependant être un indicateur du niveau trophique des lacs, cours d'eau et lagunes (Crivelli 1992).

4.3.4 Changements de la qualité de l'eau: pollution par des substances toxiques

Les substances toxiques aboutissant dans les zones humides sont essentiellement des produits (ou les résidus de ces produits) fabriqués pour une utilisation agricole ou pour la lutte contre les moustiques, tels que les pesticides, et des sous-produits d'un ensemble d'activités industrielles. Les substances toxiques produites par l'homme ont considérablement changé avec le temps et les milliers de produits chimiques que l'on fabrique aujourd'hui peuvent tôt ou tard aboutir dans des

zones humides (Hellowell 1986). Parmi les principales substances d'origine non biologique polluant les zones humides méditerranéennes figurent les diverses sortes de pesticides (organohalogénés, organophosphorés, etc.), les métaux lourds, les détergents et les hydrocarbures du pétrole. Les radionucléides ne semblent, actuellement, pas constituer une sérieuse menace pour les zones humides de la région méditerranéenne.

Parallèlement à leur impact sur la santé, qui dépasse le cadre de ce guide, les polluants d'origine non biologique peuvent avoir de graves conséquences aux différents niveaux d'organisation des zones humides, depuis le niveau intracellulaire jusqu'à celui de l'ensemble de l'écosystème (Gilberson *et al.* 1977, Morgan 1979, Root 1990, McCarthy & Shugart 1990, Fox *et al.* 1991, Zakharov & Clarke 1993, Kushlan 1993a, 1993b). Outre les polluants très toxiques, il faut être attentif aux substances qui tendent à s'accumuler dans les organismes ou à persister dans l'écosystème. Les réactions des organismes aux composés toxiques sont complexes et dépendent de facteurs tels que la nature et la concentration de la substance, la durée d'exposition, la sensibilité de l'organisme et la présence d'autres substances toxiques. Pour remédier à ce problème, un certain nombre



d'épreuves normalisées de toxicité ont été mise au point pour les substances les plus fréquentes. Toutefois, il n'est pas facile d'extrapoler les résultats obtenus en laboratoire aux conditions de terrain. Chacune de ces épreuves ayant été mise au point isolément, les effets conjoints de plusieurs de ces substances toxiques sont rarement connus (CECPI 1981).

Plus récemment, des tests ont été élaborés pour s'appliquer à des effluents plutôt qu'à des produits chimiques isolés. Ils peuvent être utilisés pour examiner les effets de polluants en mélanges connus sur un ensemble d'organismes qui devront être choisis à des niveaux trophiques différents. Ils n'apportent pas d'informations sur les effets à long terme et ne s'appliquent qu'à cette situation.

Le suivi de la pollution par des substances toxiques peut faire appel soit à la mesure directe de la concentration de la substance concernée dans l'écosystème (dans les sédiments, l'eau, etc.) soit à des bio-indicateurs. Les deux approches ont leurs avantages et inconvénients.

Mesure directe de la concentration des substances toxiques

La méthode la plus directe pour suivre la pollution par des produits d'origine non biologique consisterait à mesurer les entrées et sorties des diverses substances toxiques et leur devenir. C'est impossible pour de nombreuses raisons, dont la diversité des polluants et de leurs formes, la multiplicité des sources de pollution liée à de grandes différences de mouvements d'eau et enfin, ce n'est pas le moins important, pour des raisons financières. Le suivi chimique d'une zone humide doit être limité à un petit nombre de substances toxiques, une méthode qui peut être très efficace si ces substances sont peu nombreuses et clairement identifiées. Dans les autres cas, on n'effectuera des dosages chimiques que lorsque le suivi biologique aura mis en évidence des symptômes toxiques.

Le dosage direct des substances toxiques dans les zones humides est complexe et pose divers problèmes:

- où effectuer les mesures dans l'écosystème? Les substances toxiques peuvent se trouver dans l'eau ou fixées dans les sédiments, ou dans les tissus végétaux ou animaux. Elles peuvent être recyclées dans l'écosystème ou transférées vers les écosystèmes adjacents (les zones humides sont parfois des puits pour des substances toxiques);

- les concentrations sont parfois très faibles (en dessous de 10^{-6} g/l) et supposent donc des procédures d'échantillonnage et d'analyse très sophistiquées;
- la fréquence d'échantillonnage doit être déterminée en fonction des mouvements des substances toxiques. La pollution peut être irrégulière dans le temps (ponctuelle) d'où un risque de sous-estimation si les prélèvements ne sont pas assez fréquents. Le problème est plus aigu pour les produits très toxiques qui se dégradent rapidement (comme de nombreux pesticides);
- les sources de polluants ne sont pas toujours nettes et le niveau de pollution pourra être sous-estimé si l'on ne contrôle pas la source principale. Des quantités significatives de substances toxiques peuvent être déplacées sur de longues distances par le vent (cadmium par exemple) vers des zones humides où l'on ne s'intéresse souvent qu'à la pollution aquatique.

Ces difficultés font que, hormis dans le cas de la pollution par le plomb consécutive à la chasse (voir l'encadré 4.4), il est impossible à un responsable de zone humide d'entreprendre un programme de suivi portant sur des polluants non biologiques sans disposer d'un soutien technique et financier considérable. La sélection des variables et techniques à utiliser restera fonction de la substance toxique que l'on a le plus de chances de trouver dans la zone humide.

Encadré 4.4 Suivi du saturnisme (empoisonnement au plomb)

Ce type de pollution empoisonne les canards qui ingèrent la grenaille de plomb des chasseurs au lieu du grit destiné à broyer leur alimentation. La densité de grenaille de plomb peut être très élevée dans certaines zones humides méditerranéennes où la pression de chasse est forte (comme en Camargue ou dans le delta de l'Ebre, etc.). Elle entraîne la présence très fréquente de plomb dans le gésier des oiseaux d'eau (avec des différences entre espèces liées au type principal d'alimentation et à la taille du grit) et une augmentation du risque d'empoisonnement.

La particularité de cette pollution tient à ce qu'il est facile de compter les grains de plomb dans les sédiments et le gésier des oiseaux (voir par exemple Pain 1992), alors que, dans la plupart des cas, il est difficile de mesurer les pollutions par les métaux.

Le suivi de cette pollution peut faire appel à des mesures directes dans des échantillons de sédiments prélevés à une profondeur de 0-4 cm, couche exploitée par les oiseaux. Parallèlement, il est possible de compter les grains de plomb dans le gésier des oiseaux abattus par les chasseurs.



Suivi biologique

Les mêmes difficultés qui se posaient pour les dosages chimiques directs font qu'il est impossible de mettre en place un programme de suivi visant à évaluer de manière précise la pollution par des substances toxiques si l'on ne dispose pas d'un important soutien technique et, dans une moindre mesure, financier. Un certain nombre de facteurs affectent la fiabilité des bio-indicateurs, notamment la variabilité des taux d'assimilation et d'élimination des contaminants, l'âge, la taille, le sexe et l'état physiologique de l'indicateur, les interférences entre substances et l'impact d'autres variables environnementales (telles que la température, la salinité, la teneur en matières organiques de l'eau, etc.). Il n'est pas possible de fournir ici des principes précis pour établir un programme de suivi compte tenu de la diversité des situations et chaque cas devra être envisagé dans son contexte. On peut néanmoins faire quelques commentaires généraux sur la valeur des bio-indicateurs pour les principales substances toxiques.

Les macrophytes (*bryophytes* et *macrophytes enracinées*) peuvent être utiles en cas de pollution par des métaux (McLean & Jones 1975, Empain 1976, Say *et al.* 1981) et par certains ions métalliques (cadmium, chrome, zinc, plomb). Les algues ne constituent pas de bons indicateurs de pollution par les pesticides ou les métaux lourds (à l'exception du cuivre). Les *plantes terrestres et émergentes* peuvent être utiles en cas de pollution par les polychlorobiphényles (PCB) et par les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) (Jones *et al.* 1992).

Les *macro-invertébrés* ont beaucoup été utilisés pour évaluer la pollution de l'eau par divers produits, métaux, herbicides, insecticides organochlorés et organophosphorés, et PCB notamment (voir par exemple Hellawell 1986). Il ne s'agit que de quelques groupes d'invertébrés mais il convient de mentionner une importante utilisation des *huîtres* et des *moules* en zone côtière (Goldberg 1975); en France, 110 sites côtiers font l'objet d'un tel suivi (Claisse 1989).

Les *poissons* ont également beaucoup été utilisés pour rechercher toute une gamme de substances toxiques (métaux, pesticides, PCB, etc.) (Hellawell 1986). Ils peuvent aussi servir de bio-indicateurs accumulateurs (Philips 1977, 1978) mais il s'agit plus du domaine de la recherche que de mesures de routine. Leur intérêt pour le suivi de terrain est limité par leur mobilité puisqu'ils peuvent quitter la zone soumise au stress et entamer des migrations).

Enfin, les *oiseaux et leurs oeufs* ont largement été utilisés pour mesurer les résidus des insecticides

organochlorés (Ormerod & Tyler 1993). Les oiseaux peuvent être de bons indicateurs de pollution par les métaux lourds (organisme tout entier ou plumes), les organochlorés, les hydrocarbures aromatiques, les organophosphorés et les carbamates, grâce à des données physiologiques (voir Peakall & Boyd 1987, Kushlan 1993a, 1993b). Un certain nombre de facteurs limitent toutefois la fiabilité de ces indicateurs, notamment les taux d'excrétion de la substance toxique, et leur grande mobilité constitue un sérieux inconvénient.

4.3.5 Changements dus à l'exploitation des produits de la zone humide

Les zones humides méditerranéennes font l'objet d'une exploitation directe et/ou d'une intense pression touristique. Cette utilisation ne peut être considérée comme durable lorsqu'elle affecte directement ou indirectement la survie à long terme de la (des) population(s) exploitée(s) et que le processus lui-même est donc en péril. La surexploitation d'une ressource, comme le prélèvement de tous les stocks reproducteurs d'une espèce de poisson ou le surpâturage, constitue une menace directe, alors qu'une modification de l'environnement due à l'activité concernée serait une menace indirecte, ainsi l'eutrophisation consécutive à une intensification de l'aquaculture peut entraîner par manque d'oxygène une importante mortalité chez les poissons et les invertébrés.

La pêche (y compris l'aquaculture), l'élevage du bétail, la chasse et le tourisme sont les principales formes d'exploitation de la production biologique des zones humides méditerranéennes. Il peut s'agir d'activités extensives (prélèvement de la production sans modifier l'environnement pour accroître la productivité) ou intensives, les deux types étant à l'origine de problèmes différents pour la gestion de l'écosystème.

4.3.5.1 Pêche et aquaculture

La pêche est pratiquée essentiellement dans les lacs, lagunes et estuaires, tant par des amateurs que des professionnels. Les espèces visées sont des poissons migrateurs ou sédentaires, ou des mollusques et crustacés. La pêche exploite les populations naturelles dans leur environnement, contrairement à l'aquaculture que l'on peut définir comme la production intensive de poissons, de mollusques ou de crustacés dans des cages, sur des supports ou sur les pourtours des zones humides. Les exploitations aquicoles sont souvent situées dans des lagunes côtières ou en mer à proximité de la





côte. Une production intensive exige des apports d'aliments qui contribuent à l'accumulation de déchets organiques et augmentent le risque d'eutrophisation.

Le suivi des activités de pêche et d'aquaculture sur un site peut être réalisé à trois niveaux: au niveau de l'activité socio-économique elle-même et des matériels utilisés; à celui de la population visée (poisson, mollusque, crustacé); ou à celui de l'impact sur l'environnement.

Suivi de l'activité

La pêche peut être suivie en mesurant l'effort de pêche, les activités des pêcheurs et matériels utilisés, et en analysant les statistiques de pêche.

Le **nombre de pêcheurs** (professionnels ou amateurs) peut être obtenu auprès des autorités compétentes, mais il ne donne que peu d'informations sur l'importance des prises. Une baisse ou une augmentation de l'activité peut résulter de changements dans les populations visées (pas uniquement, bien sûr). Le nombre de pêcheurs devrait être réparti en plusieurs grandes catégories (à partir de bateaux ou du rivage, utilisant du matériel fixe, au niveau des passes graus vers la mer, au niveau de sites d'aquaculture ou de conchyliculture, etc.).

D'autres indicateurs sont importants pour mesurer l'intensité de la pêche:

- le **nombre d'engins ou d'installations de pêche**, nombre total et nombre par pêcheur. Dans le cas de pièges qui bloquent complètement l'entrée et sortie d'une lagune, le nombre d'installations n'a évidemment plus d'importance, puisqu'il n'y en a qu'une;
- le **nombre d'installations fixes de pêche** et le nombre d'engins sur chaque site;
- la **longueur totale des filets** avec leur type (filets maillants, etc.) et la taille des mailles;
- le **calendrier de pêche** (nombre de jours, fermeture, etc.).

Parmi les indicateurs pour l'aquaculture figurent (outre les **effectifs en personnel**):

- le **nombre de cages** ou de supports et leurs caractéristiques (taille, etc.);
- la **superficie des installations de conchyliculture**;
- les **calendriers d'exploitation**.

Suivi des populations visées (poissons, crustacés, mollusques)

Le suivi des populations visées fait appel à des méthodes très différentes selon que l'activité étudiée est extensive (pêche) ou intensive (aquaculture).

Dans le cas d'une exploitation extensive, le suivi peut être effectué en analysant les statistiques de pêche ou en entreprenant des campagnes de pêche *ad hoc*. Il faudra veiller, lors de l'interprétation des résultats, à tenir compte des cycles biologiques et des mouvements des espèces considérées, en particulier dans les systèmes ouverts (c.à.d. dans les lagunes par opposition aux lacs, qui sont plus ou moins des systèmes clos). La plupart des espèces commerciales des lagunes sont migratrices, et les effectifs dans un site donné dépendent non seulement des activités de gestion au niveau local mais aussi de l'état des stocks régionaux. Ainsi, une diminution des prises d'anguilles dans une lagune ne doit pas toujours être interprétée comme le résultat d'une mauvaise gestion locale, car il faut également tenir compte d'un déclin général de l'espèce en Europe et dans la région méditerranéenne. Il est nécessaire d'envisager un suivi à long terme, en se basant sur des références intégrant les fluctuations cycliques.

Les **statistiques de pêche** constituent une source d'informations quantitatives faciles à obtenir sur les ventes de poissons. Elles n'existent cependant pas toujours et, en tant qu'indicateur, sont souvent biaisées: les prises enregistrées sont généralement des sous-estimations des prises totales du fait de la diversité de points de ventes, et de la non-inclusion des prises invendues (espèces sans valeur commerciale, poissons abîmés et poissons invendus en raison d'un marché défavorable). Le degré de sous-estimation est très difficile à évaluer et peut varier avec le temps. Au niveau local, une pêche illégale (avec du matériel interdit, pendant la fermeture, portant sur les alevins, les civelles, etc.) contribue parfois considérablement à cette sous-estimation.

Prises par espèces: ces informations ne portent généralement que sur les espèces commerciales si le suivi est basé sur les statistiques des coopératives. Les données peuvent être cumulées pour calculer la **production**, et/ou divisées par le nombre de pêcheurs ou d'engins de pêche pour donner les **CPUE** (captures par unité d'effort), ou encore divisées par la superficie de la zone humide pour obtenir le **rendement** (kg/ha). Ces informations peuvent alors être utilisées pour analyser les tendances des populations dans un site donné ou pour comparer la production avec celle d'autres zones humides.

Structure de la population: la mesure de la taille des poissons ou des mollusques et crustacés dans les prises



permet d'évaluer dans le temps l'impact de la pêche sur la (les) population(s) visée(s). L'ampleur des **déséquilibres dans les classes de taille** (liés aux pratiques de pêche et aux réglementations en vigueur) donne une indication de l'état des populations et du succès de reproduction (abondance de poisson en âge de reproduction et recrutement).

La **mesure directe de la structure de la population ou communauté** fournit des informations ne présentant pas les mêmes distorsions que les statistiques de pêche. Le suivi peut être limité aux espèces menacées d'extinction ou présentant un intérêt particulier, ou couvrir l'intégralité de la communauté afin d'obtenir des informations détaillées et complètes pour une lagune ou un lac. De telles données, recueillies au cours de campagnes de pêche conçues dans cet objectif, peuvent aussi servir à déterminer ce qu'il advient d'espèces introduites (souvent délibérément pour des raisons économiques).

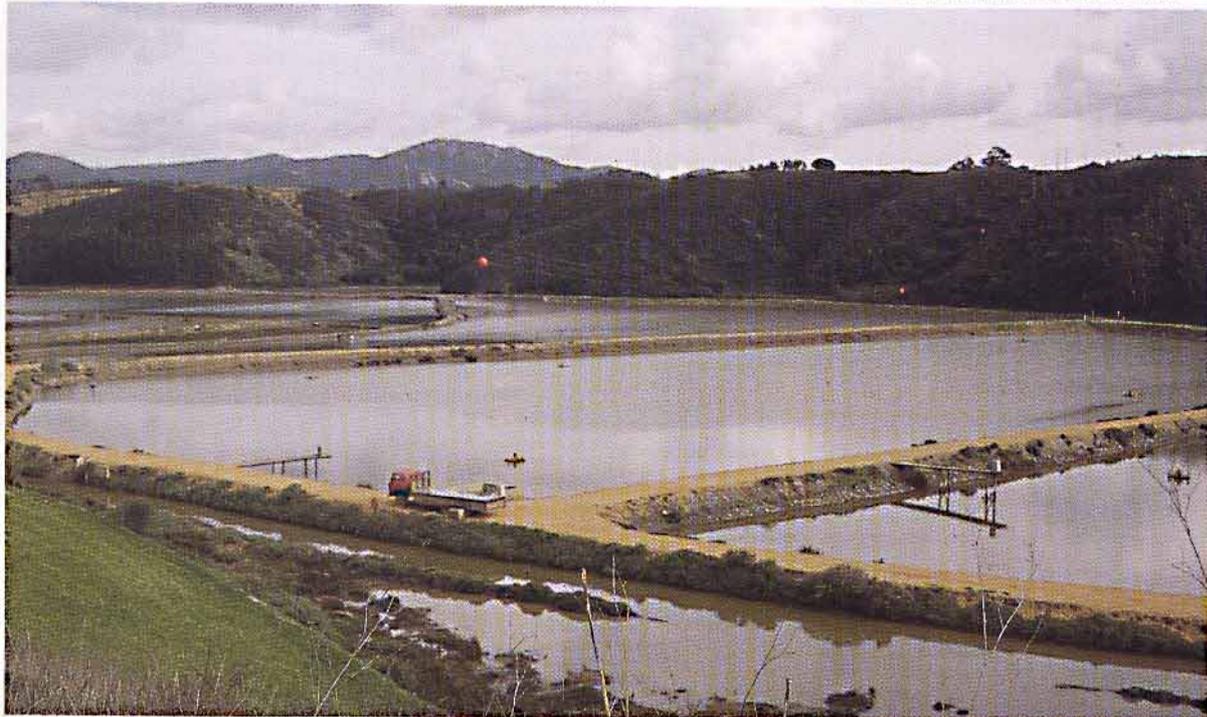
Il faut utiliser toute une gamme d'engins de pêche de différentes sortes pour capturer les diverses espèces et classes de taille (voir Arrignon 1970, Lam Hoai & Lasserre 1984). L'efficacité de ces engins varie énormément d'une espèce et classe de taille à l'autre, en fonction des caractéristiques du poisson et de l'engin. Ces campagnes de pêche fournissent de bonnes informations sur les espèces introduites et/ou non commerciales. Elles permettent parfois de révéler des déséquilibres dans la communauté

(rapports entre herbivores et prédateurs ou entre espèces benthiques et pélagiques, par exemple), pouvant eux-mêmes affecter les communautés de plantes et d'invertébrés benthiques ou planctoniques, et de détecter des changements liés aux échanges avec la mer (dans les rapports entre espèces sédentaires et migratrices par exemple). Le principal inconvénient de cette méthode tient aux coûts et au temps nécessaires pour effectuer à intervalles réguliers ces campagnes de pêche. Il faut être extrêmement vigilant lors de la préparation du plan d'échantillonnage pour garantir la meilleure standardisation des mesures et diminuer la variance, généralement très élevée.

Impact sur l'environnement

La pêche a des conséquences qui dépassent les prises sur le site. Elle a un effet nuisible sur les populations d'oiseaux d'eau par les perturbations et la mortalité accidentelle qu'elle entraîne. Les oiseaux piscivores se prennent dans les engins de pêche et sont dérangés par le passage des bateaux; il sont parfois abattus ou leurs nids détruits par les pêcheurs. Il est difficile de mesurer ces impacts, qui dépendent beaucoup des conditions et pratiques locales. Les **recensements d'oiseaux**, les **comptages d'oiseaux pris dans les filets**, l'**observation du comportement des oiseaux** à l'approche d'un bateau et le **succès de reproduction** peuvent servir d'indicateurs de l'impact de la pêche sur les populations d'oiseaux.

Photo 4.3 Les zones humides sont souvent converties à l'aquaculture: fermes aquacoles dans la vallée de la Mira, au sud du Portugal. (João Carlos Farinha)





La pisciculture et la conchyliculture intensives dans une zone humide peuvent affecter les communautés autochtones et l'intégralité de l'écosystème, notamment en raison de l'introduction de parasites ou de maladies et/ou de la capture d'alevins ou de frai dans l'environnement naturel pour engraissement dans les installations aquicoles.

L'aquaculture peut aussi avoir des impacts considérables sur l'écosystème dans son ensemble. L'élevage intensif en cages entraîne une importante pollution organique du fait de l'apport de denrées alimentaires, dont une partie n'est pas consommée, et surtout des excréments des animaux. Cette pollution expose le site au risque d'eutrophisation, dont les épisodes d'anoxie peuvent menacer l'ensemble des communautés végétales et animales, y compris l'exploitation aquicole elle-même. Les indicateurs qu'il convient de choisir sont ceux de l'eutrophisation, en particulier les **indicateurs physicochimiques pour l'eau et les sédiments** ainsi que les **indicateurs biologiques** (développement de macroalgues par exemple). Voir ci-dessus la section sur l'eutrophisation.

4.3.5.2 Pâturage

Les zones humides sont souvent intensément pâturées par les bovins, les chevaux et les moutons. L'impact que peuvent avoir ces animaux varie en fonction de la

pression exercée, de l'espèce et de la race concernée et des communautés végétales présentes et de leur position dans la succession (Gordon *et al.* 1990). Les herbivores sauvages (lapins *Oryctolagus cuniculus*, ragondins *Myocastor coypus*, sangliers *Sus scrofa*, etc.) ont parfois aussi un impact considérable sur les zones humides.

Le pacage du bétail a des répercussions majeures sur la structure de l'habitat, avec un impact direct sur la végétation et un impact sur la production végétale (voir par exemple Crawley 1983, Bakker 1985). Il faut envisager le pâturage du bétail sous deux angles: il s'agit tout d'abord d'un outil de gestion qui peut favoriser des structures végétales correspondant aux objectifs de gestion; mais c'est aussi une activité ayant des répercussions plus ou moins graves sur tous les éléments de l'écosystème, et qui n'est donc pas nécessairement compatible avec les objectifs de gestion. Ces deux aspects sont évidemment étroitement liés mais le problème est compliqué par le fait que le pâturage est ici géré par deux acteurs distincts n'ayant ni les mêmes objectifs ni, généralement, les mêmes considérations temporelles: l'éleveur cherche une rentabilité à plus ou moins court terme et l'entretien de la valeur pastorale, tandis que le responsable de la zone humide vise la conservation à long terme du patrimoine naturel. En outre, le gestionnaire de la zone humide ne s'intéresse aux animaux que lorsqu'ils sont présent sur le site, durée parfois limitée, alors que l'éleveur doit tenir compte de

Photo 4.4 L'installation d'exclos permet de suivre l'impact du pâturage sur la structure de la végétation. (Pere Tomàs Vives)





l'ensemble du cycle annuel, avec ses périodes critiques de mise bas, vêlage, poulinage et agnelage, et d'hivernage.

Le durabilité du pâturage n'a donc pas le même sens pour le gestionnaire de la zone humide et l'éleveur. Le premier la conçoit sous l'angle de ses objectifs (peuplements végétaux, structure de l'habitat, revenus locatifs), tandis que le second l'envisage dans le sens de la viabilité économique, qui dépend de la durée et des conditions des droits de pâturage.

Deux groupes d'indicateurs peuvent être utilisés pour suivre le pâturage: les indicateurs de la pression de pâturage (densité des animaux) et les indicateurs de l'impact du pâturage.

Suivi de la pression de pâturage

Les premiers indicateurs de la pression de pâturage sont les **effectifs des animaux présents** sur le site, en distinguant les diverses espèces domestiques et les catégories d'animaux (animaux d'un an, subadultes, femelles hors lactation, femelles en lactation et mâles) et en subdivisant, le cas échéant, le site. La pression de pâturage peut être exprimée en animaux-jours et il faut définir le **calendrier de pâturage** (pression calculée par mois ou par saison).

D'autres indicateurs sont utiles pour évaluer la densité des animaux par rapport à la capacité de charge du site. Il s'agit notamment des **suppléments de fourrage, de quelque nature que ce soit**, apportés par l'éleveur (les éleveurs). Une telle supplémentation indique clairement que le nombre d'animaux est trop élevé par rapport à la quantité de fourrage disponible, une situation qui s'accompagne souvent d'un intense piétinement, les sols des zones humides devenant bourbeux.

La **répartition spatiale** des animaux constitue aussi un facteur important puisque, dans des sites naturels, ils sélectionnent leurs zones d'alimentation parmi un ensemble d'unités végétales (Duncan 1992). La pression de pâturage qui en résulte peut être très élevée dans les unités préférées (par exemple, prairies sèches par opposition à marais inondés) et/ou dans celles qui sont plus sensibles au piétinement ou au pâturage (dunes, sols riches en matières organiques, etc.).

Le nombre d'animaux sauvages peut aussi être mesuré ou estimé au moyen d'un indice semi-quantitatif (comme le **nombre d'animaux vus le long d'un transect linéaire**). La précision est évidemment très inférieure à celle obtenue pour le bétail. Les protocoles de **recensement le long de transects fixes** peuvent fournir des indices d'abondance (par exemple, échantillonnage des distances). Les **comptages de**

densité de fèces (ou **accumulations de fèces**) dans des quadrants ou le long de transects peuvent fournir un indice de densité animale.

Suivi de l'impact du pâturage

Selon les objectifs du pâturage, deux critères peuvent être utilisés pour sélectionner les indicateurs d'impact:

1. La gestion du pâturage elle-même, qui peut affecter la survie à long terme de la ressource en changeant sa structure et sa production, ainsi que la valeur pastorale de la végétation;
2. L'efficacité du pâturage en tant qu'outil utilisé pour atteindre des objectifs de gestion précis.

Les indicateurs de l'impact du pâturage sur la végétation seront choisis parmi ceux que l'on utilise pour suivre l'activité. La **production** peut être évaluée grâce à des mesures de la structure de la végétation (**composition en espèces, hauteur, couverture totale**). Lorsque la pression de pâturage dépasse la capacité de charge des terrains, la qualité et la production des pâturages diminue du fait:

- d'une augmentation des superficies de sols dénudés, symptôme d'un déclin de la végétation sur pied initiale qui assure la production;
- du remplacement d'espèces de bonne valeur fourragère par des espèces moins appétentes ou refusées.

La valeur d'une pâture peut être évaluée au moyen de ces indicateurs (Crawley 1983), parmi lesquels figurent le **pourcentage de sol dénudé**, l'**abondance d'espèces refusées**, l'importance de l'empiétement **des broussailles** et l'**abondance des meilleures espèces fourragères**, auxquels on peut ajouter notamment le **rapport d'abondance des espèces annuelles/pérennes** et le **rapport d'abondance des légumineuses/autres dicotylédones**. Il convient de noter que l'utilisation de tous ces indicateurs exige d'avoir à disposition une parcelle témoin, puisqu'ils sont également affectés par d'autres facteurs. Le piétinement par les herbivores domestiques peut avoir des conséquences drastiques sur la végétation et les sols; il peut être mesuré par le **compactage des sols** ou au moyen d'autres indicateurs également liés au pâturage: la **composition spécifique** de la végétation, l'**abondance relative des formes de croissance résistantes** (telles que les rosettes) et le **pourcentage de sol dénudé**.

Le succès de l'utilisation du pâturage comme outil de gestion est évalué d'après des critères qui sont



spécifiques aux objectifs de gestion. Il faut donc faire une évaluation de ces objectifs, auxquels les indicateurs devront être liés. La sélection des indicateurs est facilitée par une analyse de l'impact du pâturage sur la structure de la végétation ou de l'habitat pour l'espèce cible. Il est conseillé de choisir un indicateur proche du fait même de pâturer, même si l'objectif de gestion est un animal. Le pâturage peut changer ou maintenir une structure favorable à une espèce animale (oiseaux par exemple) sans que l'évolution des effectifs de cette espèce soit un bon indicateur du succès de la gestion, puisqu'ils peuvent varier beaucoup en raison de facteurs externes sans rapport avec la structure de la végétation ou de l'habitat.

Au plan écologique, les objectifs des gestionnaires de zones humides consistent souvent à maintenir des écosystèmes à un stade précoce de succession végétale et à réduire la couverture et l'abondance des espèces dominantes à croissance vigoureuse (arbres, roseaux, etc.). La réalisation de ces objectifs suppose une forte pression de pâturage. Les indicateurs doivent être choisis en fonction d'objectifs de gestion précis et il s'agira souvent de la **couverture de chaque strate de végétation** (herbes, arbustes, arbres), de la **diversité ou richesse spécifique**, ou de l'**abondance d'une espèce cible particulière** (couverture ou nombre d'individus, en fonction des cas). Ces indicateurs sont aussi affectés par d'autres facteurs environnementaux, climatiques notamment, et par le régime d'inondation, et le protocole de suivi doit prévoir une zone témoin pour en tenir compte.

4.3.5.3 Chasse

La chasse aux oiseaux d'eau constitue une importante activité dans les zones humides méditerranéennes, une forme d'exploitation d'une partie des populations naturelles. Elle a des impacts directs et indirects sur le gibier comme sur les populations non visées du fait des abattages, des perturbations, du saturnisme (empoisonnement par le plomb) et des aménagements cynégétiques. La durabilité de la chasse peut être évaluée au niveau des populations totales comme à celui du site. L'activité de chasse peut être suivie au moyen des **nombres de permis**, des **nombres de chasseurs par jour**, de la **durée de la saison de chasse**, du **nombre de jours** d'ouverture de la chasse et du **nombre de coups de feu tirés par unité de temps** (Landry 1990).

Impact direct sur les populations d'oiseaux d'eau

Les espèces d'oiseaux d'eau visées par les chasseurs ont souvent d'importants effectifs répartis sur de nombreux sites; la majorité d'entre elles sont aussi de grandes

migratrices. Chaque site n'abrite qu'une petite partie des effectifs totaux et il est peu probable que la population entière soit affectée par l'impact sur un site donné. Les réglementations nationales et internationales, si elles sont appliquées, garantissent la durabilité de la chasse. En outre, un important réseau d'observateurs effectue un suivi des populations d'oiseaux d'eau hivernant dans le bassin méditerranéen (**Dénombrements internationaux des oiseaux d'eau** coordonnés par Wetlands International, anciennement BIROE) et peut déceler des changements majeurs dans les effectifs (voir Rose 1995, Rose & Scott 1994).

L'impact direct de la chasse est important au niveau du site lui-même. Une forte pression conduit à une diminution du nombre d'oiseaux. Le suivi du **nombre d'individus** de chaque espèce est le meilleur indicateur d'un excès de chasse. La chasse n'est cependant pas le seul facteur affectant les populations d'espèce de gibier, et les données recueillies au niveau local doivent être comparées avec les tendances plus générales ou avec celles qui peuvent être relevées sur un site témoin où la chasse est interdite. Les **statistiques d'abattage** permettent de mesurer la pression de l'activité de chasse sur les effectifs. Toutefois, l'**évolution dans le temps des abattages totaux ou du nombre d'animaux abattus par chasseur/jour** peut constituer un indicateur de la durabilité de la chasse.

Impact indirect

L'impact indirect de la chasse se manifeste essentiellement au niveau local par la perturbation du gibier comme des espèces non visées, par les problèmes de saturnisme (voir l'encadré 4.4) et par les activités de gestion qui modifient les habitats. Hors saison de reproduction, les oiseaux d'eau doivent au moins pouvoir trouver de quoi s'alimenter et des lieux de repos. L'activité de chasse devient localement non durable lorsqu'elle gêne sérieusement la satisfaction de l'une ou l'autre de ces exigences. Les perturbations qu'entraîne la chasse peuvent être évaluées par le **recensement des espèces d'intérêt cynégétique et autres**, à condition que l'on dispose d'un témoin valable (un ou plusieurs sites où la chasse est interdite, niveau des effectifs régionaux, etc.). Les effets des perturbations engendrées par les coups de feu ont été examinées par Bell & Owen (1990).

La gestion visant à augmenter les prélèvements est un des principaux facteurs de modification des zones humides, notamment dans le sud de la France. Le régime d'inondation des zones humides est loin d'être naturel, fortement influencé par les dates d'ouverture et de fermeture de la saison de chasse (Tamisier & Grillas 1994), et affecte les populations végétales et animales. La chasse aux oiseaux d'eau favorise



également les importantes étendues d'eau ouvertes au détriment des habitats plus fermés tels que les roselières. Dans ce cas, le programme de suivi le plus pertinent ne porte pas sur la chasse elle-même, mais sur le **régime d'inondation** de la zone humide et sur la **structure de l'habitat et de la végétation** (voir ci-dessus).

4.3.5.4 Tourisme et activités récréatives

Le tourisme et les activités récréatives entraînent divers types de perturbations pouvant menacer la diversité biologique des zones humides méditerranéennes, notamment la destruction de ces écosystèmes (pour construire des complexes touristiques), la pollution, les dérangements dus aux visiteurs et le piétinement. Le suivi des deux premiers aspects est traité ailleurs dans ce chapitre (voir les sections sur les changements de superficie d'une zone humide et sur l'eutrophisation).

La pression touristique est une source de perturbations pour la faune, dont les conséquences varient beaucoup en fonction de l'espèce considérée et des installations prévues pour les visiteurs. Les indicateurs les plus importants dans ce domaine sont évidemment le **nombre de visiteurs** (par jour, mois, année, etc.) et l'activité humaine (c.à.d. le **type de perturbation**: pêche, navigation, planches à voiles, etc., Tuite *et al.* 1984, Ahlund & Gotmark 1989, Kahlert 1994). On

peut néanmoins minimiser les perturbations causées par les visiteurs en prenant des dispositions adéquates (Goldsmith 1983) et le seul nombre de visiteurs n'est par conséquent pas un bon indicateur du degré de perturbation si l'on considère plusieurs sites. Il convient donc d'y ajouter un indicateur du degré et de l'intensité de la perturbation (**nombres par type d'activité**). Plusieurs indicateurs peuvent être utilisés pour évaluer les perturbations dues au tourisme, notamment les **effectifs** de chaque espèce (oiseaux essentiellement), en effectuant des comparaisons entre des sites, entre jours avec et sans touristes, ou entre différents moments de la journée. L'analyse du **comportement des animaux** (éloignement du site, temps consacré à la vigilance, abandon des nids, etc.) peut également fournir une mesure de l'intensité des perturbations (Kahlert 1994) et de la tolérance des espèces aux perturbations (Keller 1991, Kahlert 1994). Le **taux de prédation** dans les nids peut augmenter du fait des perturbations (Ahlund & Gotmark 1989).

Le compactage des sols par piétinement (hommes ou chevaux) ou passage de véhicules peut être une autre conséquence d'une pression touristique excessive. Les zones humides côtières, avec des substrats instables (dunes) sont particulièrement sensibles au piétinement. Les conséquences classiques en termes de structure de la végétation sont un accroissement de la **couverture de sol dénudé** et/ou un changement de la **composition spécifique**, les espèces sensibles au piétinement étant remplacées par des plantes plus

Photo 4.5 Le tourisme est à l'origine de perturbations dans les zones sensibles. Lagoa de Albufeira, Portugal. (Pere Tomàs Vives)





tolérantes (plantes annuelles, rampantes ou en rosette de petite taille).

La pulvérisation de produits chimiques de lutte contre les moustiques fait également partie des effets indirects importants du tourisme et des activités récréatives.

4.3.6 Changements dus à l'introduction d'espèces exogènes

Le fonctionnement des zones humides méditerranéennes est de plus en plus affecté par des espèces exogènes végétales (végétaux supérieurs et algues) et animales (invertébrés, poissons, mammifères, oiseaux, etc. - voir le chapitre 2). Les espèces ainsi introduites perturbent l'écosystème de plusieurs manières: remplacement d'espèces locales, pollution génétique, introduction d'agents pathogènes ou modification de la structure de l'habitat. Il est cependant souvent difficile, dans les conditions de terrain, d'établir des relations de cause à effet entre l'introduction d'espèces exogènes et le déclin d'espèces indigènes (Taylor *et al.* 1984, Rosocchi *et al.* 1993).

Le suivi des espèces exogènes introduites dans les zones humides peut faire appel aux indicateurs standard de taille des populations végétales et animales. Ceux-ci varient évidemment en fonction de l'espèce ou du groupe concerné (invertébrés, oiseaux, plantes, etc.) et il serait inapproprié de chercher à en donner ici une liste détaillée.

Le suivi des espèces exogènes qui viennent d'arriver dans un site est plus difficile à organiser. Il serait très coûteux et inefficace d'entreprendre un programme de suivi exhaustif compte tenu de la diversité des espèces et des groupes, et les nouvelles espèces, en particulier celles qui sont disséminées par l'eau (plantes flottantes surtout), pourront vraisemblablement être identifiées grâce à d'autres systèmes de suivi ou à des enquêtes sur le terrain. En cas de forte probabilité d'invasion d'un site par une espèce (si, par exemple, celle-ci est déjà à proximité) on pourrait envisager un programme de suivi spécifique, mais non intensif, faisant appel à des méthodes adaptées à l'espèce.

4.4 Conclusion

La sélection des indicateurs est une étape critique de la planification d'un programme de suivi et doit être intégrée dans l'ensemble du processus. Il convient tout d'abord de choisir des indicateurs en rapport avec les objectifs du programme et avec les hypothèses spécifiques qui ont été émises sur le changement écologique actuel et futur. Les considérations de temps

et de superficie, les ressources, la compétence du personnel et les informations disponibles sont certains des facteurs externes les plus importants qui influencent le choix parmi une très grande variété d'indicateurs potentiels.

Des paramètres physiques et biologiques peuvent constituer de bons indicateurs de changement écologique. Les indicateurs biologiques vont du niveau infracellulaire à des indices synthétiques dérivés de la composition d'assemblages d'espèces et il n'y a pas de recette pour aider à choisir ces indicateurs. Un indicateur idéal devrait apporter une réponse claire et sans équivoque et donner une alerte rapide dans le cas de l'hypothèse choisie. Un tel indicateur idéal n'existe cependant pas toujours ou peut être difficile à identifier. Le processus de sélection doit s'appuyer sur une analyse fonctionnelle de la zone humide à suivre et il est basé sur l'hypothèse selon laquelle la préservation de la diversité biologique et des espèces individuelles est liée au maintien de la qualité de l'habitat. La sélection des indicateurs doit se rapporter autant que possible aux processus impliqués dans le changement écologique et viser en premier lieu les principaux facteurs environnementaux qui contrôlent la structure de l'habitat et la production. Un certain nombre d'indicateurs ont été proposés pour différentes situations (menaces/types de zones humides) mais, même si l'on pense qu'ils peuvent s'appliquer largement, il ne s'agit que d'exemples destinés à illustrer le processus de sélection et ne pouvant en aucun cas convenir à toutes les situations.

RÉFÉRENCES

- Anonymous. 1992. *Application of satellite data for mapping and monitoring wetlands*. Federal Geographic Data Committee, Wetland Subcommittee Technical report 1, US Fish and Wildlife Service, Washington DC, USA. 32 pp + 4 appendices.
- Ahlund, M. and F. Gotmark. 1989. Gull predation on Eider ducklings *Somateria mollissima*: effects of human disturbance. *Biological Conservation* 48: 115-127.
- Arrignon, J. 1970. *Aménagement piscicole des eaux intérieures*. SEDETEC S.A. Eds, Paris, France. 643 pp.
- Bakker, J.P. 1985. The impact of grazing on plant communities, plant populations and soil conditions on salt marshes. *Vegetatio* 62: 391-398.
- Baldock, D. 1989. *Agriculture and habitat loss in Europe*. WWF International CAP discussion paper n°3, Institute for European Environmental Policy, London, UK. 60 pp.
- Bell, D.V. and M. Owen. 1990. Shooting disturbance - a review. In: Matthews, G.V.T. (ed.) *Managing Waterfowl Populations*. Proc. IWRB Symp., Astrakhan, USSR. IWRB Special Publication 12, Slimbridge, UK. pp 159-171.



- Bellan, G. 1976. Action des facteurs de pollution sur les communautés benthiques. In: J.M. Peres (ed.). *La pollution des eaux marines*. Gauthier-Villars, Paris, France. 231 pp.
- Bellan, G. 1991. Characteristic, indicative and sentinel species: from the conception to the utilization. In: Ravera (ed.). *Terrestrial and aquatic ecosystems: Perturbation and recovery*. Ellis Horwood Ltd. pp 95–100.
- Brooking, D.G. 1988. *Eh-pH diagrams for geochemistry*. Springer-Verlag, Berlin, Germany. 176 pp.
- Carbenier, R., M. Tremolières, J.L. Mercier and A. Orstschreit, 1990. Aquatic macrophytes as bioindicators of eutrophic conditions in calcareous oligosaprobe stream waters (Upper Rhine plain, Alsace). *Vegetatio* 86: 71–88.
- Cattaneo, A. 1987. Periphyton in lakes of different trophy. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 44: 296–303.
- Cattaneo, A., G. Méthot, B. Pinel-Alloul, T. Niyonsenga and L. Lapierre. 1995. Epiphyte size and taxonomy as biological indicators of ecological and toxicological factors in lake Saint François (Québec). *Environmental Pollution* 87: 35–372.
- CECPI. 1981. *Critères de qualité des eaux pour les poissons d'eau douce européens*. Document Technique de la CECPI n°37, FAO, Rome, Italy.
- CEMAGREF-IARE. 1994. *Recherche d'indicateurs de niveaux trophiques dans les lagunes méditerranéennes: Analyse bibliographique*. Agence de l'Eau RMC, Lyon, France. 116 pp.
- Claisse D. 1989. Chemical contamination of French coasts: the results of ten years watch. *Marine Pollution Bulletin* 20 (10): 523–528.
- Claisse, D. (ed.). 1995. *Surveillance du milieu marin. Travaux du Réseau National d'Observation de la qualité du milieu marin*. Edition 1995, Ministère de l'Environnement, Paris, France. 32 pp.
- Cluis, D. 1992. *Des nouvelles technologies pour une gestion intégrée à l'échelle du bassin versant*. Association Québécoise des techniques de l'eau, Assises annuelles, 8–10 avril 1992, Montréal, Canada.
- Costa, L., J.C. Farinha, N. Hecker and P. Tomàs Vives (eds.). 1996 (in press). *Mediterranean Wetland Inventory. A Reference Manual*. MedWet publication, ICN & Wetlands International, Lisbon, Portugal. 75 pp.
- Crawley, M.J. 1983. *Herbivory: The dynamics of plant-animal interactions*. Studies in Ecology vol. 10, Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK. 437 pp.
- Crivelli, A.J. 1992. Fisheries. In: Gerakis, P. (ed.). *Conservation and management of Greek wetlands*. Proceedings of a Greek wetland workshop, Thessaloniki (Greece), 1989, IUCN, Gland, Switzerland. pp 115–127.
- Crivelli, A.J., P. Grillas and B. Lacaze. 1995. Response of vegetation to a rise in water level at Kerkini reservoir (1982–1991), a Ramsar site in Northern Greece. *Environmental Management* 19 (3): 417–430.
- Devillers, P. and J. Devillers-Terschuren. 1993. *A classification of Palaearctic habitats and preliminary list of priority habitats in Council of Europe Member States*. A report to the Council of Europe, Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats, Strasbourg, France. 268 pp. [unpublished report]
- Duarte, C.M., J. Cebrián and N. Marba. 1992. Uncertainty of detecting sea change. *Nature* 356: 190.
- Duncan, P. 1992. *Horses and grasses. The nutritional ecology of equids and their impact on the Camargue*. Ecological Studies 87, Springer-Verlag, New York, USA. 287 pp.
- Empain, A. 1976. Estimation de la pollution par les métaux lourds dans la Somme par l'analyse des bryophytes aquatiques. *Bulletin Français de Pisciculture* 48: 138–142.
- Ernst, T.L., N.C. Leibowitz, D. Roose, S. Stehman and N.S. Urquart. 1995. Evaluation of US EPA Environmental Monitoring and Assessment Programs (EMAP) -Wetlands sampling design and classification. *Environmental Management* 19 (1): 99–113.
- European Communities Commission. 1991. *CORINE biotopes manual – A method to identify and describe consistently sites of major importance for nature conservation*. Volume 1: Methodology; Volume 2: Data specifications – Part 1; Volume 3: Data specifications – Part 2. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg. 270 + 126 + 300 pp.
- Farinha, J.C., L. Costa, G.C. Zalidis, A. Mantzavelas, E. Fitoka, N. Hecker and P. Tomàs Vives (eds.). 1996 (in press). *Mediterranean Wetland Inventory. Habitat Description System*. MedWet publication, ICN & Wetlands International, Lisbon, Portugal.
- Ferrer, X. and F.A. Comín. 1979. Distribució i ecologia del macròfits submergits del delta de l'Ebre. *Bull. Inst. Hist. Nat.* 44 (Sec. Bot. 3): 111–117.
- Fisher, R.A., A.S. Corbert and G.B. Williams. 1943. The relation between the number of species and the number of individuals in a random sample of an animal population. *Journal of Animal Ecology* 12: 42–58.
- Fox, G.A., M. Gilbertson, A.P. Gilman and T.J. Kubiak. 1991. A rationale for the use of colonial fish-eating birds to monitor for the presence of developmental toxicants in Great Lakes Fish. *Journal of Great Lakes Research* 17: 151–152.
- Fraye, W.E., T.J. Monahan, D.C. Bowden and F.A. Graybill. 1983a. *Status and trends of wetlands and deepwater habitat in the conterminous United States, 1950's to 1970's*. Colorado State University, Fort Collins, CO, USA. 31 pp.
- Fraye, W.E., T.J. Monahan, D.C. Bowden and F.A. Graybill. 1983b. *Procedure for using existing statistical wetland data to determine sample sites needed to produce wetland acreage estimates for selected geographic areas*. Colorado State University, Fort Collins, CO, USA. 8 pp + appendix.



- Gilbertson, M., R.D. Morris and R.A. Hunter. 1977. Abnormal chicks and PCB residue levels in eggs of colonial birds on the Great Lakes (1971–1973). *Auk* 93: 434–442.
- Goldberg, E.D. 1975. The mussel watch – A first step in global marine monitoring. *Marine Pollution Bulletin* 6 (7): 111.
- Goldsmith, F.B. 1983. Ecological effects of visitors and the restoration of damaged areas. In: A. Warren and F.B. Goldsmith (eds.). *Conservation in perspective*. Wiley and Sons, Chichester, UK. pp 201–214.
- Goldsmith, F.B. 1991. *Monitoring for conservation and ecology*. Chapman & Hall, London. 275 pp.
- Gordon, I.J., P. Duncan, P. Grillas and T. Lecomte. 1990. The use of domestic herbivores in the conservation of the biological richness of European wetlands. *Bulletin d'Ecologie* 21 (3): 49–60.
- Gray, J.S. 1989. Effects of environmental stress on species rich assemblages. *Biological Journal of the Linnean Society* 37: 19–32.
- Gray, J.S. and I.H. Pearson. 1982. Objective selection of sensitive species indicative of pollution-induced change in benthic communities. I. Comparative methodology. *Marine Ecology. Progress Series* 9: 111–119.
- Guelorget, O. and J.P. Perruisor. 1984. Indicateurs biologiques et diagnose écologique dans le domaine paralique. *Bulletin d'Ecologie* 15(1): 67–76.
- Guzkowska, M.A.J. and F. Grasse. 1990. Diatoms as indicators of water quality in some English urban lakes. *Freshwater Biology* 23: 233–250.
- Haslam, S.M. 1982. A proposed method for monitoring river pollution using macrophytes. *Environmental Technology Letters* 3: 19–34.
- Haslam, S.M. 1987. *River plants of Western Europe*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Hellawell, J.M. 1986. *Biological indicators of freshwater pollution and environmental management*. Elsevier, London & New York, USA. 547 pp.
- Hollis, G.E. 1992. The causes of wetland loss and degradation in the Mediterranean. In: C.M. Finlayson, G.E. Hollis and T.J. Davis (eds.). *Managing Mediterranean Wetlands and their Birds*. IWRB Special Publication 20, Slimbridge, UK. pp 83–90.
- Holmes, M.G. 1992. Monitoring vegetation in the future: radar. *Botanical Journal of the Linnean Society* 108: 93–109.
- Huggett, R.J., R.A. Kimerle, P.W. Mehrle Jr. and H.L. Bergman. 1992. *Biomarkers, biochemical, physiological and histological markers of anthropogenic stress*. Lewis Publ., Boca Raton, Florida, USA. 347 pp.
- Jehl, J.R. Jr. 1973. Studies of a declining population of Brown Pelicans in Northwest Baja California. *Condor* 75: 69–79.
- Jones, K.C., G. Sanders, S.R. Wild, V. Burnett and A.E. Johnson. 1992. Evidence for a decline of PCBs and PAHs in rural vegetation and air in United Kingdom. *Nature* 356: 137–140.
- Kahlert, J. 1994. Effects of human disturbance on broods of Red-breasted Mergansers *Mergus serrator*. *Wildfowl* 45: 222–231.
- Keddy, P.A. 1991. Biological monitoring and ecological prediction: from nature reserve management to national state of the environment indicators. In: F.B. Goldsmith (ed.). *Monitoring for conservation and ecology*. Chapman & Hall, London, UK. pp 249–267.
- Keddy P.A. H.T. Lee and I.C. Wisheu. 1993. Choosing indicators of ecosystem integrity: wetlands as a model system. In: S. Woodley, J. Kay and G. Francis (eds.). *Ecological integrity and the management of ecosystems*. St Lucie Press. pp 61–79.
- Keller, V.E. 1991. Effects of human disturbance on Eider ducklings *Somateria mollissima* in an estuarine habitat in Scotland. *Biological Conservation* 58: 213–228.
- Klosowski S. 1985. Habitat requirements and bioindicator value of the main aquatic vegetation in North-East Poland. *Polish Archiv Hydrobiologia* 32 (1): 7–29.
- Koch M.S. and I.A. Mendelsohn. 1989. Sulphide as a phytotoxin: differential responses in two marsh species. *Journal of Ecology* 77: 565–578.
- Kushlan, J.A. 1993a. Colonial waterbirds as bioindicators of environmental change. *Colonial Waterbirds* 16 (2): 223–251.
- Kushlan J.A. 1993b. Waterbirds as bioindicators of wetland change: are they a valuable tool? In: M. Moser, R.C. Prentice and J. van Vessem (eds.). *Waterfowl and wetland conservation in the 1990's – A global perspective*. Proc. IWRB Symp., St. Petersburg Beach, Florida, USA. IWRB Special Publication 26, Slimbridge, UK. pp 48–55.
- Lam Hoai, T. and G. Lasserre. 1984. Méthodes d'évaluation des ressources des lagunes côtières. In: J.M. Kapetsky and G. Lasserre (eds.). *Aménagement des pêches dans les lagunes côtières*. Studies and Reviews, General Fisheries Council for the Mediterranean (GFCM). 61 (1):143–159.
- Landry, P. 1990. Bag statistics: a review of methods and problems. In: Matthews, G.V.T. (ed.) *Managing Waterfowl Populations*. Proc. IWRB Symp., Astrakhan, USSR. IWRB Special Publication 12, Slimbridge, UK. pp 105–112.
- Laporte, J. 1979. Structure hydrologique des étangs littoraux. Les cycles minéraux annuels dans l'eau et les sédiments dans les étangs du Prévost et de Mauguio. In: DGRST (étangs littoraux). *Compte rendu Scientifique des Travaux*. pp 15–34.
- Lemaire S., A. Tamisier and F. Gagnier. 1987. Surface, distribution et diversité des principaux milieux de Camargue. Leur évolution de 1942 à 1984. *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)* suppl. 4: 47–56.
- MacArthur, R.M. 1957. On the relative abundance of bird species. *Proceedings of the National Academy of Sciences, Washington* 43: 193–195.



- McCarthy, J.F. and L.R. Shugart (eds.). 1990. *Biomarkers of environmental contamination*. Lewis Publ., Boca Raton, Florida, USA. 475 pp.
- McLean, R.O. and A.K. Jones. 1975. Studies of tolerance of heavy metals in the flora of the rivers Ystrwyth and Clarach. *Freshwater Biology* 5: 431–444.
- Mitsch, W.J. & J.G. Gosselink. 1993. *Wetlands*. 2nd edition. Van Nostrand Reinhold, New York, USA. 722 pp.
- Moore, N.W. and D.A. Ratcliffe. 1965. Chlorinated hydrocarbon residues in the egg of a peregrine falcon (*Falco peregrinus*) from Perthshire. *Bird Study* 9: 242–244.
- Morgan, W.S.G. 1979. Fish locomotor behaviour pattern as a monitoring tool. *Journal Water Pollution Control Fed.* 51: 580–589.
- Noss, R.F. 1990. Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. *Conservation Biology* 4 (4): 355–363.
- Odum, E.P. 1983. *Systems ecology*. Wiley Interscience, New York, USA.
- Odum, E.P. 1985. Trends expected in stressed ecosystems. *BioScience* 35: 419–422.
- Ormerod, S.J. and S.J. Tyler 1993. Further studies of the organochlorine content of Dipper *Cinclus cinclus* eggs: local differences between Welsh catchments. *Bird Study* 40: 97–106.
- Pain, D. 1992. Lead poisoning in birds: a southern European perspective. In: C.M. Finlayson, G.E. Hollis and T.J. Davis (eds.). *Managing Mediterranean Wetlands and their Birds*. Proc. Symp., Grado, Italy, 1991, IWRB Special Publication 20, Slimbridge, UK. pp. 109–114.
- Peakall, D.B. and H. Boyd, 1987. *Birds as bio-indicators of environmental conditions*. Chairmen's introduction, ICBP Technical Publication N°6: 113–118.
- Peres, J.M. and J. Picard. 1958. Manuel de bionomie benthique de la mer Méditerranée. *Recueil des Travaux de la Station Marine d'Endoume* 14: 5–122.
- Peres, J.M. and J. Picard. 1964. Nouveau manuel de bionomie benthique de la mer Méditerranée. *Recueil des Travaux de la Station Marine d'Endoume* 31: 3–137.
- Phillips, D.J.H. 1977. The use of biological indicator organisms to monitor trace metal pollution in marine and estuarine environments – A review. *Environmental Pollution* 13: 281–317.
- Phillips, D.J.H. 1978. Use of biological indicator organisms to quantitate organochlorine pollutants in aquatic environments. – A review. *Environmental Pollution* 16: 167–229.
- Pont, D., A.J. Crivelli and F. Guillot. 1991. The impact of three-spined sticklebacks on the zooplankton of a previously fish-free pool. *Freshwater Biology* 26: 149–163.
- Pourriot, R. and M. Meybeck. 1995. *Limnologie générale*. Collection d'Ecologie, vol. 25, Masson, Paris, France. 956 pp.
- Preston, F.W. 1948. The commonness and rarity of species. *Ecology* 29: 254–283.
- Rapport, D.J., J.A. Regier and T.C. Hutchinson. 1985. Ecosystem behaviour under stress. *American Naturalist* 125: 617–640.
- Romero, M.I. and M. Onaindía. 1995. Full grown aquatic macrophytes as indicators of river water quality in the Northwest Iberian peninsula. *Ann. Bot. Fennici* 32: 91–99.
- Root, M. 1990. Biological monitors of pollution. A wide variety of organisms may be useful in detecting environmental hazard. *Bioscience* 40 (2): 83–86.
- Rose, P. 1995. *Western Palearctic and South West Asia Waterfowl Census 1994*. IWRB Publication 35, Slimbridge, UK. 119 pp.
- Rose, P. & D. Scott. 1994. *Waterfowl population estimates*. IWRB Publication 29, Slimbridge, UK. 102 pp.
- Rosecchi, E., A.J. Crivelli and G. Catsadorakis. 1993. The establishment and impact of *Pseudorasbora parva*, an exotic fish species introduced into lake Mikri Prespa (north-western Greece). *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 3: 223–231.
- Salen-Picard, C. 1993. Envasement, évolution des peuplements benthiques et indicateurs biologiques en milieu circalittoral méditerranéen. In: C.F. Boudouresque, M. Avon and C. Pergent-Martini (eds.). *Qualité du milieu marin – Indicateurs biologiques et physico-chimiques*. GIS Posidonie Publ. France. pp 175–187.
- Say, P.J., J.P.C. Harding and B.A. Whitton. 1981. Aquatic mosses as monitors of heavy metal contamination in the river Eatherow, Great Britain. *Environmental Pollution Series B*, 2: 295–307.
- Sfriso, A., B. Pavoni, A. Marcomini and A.A. Orio. 1988. Annual variations of nutrients in the lagoon of Venice. *Marine Pollution Bulletin* 19 (2): 54–60.
- Shortreed, K.S., A.C. Costella and J.G. Stockner. 1984. Periphyton biomass and species composition in 21 British Columbia lakes: seasonal abundance and response to whole-lake nutrient additions. *Canadian Journal of Botany* 62: 1022–1031.
- Spellerberg, L.F. 1991. *Monitoring Ecological Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 334 pp.
- Stevenson, A.C. and R.W. Battarbee. 1991. Paleocological and documentary records of recent environmental change in Garaet El Ichkeul: a seasonally saline lake in NW Tunisia. *Biological Conservation* 58: 275–295.
- Tamisier, A. and P. Grillas. 1994. A review of habitat changes in the Camargue: an assessment of the effects of the loss of biological diversity on the wintering waterfowl community. *Biological Conservation* 70: 39–47.
- Taylor, A.R.D., G.W. Howard and G.W. Begg. 1995. Developing wetland inventories in Southern Africa: a review. *Vegetatio* 118: 57–79.
- Taylor, W.W., W.R. Courtenay Jr. and J.A. McCann. 1984. Known impacts of exotic fishes in the continental United States. In: W.R. Courtenay Jr. and J.R. Stauffer Jr. (eds.). *Distribution, Biology and Management of Exotic Fishes*. The John Hopkins University Press, Baltimore, USA. pp 322–373.



- Tuite, C.H., P.R. Hanson and M. Owen. 1984. Some ecological factors affecting winter wildfowl distribution on inland waters in England and Wales, and the influence of waterbased recreation. *Journal of Applied Ecology* 21: 41–62.
- Van Wijck, C., C.J. de Groot and P. Grillas. 1992. The effects of anaerobic sediment on the growth of *Potamogeton pectinatus* L.: the role of organic matter, sulphide and ferrous iron. *Aquatic Botany* 44: 31–49.
- Vollenweider, R.A. 1968. *The scientific basis of lake eutrophication, with particular reference to phosphorus and nitrogen as eutrophication factors*. Technical Report D.A.S./C.S.J./68.27, OCDE, Paris, France. 159 pp.
- Von Bertalanffy, L. 1968. *General system theory*. Brazillier, New York, USA.
- Whitlatch, R.B. 1981. Animal-sediment relationships in intertidal marine benthic habitats: some determinants of deposit-feeding species diversity. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 53: 31–45.
- Zakharov, V.M. and G.M. Clarke. 1993. *Biotest. A new integrated biological approach for assessing the conditions of natural environments*. Moscow Affiliate of the International Biotest Foundation, Moscow, Russia.
- Zimmerman, R.C., A. Cabello-Pasini and R.S. Alberte. 1994. Modelling daily production of aquatic macrophytes from irradiance measurements: a comparative analysis. *Marine Ecology Progress series* 144: 185–194.



5 Techniques de suivi



Pere Tomàs Vives et Patrick Grillas

Ce chapitre résume les informations présentées au chapitre 4 sur l'identification d'indicateurs de suivi des changements écologiques. Le but est de fournir, de manière structurée et systématique (tableaux), une aide au choix des indicateurs et techniques permettant de suivre les différents types de changements écologiques. Les tableaux comportent aussi des références bibliographiques où l'on trouvera un examen de l'utilisation des différents indicateurs ou une description des techniques à employer. Toutes les références mentionnées dans les tableaux sont reprises au chapitre 6.

Les tableaux ont été organisés selon la présentation des changements écologiques choisie pour les chapitres précédents, soit:

- *changements de superficie de la zone humide*
- *changement du régime hydrologique*
- *changement de la qualité de l'eau:*
 - *eutrophisation*
 - *pollution par des substances toxiques*
- *changements dus à une exploitation non durable des ressources de la zone humide:*
 - *pêche et aquaculture*
 - *pâturage*
 - *chasse*
 - *tourisme et activités récréatives*
- *changements dus à l'introduction d'espèces exogènes*

Comme dans les chapitres précédents, il ne s'agit pas avec ces tableaux de fournir des recettes mais plutôt d'aider au choix des indicateurs et techniques les plus appropriés.

Tableau 5.1 Suivi des changements de superficie des zones humides.

Groupe	Indicateurs	Techniques	Références et commentaires
Habitat et communautés	Liste des types d'habitats	Système de description des habitats de MedWet Classification CORINE des biotopes	Farinha <i>et al.</i> 1996 European Communities Commission 1991 Devillers & Devillers-Terschuren 1993
Indicateurs spatiaux	Liste des communautés végétales	Phytosociologie Autres (par exemple, classification structurelle, espèces dominantes, etc.)	Braun-Blanquet 1932 Goldsmith <i>et al.</i> 1986 Voir également le chapitre 6
	Mosaïque d'habitats, fragmentation	Classifications (MedWet, CORINE, etc.) Mesures sur le terrain	Farinha <i>et al.</i> 1996; Zaidis <i>et al.</i> 1996 European Communities Commission 1991
	Superficie par type d'habitat	Cartographie Télétection SIG	Devillers & Devillers-Terschuren 1993 Cowardin 1979 Voir aussi: Moore & Chapman 1986; Greig-Smith 1983 Budd 1991; Mather 1993 Voir également le chapitre 6
	Longueur des cours d'eau		
Indicateurs de tendance	Analyse de la tendance dans le temps (témoigne du taux de perte des zones humides)	Cartographie Télétection SIG	Frayer <i>et al.</i> 1983a & 1983b Dahl & Johnson 1991; Dahl 1993 Environmental Protection Agency 1992 Le choix des sites à suivre doit se faire par échantillonnage aléatoire (stratifié)
	Analyse comparative avec d'autres régions		
	Analyse comparative avec d'autres tendances		



Tableau 5.2 Suivi des changements du régime hydrologique.

Groupe	Indicateurs	Techniques	Références et commentaires
Niveau d'eau	Eaux de surface Eaux souterraines	Mesure des niveaux des eaux de surface Mesure des niveaux des eaux souterraines dans des puits, piézomètres	Facile et peu coûteux Gilman 1994 Facile
Bilan hydrologique de la zone humide (décompte des entrées et des sorties d'eau)	Précipitations Entrées et sorties d'eau de surface Entrées et sorties d'eau souterraines Evapotranspiration Marées	Précipitations: pluviomètre, pluviographe Entrées/sorties d'eau de surface: échelle limnimétrique ou limnigraphe section transversale du canal x vitesse de l'eau estimation des ruissellements de surface Entrées/sorties d'eau souterraines: estimation au moyen de la loi de Darcy Evapotranspiration: mesures avec des bacs d'évaporation, ou estimation au moyen de l'équation de Penman	Milisch & Gosselink 1993 Gilman 1994; Brassington 1988 Chalmers & Parker 1985 Certains mesures sont faciles et peu coûteuses (piézomètres par exemple), d'autres exigent des infrastructures (comme les échelles limnimétriques) et sont plus coûteuses (systèmes à enregistrement automatique) Il est difficile de calculer l'évapotranspiration et les entrées/sorties d'eaux souterraines
Salinité de l'eau	Salinité (g/l) des eaux de surface et souterraines	Mesure de la concentration de NaCl Salinomètre	Chalmers & Parker 1985 Environmental Protection Agency 1992 Indicateur des mouvements d'eau par les effets de dilution et concentration Salinité des eaux souterraines dans les piézomètres, puits
Température de l'eau	Conductivité électrique Température des eaux de surface et souterraines	Conductimètre Thermomètre, thermocouple, thermistor	Chalmers & Parker 1985 Facile, peu coûteux Environmental Protection Agency 1992 Chalmers & Parker 1985 Témoigne d'éventuels apports d'eau à une température différente (eaux de refroidissement d'industries, de centrales électriques par exemple)
Plantes	Rapport entre espèces annuelles/pérennes No. d'espèces terrestres, amphibiens et aquatiques Espèces glycophytes/halophytes Présence de certaines espèces	Mesure de la fréquence des espèces	Témoigne de l'intensité du stress Recommandé uniquement en cas d'impossibilité de faire des mesures hydrologiques directes
Invertébrés	Présence de certains groupes ou espèces (tels que les Phyllopoètes)	Techniques variables en fonction des groupes	Dans certains marais, témoin de l'isolement Recommandé uniquement en cas d'impossibilité de faire des mesures hydrologiques directes
Poissons	Présence de certaines espèces	Techniques d'échantillonnage des poissons	Lam Hloai & Lasserre 1984; Arrignon 1970; Environmental Protection Agency 1992 Témoin de la permanence de l'eau tout au long de l'année, ou de connexions permanentes entre bassins

Tableau 5.3 Suivi des changements de qualité de l'eau: eutrophisation.

Indicateurs	Techniques	Références et commentaires
<p>Groupe</p> <p>Éléments nutritifs dans l'eau</p>	<p>Concentrations en éléments nutritifs dans l'eau: techniques spécifiques pour chaque élément</p>	<p>Mitsch & Gosselink 1993; Allen <i>et al.</i> 1986 Voir une étude dans Environmental Protection Agency 1992 Complexe et difficile à mesurer Il faut avoir une idée de l'évolution annuelle de la situation</p>
<p>Indicateurs des éléments nutritifs dans les sédiments</p>	<p>Concentrations en éléments nutritifs: techniques spécifiques pour chaque élément</p>	<p>Hellawell 1986 Environmental Protection Agency 1992 Témoin d'une eutrophisation anthropogène. Il faut avoir une idée de l'évolution annuelle de la situation; varie avec la profondeur</p>
<p>Profil des éléments nutritifs: concentrations le long de gradients de profondeur</p>	<p>Concentrations en éléments nutritifs: techniques spécifiques pour chaque élément</p>	<p>Donne une indication des taux d'eutrophisation Il faut avoir une idée de l'évolution annuelle de la situation</p>
<p>Potentiel: rédox</p>	<p>Appareil de mesure du potentiel rédox</p>	<p>Mitsch & Gosselink 1993 Donne une indication de la quantité de matière organique (MO), des processus de décomposition de la MO et de la disponibilité d'oxygène; varie avec la vitesse de l'eau, la composition par taille des particules sédimentaires, la profondeur</p>
<p>Indicateurs dans la colonne d'eau</p>	<p>Disque de Secchi</p>	<p>Margalef 1983 Environmental Protection Agency 1992 Facile, peu coûteux, fréquence élevée obligatoire du fait de la sensibilité à des facteurs dynamiques (abondance de phytoplancton, sols en suspension, etc.) Les mesures varient avec les observateurs</p>
<p>Profil d'atténuation lumineuse</p>	<p>Capteurs lumineux (automatiques ou manuels)</p>	<p>Chalmers & Parker 1985 Précis, plus coûteux, fréquence élevée obligatoire du fait de la sensibilité à des facteurs dynamiques</p>
<p>Concentration en oxygène</p>	<p>Oxymètre (sonde généralement)</p>	<p>Liée à la production primaire si la mesure est effectuée tout au long de cycles de 24 heures, fréquence élevée obligatoire du fait de la sensibilité à des facteurs dynamiques</p>
<p>pH</p>	<p>pH mètre (sonde généralement)</p>	<p>Chalmers & Parker 1985 Liée à la production primaire si la mesure est effectuée tout au long de cycles de 24 heures ou à la même heure chaque jour</p>
<p>Densité</p>	<p>Microscope inversé (no. cellules/m)</p>	<p>Demande du temps; exige de grandes connaissances taxonomiques ou l'utilisation d'unités taxonomiques opérationnelles (UTC)</p>



Tableau 5.3 ... suite Suivi des changements de qualité de l'eau: eutrophisation.

Groupe	Indicateurs	Techniques	Références et commentaires
Microphytes ... suite	Biomasse, production (la biomasse du phytoplancton est, par exemple, liée à la teneur en phosphore)	Teneur en chlorophylle a et b (fluorométrie, spectrophotométrie) Concentration en O ₂	Voir une étude bibliographique dans Hellawell 1986 Environmental Protection Agency 1992 Paramètres variables; référence difficile à établir; exige des prélèvements hebdomadaires et un grand nombre de sites Utile seulement en eaux profondes
Macrophytes (Angiospermes & macro-algues)	Composition spécifique	Microscope inversé (lames de verre, substrat artificiel)	Demande du temps; exige de grandes connaissances taxonomiques ou l'utilisation d'UTO
	Diversité des espèces ou des unités taxonomiques opérationnelles (UTO)	Indices de diversité (richesse en espèces; Shannon-Weiner, Simpson, etc.)	Spellerberg 1991; Magurran 1988; Margalef 1986; Krebs 1972
	Composition spécifique	Prélèvement d'espèces (quadrats, etc.)	Chalmers & Parker 1985 Les macrophytes sont faciles à identifier et leur variabilité à court terme est faible Leur réaction à l'eutrophisation est mal connue
Macro-invertébrés	Diversité des espèces	Indices de diversité (richesse en espèces; Shannon-Weiner, Simpson, etc.)	Spellerberg 1991; Magurran 1988; Margalef 1986; Krebs 1972 Difficile de distinguer les effets des différents stress
	Biomasse ou fréquence des différents groupes: Angiospermes, Rhodophyceae, Chlorophyceae	Abondance des espèces	<i>Enteromorpha</i> . Ulva témoignent d'une importante concentration en nitrates <i>Ruppia</i> , <i>Potamogeton</i> sont tolérantes à l'eutrophisation, à de faibles salinités Utile dans les lagunes
	Couverture de macro-algues flottantes	Présence d'une couverture de macro-algues	Indique un stade avancé d'eutrophisation dans les lacs, cours d'eau, lagunes et baies peu profondes
	Profondeur maximum de colonisation par les macrophytes submergées emracinées	Mesure de la profondeur maximum de colonisation	Liée à l'atténuation lumineuse Donne une indication du bilan radiatif au fond des lacs, lagunes pendant la saison de croissance Dépend aussi d'autres facteurs: solides en suspension, salinité, profondeur d'eau, etc.
Macro-invertébrés	Composition spécifique, abondance	Filets "Kick sampling" Substrats artificiels Tamisage des sédiments	Chalmers & Parker 1985 Gray & Pearson 1982 Utile dans les cours d'eau, lacs, et lagunes et en mer Nombreux échantillons nécessaires du fait d'une grande variabilité dans l'espace et dans le temps; l'analyse Exige de grandes connaissances taxonomiques ou l'utilisation d'UTO
	Rapport entre les différents groupes (ou espèces)		
Vériébrés (poissons)	Composition spécifique des communautés de poissons	Techniques d'échantillonnage des poissons	Lam Hoi & Lasserre 1984; Arrignon 1970; Environmental Protection Agency 1992 Peut être un indicateur du niveau trophique des lacs



Tableau 5.4 Suivi des changements de qualité de l'eau: pollution par des substances toxiques.

Groupe	Indicateurs	Techniques	Références et commentaires
Quantités de substances toxiques: organohalogénés et organophosphorés, métaux lourds, hydrocarbures, etc.)	Teneur en substances toxiques	Mesure directe des teneurs en substances toxiques au moyen de techniques spécifiques aux différentes substances	Hellawell 1986; Allen <i>et al.</i> 1986 Voir une étude des méthodes dans Environmental Protection Agency 1992
		Tests de toxicité	Voir une étude des tests de toxicité dans Spellerberg 1991 FAC 1989; Gupta <i>et al.</i> 1989; Merian 1984 Nécessité de déterminer la substance toxique la plus probable dans la zone humide avant de choisir le test Coûteux, matériel sophistiqué nécessaire, fréquence d'échantillonnage difficile à définir
	Radionucléides	Compteurs Geiger ou techniques spécifiques en fonction des radionucléides	Coûteux et matériel pas facilement disponible Ne peut s'appliquer qu'à des superficies limitées
	Macro-invertébrés	Mesure des concentrations en substances toxiques dans les tissus au moyen de techniques spécifiques à chaque substance	Environmental Protection Agency 1992 Goldberg 1975; Goldberg <i>et al.</i> 1978 On utilise certains bivalves (huîtres, moules par exemple) pour suivre l'accumulation biologique d'HAP et de PCB
	Poissons	Mesure des concentrations en substances toxiques dans les tissus au moyen de techniques spécifiques à chaque substance	Voir une étude dans Hellawell 1986 Environmental Protection Agency 1992 On utilise les poissons pour une large gamme de substances toxiques: métaux, pesticides, PCB
Oiseaux		Mesure des concentrations en substances toxiques dans les œufs, l'organisme, les plumes, etc. Les techniques sont spécifiques à chaque substance	Peakall & Boyd 1987; Ormerod & Tyler 1993a, 1993b On utilise les œufs d'oiseaux pour les insecticides organochlorés et l'organisme en entier ou les plumes pour les métaux lourds, les organochlorés, les hydrocarbures aromatiques, les organophosphorés et les carbamates Les problèmes liés à l'utilisation des oiseaux tiennent à leur grande mobilité
	Saturisme (ingestion de grenaille de plomb par les oiseaux)	Densité de grenaille de plomb dans les sédiments Examen manuel du contenu des gésiers (nombre de grains de plomb) Radioscopie aux rayons X (oiseaux vivants ou morts, gésiers ou contenu de gésiers) Spectrométrie par absorption atomique (tissus corporels: foie, reins, pancréas, os)	Pain 1989, 1991; Montalbano & Hines 1978; Guillard <i>et al.</i> 1994 24-42% des plombs présents passent inaperçus lors d'un examen manuel Les concentrations en plomb dans le sang, le foie et les reins témoignent d'une exposition récente
Suivi biologique	Macrophytes	Présence ou assemblage d'espèces	Empain 1976; McLean & Jones 1975 Les bryophytes et les macrophytes emracinées peuvent indiquer la présence d'ions métalliques (Cd, Cr, Zn, Pb) Les algues sont utiles pour le Cu Les plantes émergentes et terrestres peuvent indiquer la présence de PCB et d'HAP



Tableau 5.4 ... suite. Suivi des changements de qualité de l'eau: pollution par des substances toxiques.

Groupe	Indicateurs	Techniques	Références et commentaires
Suivi biologique ... suite	<p>Macro-invertébrés</p> <p>Poissons</p>	<p>Présence ou assemblage d'espèces</p> <p>Observation du comportement des poissons</p> <p>Détection d'ichthyopathologies</p>	<p>Voir une étude dans Hellawell 1986</p> <p>Utilisés comme indicateurs de métaux, d'herbicides, d'insecticides organochlorés et organophosphorés, de PCB</p> <p>Voir une étude dans Hellawell 1986; Spellerberg 1991</p> <p>Environmental Protection Agency 1992</p> <p>On utilise les poissons pour une large gamme de substances toxiques: métaux, pesticides, PCB</p> <p>Les problèmes liés à l'utilisation des poissons tiennent à leur mobilité</p>
Indices biologiques	Indices biologiques	Différent indices peuvent être utilisés en fonction de la situation	<p>Voir une étude dans Spellerberg 1991; Hellawell 1986</p> <p>Environmental Protection Agency 1992</p> <p>Difficile de distinguer les effets de différents stress</p> <p>Ne permettent pas de donner une alerte rapide</p>



Tableau 5.5a Suivi des changements dus à la pêche et à l'aquaculture.

Groupe	Indicateurs	Techniques	Références et commentaires
Suivi de l'activité	Pêche: no. de pêcheurs (classés en fonction du type de pêche), no. d'engins de pêche et type, no. d'installations de pêche fixes, longueur totale de filets, calendrier de pêche Aquaculture: no. de personnels, no. de cages et type, superficie des exploitations de conchyliculture, calendrier d'exploitation	Certains données (no. de permis de pêche pour professionnels et amateurs, calendrier de pêche, etc.) peuvent être obtenues auprès des services responsables; d'autres doivent être mesurés sur le terrain (à intervalles réguliers) Ces données peuvent être obtenues auprès des exploitants (individus ou sociétés), ou auprès des services responsables	Ces paramètres témoignent de l'intensité de l'activité mais pas de ses effets sur la population et les habitats
Suivi de la population visée	Prises par espèces d'après les statistiques de pêche Production Captures par unité d'effort (CPUE) Rendement Structure de la population (mesure de la longueur des poissons, mollusques ou crustacés) Efficacité Structure des communautés	Des données peuvent être obtenues auprès des services responsables, des coopératives de pêcheurs, etc. Mesures directes et calculs Mesures directes et calculs Des données peuvent être obtenues auprès d'instituts de recherches marines, des services responsables des pêches, etc. Mesures directes Campagnes de pêche au moyen de filets, pièges, etc.	Informations quantitatives faciles à obtenir sur les ventes de poisson Les prises enregistrées ne constituent que des sous-estimations des prises totales (les circuits parallèles de commercialisation, les invendus, la pêche illégale, etc. ne sont généralement pas inclus) Ne couvre que les espèces commerciales Lam Hoai & Lasserre 1984; Arrignon 1970; Potts & Reay 1987; Environmental Protection Agency 1992 Les données peuvent être utilisées pour analyser les tendances en matière d'effets ou pour faire des comparaisons avec d'autres sites L'importance des déséquilibres entre classes de taille témoigne de l'état des populations et du succès de reproduction (Voir les mêmes références que ci-dessus) Convient aux espèces menacées d'extinction ou présentant un intérêt et pour déterminer ce qu'il advient d'une espèce introduite Coûteux, demande du temps (Voir les mêmes références que ci-dessus)
Suivi de l'impact	Oiseaux pris dans les engins de pêche Perturbation due au passage des bateaux de pêche; no. d'individus des espèces sensibles aux perturbations; modifications du comportement (abandon du site, abandon des nids, etc.) Destruction des nids Aquaculture: effets sur les espèces et communautés indigènes, etc. Aquaculture: indicateurs d'eutrophisation Aquaculture: superficie de zone humide perdue ou modifiée; fragmentation de l'habitat	Comptage des oiseaux pris dans les filets, pièges, etc. Recensements des oiseaux Techniques d'étude du comportement animal Mesure du succès de reproduction Détection de nouveaux parasites ou de nouvelles maladies, etc. Voir tableau 5.3 (eutrophisation) Voir tableau 5.1 (changements de superficie des zones humides)	Bibby <i>et al.</i> 1992 Indicateurs d'alerte tardive Voir tableau 5.3 (eutrophisation) Voir tableau 5.1 (changements de superficie des zones humides)



Tableau 5.5b Suivi des changements dus à la pression de pâturage.

Groupe	Indicateurs	Techniques	Références et commentaires
Suivi de la pression de pâturage	No. de îles/jour (par sexe et classe d'âge) dans une zone déterminée, calendrier de pâturage	Certaines données peuvent être obtenues auprès des services de l'agriculture, d'autres doivent être mesurées sur le terrain (recensements)	Ces paramètres témoignent de l'intensité de l'activité mais pas de ses effets sur les populations et les habitats
	Apport alimentaire complémentaire	Noter les quantités de fourrage complémentaire apporté aux animaux	Utile pour évaluer la densité du bétail par rapport à la capacité de charge
	Répartition spatiale des animaux	Recensements, études de la végétation	Duncan 1992
	Etat des animaux	Mesure du poids corporel, de la taille, etc.	Duncan 1992; Evans 1977
	Espèces sauvages: paramètres indirects comme les indices semi-quantitatifs d'abondance	Echantillonnage linéaire, par exemple comptages le long de transects fixes, comptages de densité de fèces	Fournit des estimations indirectes des populations d'herbivores sauvages
	Production, composition spécifique, hauteur, couverture totale, etc.	Différentes techniques en fonction du (des) paramètre(s) choisis: cartographie, techniques d'étude de la végétation, par exemple, exclos, quadrats, transects, photographies prises de points fixes, etc.	Duncan 1992 Bhadra 1986 Goldsmith et al. 1986 Crawley 1983
	Pourcentage de sol nu		
	Abondance des meilleures espèces fourragères		
	Abondance des refus (buissons, espèces non pâturées, etc.)		
	Empiètement des broussailles		
Rapport espèces annuelles/ pérennes			
Rapport légumineuses/dicotylédones			
Suivi de l'impact du pâturage	Compactage du sol, abondance relative de formes de croissance résistantes (comme les rosettes), composition spécifique, pourcentage de sol nu		Une parcelle témoin est nécessaire car ces indicateurs peuvent être affectés par d'autres facteurs
	Etat des animaux	Mesure du poids corporel, de la taille, etc.	Témoigne des effets du piétinement par les herbivores
	Composition spécifique		
	Productivité/biomasse		
	Objectif: stopper la succession végétale		
	Indicateur: couverture de chaque strate (herbacées, broussailles, arbres)	Différentes techniques en fonction du (des) paramètre(s) choisis: cartographie, techniques d'étude de la végétation, par exemple, exclos, quadrats, transects, photographies prises de points fixes, etc.	Duncan 1992; Bhadra 1986; Goldsmith et al. 1986; Crawley 1983 Indices de diversité: Spellerberg 1991; Magurran 1988; Margalef 1986; Krebs 1972 Techniques de recensement des oiseaux: Bibby et al. 1992 Techniques d'étude des batraciens: Heyer et al. 1994 Les indicateurs sont spécifiques aux objectifs de gestion
	Objectif: augmenter la superficie des eaux ouvertes	Techniques de cartographie (voir tableau 5.1 changements de superficie des zones humides)	Il est recommandé d'évaluer l'impact du pâturage sur les structures de végétation
	Indicateur: superficie des eaux ouvertes		Il est aussi recommandé de choisir des indicateurs proches du fait même de pâturer
	Objectif: augmenter la diversité	Indices de diversité (richesse en espèces; Shannon-Weiner, Simpson, etc.)	Une parcelle témoin est nécessaire car ces indicateurs peuvent être affectés par d'autres facteurs
	Indicateur: diversité d'espèces		
Suivi du pâturage en tant qu'outil de gestion	Objectif: augmenter les effectifs d'une espèce cible	Mesure de l'abondance (recensements, etc.) des représentants de l'espèce cible	
	Indicateur: abondance de l'espèce cible		

Tableau 5.5c. Suivi des changements dus à la chasse.

Groupe	Indicateurs	Techniques	Références et commentaires
Suivi de la pression de chasse	No. de permis de chasse (classés selon le type de chasse); calendrier de chasse; no. de jours de chasse No. de chasseurs/jours dans tel site No. de coups de feu tirés par heure	Certaines données (no. de permis de chasse, calendrier de chasse, etc.) peuvent être obtenues auprès des services responsables; d'autres (comme le nombre de chasseurs/jour) doivent faire l'objet de mesures sur le terrain (à intervalles réguliers)	Ces paramètres témoignent de l'intensité de l'activité mais pas de ses effets sur les populations et les habitats
Impact direct sur les populations d'oiseaux d'eau	No. d'individus présents, pour les espèces chassées et non chassées	Recensements périodiques des oiseaux pendant la saison de chasse Etudes nationales ou locales des tendances en matière d'oiseaux d'eau	Bibby <i>et al.</i> 1992 Les données collectées au niveau local doivent être comparées à des tendances plus générales ou à des données provenant de sites témoins (chasse interdite)
	Tendances en matière de populations d'oiseaux d'eau Importance du prélèvement (no. d'oiseaux abattus/jour)	Recensements internationaux des oiseaux d'eau Ces données peuvent parfois être obtenues auprès d'associations de chasseurs	Rose 1990, 1995; Rose & Scott 1994
Impact indirect: perturbation des espèces	No. d'individus présents, pour les espèces chassées et non chassées	Recensements périodiques des oiseaux	Bibby <i>et al.</i> 1992; Bell & Owen 1990 Les données collectées au niveau local doivent être comparées à des tendances plus générales ou à des données provenant de sites témoins (chasse interdite)
	Etat des oiseaux et taux d'accumulation de graisses	Etude du profil abdominal des oiseaux	Madson 1994
	Temps passé à s'alimenter	Observations d'oiseaux	Smit & Vasser 1993
	Empoisonnement au plomb	Voir tableau 5.4 (pollution par des substances toxiques)	Voir tableau 5.4 (pollution par des substances toxiques)
Impact indirect: modification des habitats du fait des aménagements cynégétiques	Régime d'inondation	Périodes d'inondation, d'assèchement, niveaux d'eau, etc. Voir tableau 5.2 (changements du régime hydrologique)	Voir tableau 5.2 (changements du régime hydrologique)
	Structure de la végétation	Cartographie; techniques d'étude de la végétation (Voir tableaux 5.1 et 5.5b)	Voir tableaux 5.1 et 5.5b
	Fragmentation de l'habitat	Voir tableau 5.1 (changements de superficie d'une zone humide)	Voir tableau 5.1 (changements de superficie d'une zone humide)



Tableau 5.5d Suivi des changements dus au tourisme et aux activités récréatives.

Groupe	Indicateurs	Techniques	Références et commentaires
Changements de superficie de la zone	Superficie perdue ou convertie Fragmentation de l'habitat	Voir tableau 5.1 (changements de superficie d'une zone humide)	Voir tableau 5.1 (changements de superficie d'une zone humide)
	Teneurs en éléments nutritifs	Voir tableau 5.3 (eutrophisation)	Voir tableau 5.3 (eutrophisation)
Pollution	Pollution fécale	Comptage des bactéries fécales	Voir tableau 5.4 (pollution par des substances toxiques)
	Pulvérisation de substances toxiques pour la lutte contre les nuisibles (moustiques, etc.)	Techniques dépendant du type de produit	Voir tableau 5.4 (pollution par des substances toxiques)
Pression exercée par les touristes	No. de visiteurs (par jour, mois, an)	Décompte des visiteurs ou des véhicules à certains points fixes (par exemple à l'entrée du site) ou le long de transects, par unité de temps	Goldsmith 1983; Goldsmith <i>et al.</i> 1970 Ces paramètres témoignent de l'intensité de l'activité mais pas de ses effets sur les populations et les habitats
	Répartition des visiteurs	Photographie à intervalles réguliers	
Piétinement	Type d'activités menées par les visiteurs	Enquêtes par distribution de questionnaires aux visiteurs	
	Pourcentage de sol nu Composition spécifique, présence de plantes tolérantes au piétinement (plantes annuelles, formes en rosette, rampantes, etc.) Structure de la végétation	Différentes techniques en fonction du (des) paramètre(s) choisis: cartographie, abondance des espèces, techniques d'étude de la végétation, par exemple, quadrats, transects, photographies prises de points fixes, etc.	Voir tableaux 5.1 et 5.5b Témoigne du degré de piétinement dû à la pression des visiteurs
Perturbation	No. d'individus d'espèces sensibles aux perturbations	Recensement des espèces animales	Bibby <i>et al.</i> 1992 Les données collectées au niveau local doivent être comparées à des données plus générales ou à des témoins (par exemple, décomptes lors de jours/épouques sans visiteurs) Permet des comparaisons entre sites
	Modifications du comportement animal (abandon du site, des nids, etc.) Destruction des nids; faux de prédation	Techniques d'étude du comportement animal Mesure du succès de reproduction et du taux de prédation	Indicateurs d'alerte tardive



Tableau 5.6 Suivi des changements dus à l'introduction d'espèces exogènes.

Groupe	Indicateurs	Techniques	Références et commentaires
Effets sur les espèces indigènes	Les indicateurs et les techniques dépendent du groupe auquel appartient l'espèce introduite (végétaux, invertébrés, poissons, batraciens, reptiles, oiseaux, mammifères)	Techniques d'étude de la végétation Techniques d'étude de la faune	Moore & Chapman 1986 Southwood 1978; Pollard & Yates 1993 Lam Hoai & Lasserre 1984; Potts & Reay 1987 Heyer <i>et al.</i> 1994; Bibby <i>et al.</i> 1992 Davies 1982
Effets sur les espèces indigènes	Reproduction inter-espèces	Les techniques dépendent du groupe Recensement des hybrides (par exemple, <i>Oryza jamaicensis</i>).	Voir ci-dessus
Effets sur l'hydrologie	Prédation Compétition Niveau de la nappe phréatique	Les techniques dépendent du groupe: techniques d'échantillonnage de la végétation, recensement des espèces indigènes proies ou concurrentes, etc. Mesure au moyen de piézomètres, dans des puits (par exemple, changements dus aux plantations d' <i>Eucalyptus</i>) Voir tableau 5.2 (changements du régime hydrologique)	Voir ci-dessus Voir tableau 5.2 (changements du régime hydrologique)
Effets sur la structure de l'habitat	Régime hydrologique Structure de la végétation	Voir tableau 5.2 (changements du régime hydrologique) Techniques d'étude de la végétation Voir tableaux 5.1 et 5.5b	Voir tableau 5.2 (changements du régime hydrologique) Voir tableaux 5.1 et 5.5b

6 Bibliographie du suivi



Pere Tomàs Vives et Nick Riddiford

On trouvera ci-après une bibliographie des publications et documents ayant trait au suivi des zones humides. Certaines des références présentées examinent l'utilisation des différents indicateurs dans des circonstances données; d'autres décrivent des méthodes et techniques précises pouvant être utilisées pour mesurer certains indicateurs; d'autres encore exposent des études de cas d'application de ces indicateurs au suivi des zones humides. L'abondance des publications fait qu'il est impossible d'en fournir une liste complète. Toutefois, la bibliographie ci-après énumère les ouvrages décrivant un grand nombre de techniques.

Cette bibliographie a été préparée à partir d'une bibliographie préliminaire sur le suivi établie par Aura Penloup pour le sous-projet MedWet Inventaire et Suivi et publiée séparément sous forme d'un document interne de MedWet (Penloup 1995). Un certain nombre de documents de ce travail préliminaire figurent dans ce chapitre avec des références émanant de recherches bibliographiques complémentaires et des publications recommandées par les auteurs de ce guide.

Les références sont groupées par grandes sections. Il n'a pas été possible de suivre la structure choisie pour les chapitres précédents et de classer les publications par "type de changement écologique". En effet, la bibliographie contient des publications qui traitent de toute une gamme de sujets et questions, des techniques aux indicateurs, qui n'entrent pas facilement dans les rubriques précédemment utilisées; de plus, certaines d'entre elles concernent plusieurs types de changements écologiques. Il est conseillé à l'utilisateur de commencer par la rubrique la plus appropriée (par exemple pour l'impact du pâturage, on se reportera ainsi d'abord à 6.6 Plantes et végétation). Dans chaque rubrique les références sont classées par ordre alphabétique, ce qui aidera le lecteur à trouver des références comme celles fournies au chapitre 5 sans trop de recherche, même si elles n'apparaissent pas dans la rubrique attendue.

Certaines références sont accompagnées de commentaires. Ces informations complémentaires doivent aider le lecteur à identifier les sources et à connaître la portée des informations. La sélection peut sembler quelque peu arbitraire mais les articles choisis ont été considérés comme particulièrement utiles par l'équipe ayant participé à ce programme au cours des deux dernières années. Dans le cas des références difficiles à obtenir (documents non publiés ou épuisés), on a indiqué le nom d'une bibliothèque ou d'une autre source où le document pourrait être disponible.



6.1 Généralités



Les références qui suivent fournissent un aperçu général des zones humides et de leur suivi. Elles ne décrivent pas nécessairement une technique précise.

Clarke, R. (ed.). 1986. *The handbook of ecological monitoring*. A GMS/UNEP publication. Clarendon Press, Oxford. 298 pp.

Goldsmith, F.B. (ed.). 1991. *Monitoring for conservation and ecology*. Chapman & Hall, London, UK. 575 pp.

Goldsmith, F.B. 1993. *Monitoring for Conservation*. In: F.B. Goldsmith and A. Warren (eds.). *Conservation in Progress*. John Wiley and Sons, Chichester, UK. pp 241–253.

Finlayson, C.M. 1994. *Monitoring ecological change in wetlands*. In: G. Aubrecht, G. Dick and C. Prentice (eds.). *Monitoring of ecological change in wetlands of Middle Europe*. Stapfia 31, Linz, Austria and IWRB Publication 30, IWRB, Slimbridge, UK. pp 163–180.

Hellawell, J.M. 1986. *Biological Indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management*. Elsevier Applied Science Publishers, London, UK. 546 pp.

Hook, D.D. et al. 1988. *The Ecology and Management of Wetlands*, vols. 1 and 2. Croom Helm, London, UK, and Timber Press, Portland, Oregon, USA. 592 pp and 394 pp.

Krebs, C.J. 1972. *Ecology: The Experimental Analysis of Distribution and Abundance*. Harper & Row, New York, USA.

Maher, W.A., P.W. Cullen and R.H. Norris. 1994. *Framework for designing sampling programmes*. *Environmental Monitoring and Assessment* 30: 139–162.

Maltby, E. 1986. *Waterlogged Wealth*. Earthscan. London, UK. 200 pp.

Margalef, R. 1983. *Limnología*. Ediciones Omega, Barcelona, Spain. 1010 pp.

Margalef, R. 1986. *Ecología*. Ediciones Omega, Barcelona, Spain. 951 pp.

Mitsch, W.J. and J.G. Gosselink. 1993. *Wetlands*. Second edition. Van Nostrand Reinhold, New York, USA. 722 pp.

Spellerberg, I.F. 1991. *Monitoring Ecological Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 334 pp.

6.2 Multidisciplinaire



Les références portant sur différents types de techniques sont regroupées ici afin d'éviter les répétitions. Il s'agit parfois de compilations de chapitres ou de comptes-rendus de conférences, ateliers, etc. Certaines des références mentionnées dans la section 6.1 devraient également être consultées, par exemple Hellawell 1986, Spellerberg 1991, Clarke 1991.

Aubrecht, G., G. Dick and C. Prentice (eds.). 1994. *Monitoring of Ecological Change in Wetlands of Middle Europe*. Stapfia 31, Linz, Austria and IWRB Publication 30, IWRB, Slimbridge, UK. 224 pp. [Compte-rendu d'un atelier international, Linz, Autriche, 26–30 octobre 1993].

Suivi des lacs et étangs; suivi des tourbières; suivi des fleuves et plaines d'inondation.

Adresse: *Wetlands International, Slimbridge, Glos, GL2 7BX, Royaume-Uni*.

Baker, J.M. and W.J. Wolff (eds.). 1987. *Biological Surveys of Estuaries and Coasts*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 449 pp.

Planification des enquêtes biologiques; télédétection;

marais salés; flore et macrofaune des sédiments intertidaux; macrofaune des sédiments subtidaux en utilisant des techniques de télédétection; méiofaune; roches intertidales; roches subtidales et sédiments peu profonds en utilisant la plongée sous-marine; bactéries et champignons; plancton; poissons; oiseaux; références pour l'identification pour la plupart des groupes; conseils en matière de sécurité.

Chalmers, N. and P. Parker. 1985. *The OU Project Guide. Fieldwork and Statistics for Ecological Projects*. Field Studies Council Pub., Oxford, UK. 106 pp.

Planification des projets écologiques; bases statistiques;

techniques de travail de terrain; répartition de l'abondance des organismes non mobiles (échantillonnage, méthodes subjectives, quadrats, transects, rendement); répartition de l'abondance des organismes mobiles (capture-recapture, échantillonnage par prélèvement, estimation directe et indirecte); techniques de capture des organismes mobiles (invertébrés et plantes aquatiques flottantes, invertébrés dans l'atmosphère et sur la végétation, invertébrés du sol ou de la litière); mesure des facteurs environnementaux (température, vent, précipitations, humidité relative, lumière, pH, salinité, débit d'eau, niveau d'oxygène dans l'eau, facteurs pédologiques, indices biotiques); techniques statistiques; fournisseurs de matériel de terrain.

Adresse: *Field Studies, Nettlecombe Court, Williton, Taunton, Somerset TA4 4IT, RU, ou The Richmond Publishing Company, Orchard Road, Richmond, Surrey, Royaume-Uni*.





Environmental Protection Agency. 1992. *Monitoring guidance for the National Estuary Program*. Final. EPA 842-B-92-004, United States Environmental Protection Agency (US EPA). 245 pp.

Aide à la conception, à la mise en oeuvre (échantillonnage, méthodes, analyse des données, interprétation des données, considérations statistiques) et à l'évaluation des programmes de suivi pour l'US National Estuary Program; caractéristiques physiques et chimiques de la colonne d'eau; granulométrie et chimie des sédiments; plancton (biomasse, productivité, structure/fonction communautaire); végétation aquatique; structure des communautés de la faune benthique et de l'ichtyofaune; pathobiologie des poissons et des fruits de mer; bioaccumulation; agents pathogènes bactériens et viraux; indices biologiques. Importante bibliographie sur tous ces aspects.

Adresse: *Office of Water; Office of Wetlands, Oceans and Watersheds; US Environmental Protection Agency, 401 M. Street, S.W., Washington, D.C. 20460, États-Unis.*

Leibowitz, N.C., L. Squires and J.P. Baker. 1991. *Research Plan for Monitoring Wetland Ecosystems*. EPA/600/3-91/010, United States Environmental Protection Agency (US EPA) and Environmental Monitoring and Assessment Program (EMAP). 157 pp.

Méthode d'évaluation quantitative de l'état actuel et de l'évolution à long terme d'une zone humide à l'échelle régionale et nationale: conception de programmes de suivi et d'évaluation environnementales pour les zones humides; conception de réseaux de suivi; indicateurs de l'état d'une zone humide; préparation de l'échantillonnage sur le terrain; analyse; approche logistiqu; garantie de qualité; gestion de l'information; coordination; résultats que l'on est en droit d'attendre; recherches futures et opportunité.

Adresse: *Environmental Research Laboratory, US Environmental Protection Agency, 200 SW 35th Street, Corvallis, Oregon 97333, États-Unis.*

Madgwick, J. and R. Serafin. 1993. *Assessing and monitoring changes in wetland parks and protected areas*. Leading Edge Press & Publishing, North Yorkshire for Broads Authority, Norfolk, UK; Heritage Resource Centre, Waterloo, Canada; and University of East Anglia, Norwich, UK. 123 pp. [Compte-rendu d'un atelier sur les zones humides tenu dans les Broads, 9-13 octobre 1992].

Etudes de cas de gestion, restauration, suivi et évaluation dans des zones humides protégées.
Adresse: *Broads Authority, Thomas Harvey House, 18 Colegate, Norwich, Norfolk, NR3 1BQ, Royaume-Uni.*

Moser, M., R.C. Prentice and J. van Vessum (eds.). 1993. *Waterfowl and Wetland Conservation in the 1990s - A Global Perspective*. IWRB Special Publication 26, IWRB, Slimbridge, UK. 248 pp. [Compte-rendu d'un symposium du BIROE, St Petersburg Beach, Floride, États-Unis, 12-19 novembre 1992].

Oiseaux d'eau en tant que bio-indicateurs; techniques du biotest; utilisation des images satellitaires.

Adresse: *Wetlands International, Slimbridge, Glos., GL2 7BX, Royaume-Uni.*

6.3 Hydrologie



Brassington, R. 1988. *Field Hydrology*. Open University Press, Milton Keynes, UK.

Custodio, E. and M.R. Llamas. 1983. *Hidrología Subterránea* (2 volumes). Editorial Omega, Barcelona, Spain. 2359 pp.

Dunne, T. and L.B. Leopold. 1978. *Water in Environmental Planning*. Freeman, San Francisco, USA. Principes sous-tendant le rôle de l'eau dans la planification environnementale; observations de terrain et calculs simples pouvant permettre d'éviter des erreurs coûteuses lors de la planification et de l'exécution de projets environnementaux; description et discussion des processus et méthodes utilisées en hydrologie, géomorphologie et qualité des cours d'eau.

Gilman, K. 1994. *Hydrology and Wetland Conservation*. Wiley, Chichester, UK.

Aspects de l'hydrologie des zones humides revêtant une importance dans le cadre de la gestion de l'eau et de l'évaluation des menaces; description d'une gamme de techniques de mesure des paramètres hydrologiques, allant de techniques simples de terrain (telles que la mesure du niveau des eaux souterraines) à la quantification du bilan hydrique au moyen d'un lysimètre contrôlé par ordinateur.

Kusler, J. and G. Brooks. 1988. *Wetland Hydrology*. Assoc. of State Wetland Managers, Berne, New York, USA.

Manuel destiné à aider les gestionnaires de zones humides (législateurs, planificateurs, chercheurs, gestionnaires de l'avifaune) à comprendre l'hydrologie des zones humides, ses liens avec les différentes fonctions des zones humides, l'impact de diverses activités sur l'hydrologie et les approches permettant d'atténuer ou de compenser ces impacts.

Maltby, E., D.V. Hogan and G.A. Oliver. 1995. Wetland soil hydrology and ecosystem functioning. In: J.M.R. Hughes and A.L. Heathwaite (eds.). *Hydrology and hydrochemistry of British wetlands*. John Wiley and Sons. pp 325-262.



- Newson, M. 1994. *Hydrology and the River Environment*. Clarendon Press, Oxford, UK.
Description des bases de la circulation de l'eau et des modes de ruissellement et analyse des principales façons dont la présence et les activités humaines modifient ces processus; présente un certain nombre de cadres méthodologiques d'approche des problèmes par la collecte et l'analyse des données, les prévisions et l'utilisation de valeurs non numériques telles que les attitudes, préférences, politiques et législations.
- Shaw, E.M. 1983. *Hydrology in Practice*. Van Nostrand Reinhold, Wokingham, UK.
Processus hydrologiques, l'accent étant mis sur les méthodes de mesure; techniques analytiques; référence à d'autres publications originales et textes standard sur des sujets spécialisés.
- Ward, R.C. 1975. *Principles of Hydrology*. Second edition. MacGraw-Hill, London, UK.
- Wilson, E.M. 1974. *Engineering Hydrology*. The MacMillan Press Ltd., London, UK.

6.4 Qualité de l'eau



- Allen, S.E. (ed.). 1974. *Chemical Analysis of Ecological Materials*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK.
- Allen, S.E., H.M. Grimshaw and A.P. Rowland. 1986. *Chemical Analysis*. In: P.D. Moore and S.B. Chapman (eds.). *Methods in Plant Ecology*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK. pp 285–344.
Description détaillée des méthodes d'analyse chimique; analyse des sols: prélèvement, transport, stockage, détermination de l'humidité, tamisage et pilage. pH, fraction extractible, analyse des cations et des éléments nutritifs non métalliques; analyse des végétaux: prélèvement, transport, stockage, préparation pour l'analyse, minéralisation, digestion acide; analyse de l'eau: prélèvement, stockage, traitement préliminaire, conductivité, pH, alcalinité, Al, Ca, C, Cl, Cu, Fe, Mg, Mn, N, P, K, Si, Na, S, Zn; procédures instrumentales: colorimétrie, spectroscopie de flamme.
- APHA. 1989. American Public Health Association, American Water Works Association and Water Pollution Control Federation, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 17th edition. American Public Health Association, Washington, D.C., USA.
- Baker, C.J. and E. Maltby. 1995. Nitrate removal by river marginal wetlands: factors affecting the provision of a suitable denitrification environment. In: J.M.R. Hughes and A.L. Heathwaite (eds.). *Hydrology and hydrochemistry of British wetlands*. John Wiley and Sons. pp 291–313.
- Brooking, D.G. 1988. *Eh-pH diagrams for geochemistry*. Springer-Verlag, Berlin, Germany. 176 pp.
- CEMAGREF-IARE. 1994. *Recherche d'indicateurs de niveaux trophiques dans les lagunes méditerranéennes: Analyse bibliographique*. Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, Lyon, France. 116 pp.
Bibliographie couvrant de nombreuses méthodes pour le suivi régulier des eaux lacustres. Méthodes examinées: éléments nutritifs dans l'eau et les sédiments; potentiel rédox; phytoplancton: biomasse, production, classification systématique; macrophytes: présence/absence, biomasse, classification systématique; macrofaune benthique: richesse en espèces, biomasse, indices concis, rapports entre organismes filtrants/détritivores et entre mollusques/polychètes; le coût de chaque méthode est indiqué en annexe.
Adresse: CEMAGREF, Domaine de Lavalette - BP 5095/36, rue J. F. Breton, 34033 Montpellier, Cedex 1, France.
- Chovanec, A. 1994. Water quality monitoring in Austria. In: G. Aubrecht, G. Dick and C. Prentice (eds.). *Monitoring of Ecological Change in Wetlands of Middle Europe*. Stapfia 31, Linz, Austria and IWRB Publication 30, IWRB, Slimbridge, UK. pp 137–150.
Système de suivi qualitatif de l'eau à l'échelle nationale pour les eaux courantes en Autriche: conception du réseau de suivi, choix des variables, échantillonnage, gestion des données et résultats de la première phase de recherche.
- Empain, A. 1976. Estimation de la pollution par les métaux lourds dans la Somme par l'analyse des bryophytes aquatiques. *Bulletin Français de la Pisciculture*: 48: 138–142.
- Environmental Protection Agency. 1985. *Methods for measuring the acute toxicity of effluents to freshwater and marine organisms*. Third edition. EPA/600/4-85/013, Environmental Monitoring and Support Laboratory, United States Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, USA.
- FAC (Eidg. Forschungsanstalt für Agriculturnchemie und Umwelthygiene). 1989. *Methoden für Bodenuntersuchungen*. Schriftenreihe FAC, Nr. 5. Liebfeld-Bern, Switzerland.
Description détaillée des méthodes d'étude et de suivi pédologiques en Suisse: prélèvement et transport des échantillons, stockage, analyse physique et chimique, méthodes de détermination; structure et densité des sols, alcalinité, matières organiques,



analyse des cations, potentiel rédox, pH, concentrations en éléments nutritifs et en métaux lourds.

Adresse: *Institute für Umweltschutz und Landschaft (IUL): Schwarzenburg Str. 155. CH-3097. Liebefeld-Bern, Suisse.*

Farrington, J.W., E.D. Goldberg, R.W. Risebrough, J.H. Martin and V.T. Bowen. 1983. U.S. "Mussel Watch" 1976-1978: An overview of the trace-metals, DDE, PCB, hydrocarbon, and artificial radionuclide data. *Environmental Science Technology* 17: 490-496.

Ferraro, S.P., H. Lee, R.J. Ozretich and D.T. Specht. 1990. Predicting bioaccumulation potential: A test of fugacity-based model. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 19: 386-394.

Gasparini, R. 1983. Water quality and the discharge of cooling waters into rivers, lakes and coastal waters. In: S.H. Kenkins and P. Schjodtz Hansen (eds.). Cooling water discharges from coal-fired power plants: water pollution problems. *Water Science and Technology* 15.

Goldberg, E.D. 1975. The mussel watch - A first step in global marine monitoring. *Marine Pollution Bulletin* 6 (7): 111.

Goldberg, D.E., V.T. Bowen, G.H. Farrington, J.H. Martin, P.L. Parker, R.W. Risebrough, W. Robertson, E. Schneider and E. Gamble. 1978. The mussel watch. *Environmental Conservation* 5: 101-125.

Golterman, H.L., R.S. Clymo and M.A.N. Ohnstad. 1978. *Methods for Physical and Chemical Analysis of Fresh Water*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK.

Guitart, R., J. To-Figueras, R. Mateo, A. Bertolero, S. Cerradello and A. Martínez-Vilalta. 1994. Lead Poisoning in Waterfowl from the Ebro Delta, Spain: Calculation of Lead Exposure Thresholds for Mallards. *Arch. Environm. Contam. Toxicol.* 27: 289-293.

Gupta, S.K. and H. Häni. 1989. *Methodik zur Bestimmung biologisch relevanter Schwermetallkonzentrationen im Boden und Überprüfung der Auswirkungen auf Testpflanzen sowie Mikroorganismen in belasteten Gebieten. Schlussbericht des COST-Projektes 681. Schriftenreihe FAC (Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene), Nr. 2. Liebefeld-Bern, Switzerland. 54 pp.*

Description détaillée des méthodes de mesure des concentrations en métaux lourds dans les sols, les plantes et les micro-organismes en Suisse: prélèvement et transport des échantillons, stockage, analyse chimique.

Adresse: *Institute für Umweltschutz und Landschaft (IUL): Schwarzenburg Str. 155. CH-3097. Liebefeld-Bern, Suisse.*

Heath, A. 1987. *Water Pollution and Fish Physiology*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.

Hellawell, J.M. 1986. *Biological Indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management*. Elsevier Applied Science Publishers, London, UK. 546 pp. Indicateurs biologiques; stress environnemental; effets des perturbations physiques; effets des substances toxiques; évaluations de terrain de la qualité environnementale; surveillance biologique dans le cadre de la gestion environnementale; indices biotiques.

Kabata-Pendias, A. and H. Pendias. 1984. *Trace elements in soils and plants*. CRC - Press, Boca Raton, Florida, USA. 315 pp.

Lyman, W.J., W.F. Reehl and D.H. Rosenblatt. 1982. *Handbook of chemical property estimation methods. Environmental behaviour of organic compounds*. McGraw-Hill, New York, USA.

Mackereth, F.J.H., J. Heron and J.F. Talling. 1978. *Water analysis: some revised methods for limnologists*. Scientific Publications of the Freshwater Biological Association 36, UK. 118 pp.

Maher, W.A. and R.H. Norris. 1990. Water Quality Assessment Programmes in Australia: deciding what to measure, and how and where to use bioindicators. *Environmental Monitoring and Assessment* 14: 115-130.

Malins, D.C. and A. Jensen. 1988. *Aquatic Toxicology*. Elsevier Science Publisher, Amsterdam, The Netherlands.

McCarthy, J.F. and L.R. Shugart (eds.). 1990. *Biomarkers of Environmental Contamination*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.

McLean, R.O. and A.K. Jones. 1975. Studies of tolerance of heavy metals in the flora of the rivers Ystwyth and Clarach. *Freshwater Biology* 5: 431-444.

Merian, E. (ed.) 1989. *Metals and their compounds in the environment - Occurrence, analysis and biological relevance*. VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, Germany.

Relations entre les métaux et l'environnement: origine, cycles, présence dans les différents compartiments: sol, eau, air, déchets, plantes, animaux, etc., seuils de tolérance; description détaillée pour 25 métaux: caractéristiques et méthodes d'analyse, origine, émissions, ingestion, accumulation, absorption, effets sur les végétaux, les animaux et les hommes.



- Montalbano, F. and T.C. Hines. 1978. An improved X-ray technique for investigating ingestion of lead by waterfowl. *Southeastern Assoc. Fish & Wildl. Agencies Ann. Conf. Proc.* 32: 364–368.
- Mudge, G.P. 1984. Densities and settlement rates of spent shotgun pellets in British wetland soils. *Environmental Pollution Ser B* 8: 299–318.
- Ormerod, S.J. and S.J. Tyler. 1993a. Birds as indicators of changes in water quality. In: R.W. Furness and J.D.D. Greenwood (eds.). *Birds as monitors of environmental change*. Chapman & Hall, London, UK. pp 179–216.
- Les oiseaux en tant qu'indicateurs de la pollution des systèmes d'eau douce; accumulation de PCB et d'organochlorés dans les oeufs d'oiseaux; les oiseaux en tant qu'indicateurs de l'acidification des eaux de surface.
- Ormerod, S.J. and S.J. Tyler. 1993b. Further studies of the organochlorine content of Dipper *Cinclus cinclus* eggs: local differences between Welsh catchments. *Bird Study* 40: 97–106.
- Examen et interprétation des différences de teneur en organochlorés des oeufs dans deux sous-bassins versants adjacents au Pays de Galles. Informations en particulier sur les divers polychlorobiphényles (PCB). Le document conclut que les oeufs de cincles plongeurs peuvent contribuer à la détermination des modes locaux de contamination des cours d'eau par certains organochlorés persistants.
- Pain, D.J. 1989. Haematological parameters as predictors of blood lead and indicators of lead poisoning in the Black Duck (*Anas rubripes*). *Environmental Pollution* 60: 67–81.
- Pain, D.J. 1991. Lead shot densities and settlement rates in Camargue marshes, France. *Biological Conservation* 57: 273–286.
- Peakall, D.B. and H. Boyd. 1987. *Birds as bio-indicators of environmental conditions*. Chairmen's introduction, ICBP Technical Publication 6: 113–118.
- Rosenkranz, D., G. Bachmann, G. Einzele and E.M. Harress (eds.). 1988. *Bodenschutz. Ergänzbare Handbuch de Massnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser*. Herich Schmidt Verlag GmbH, Berlin, Germany.
- Mesures de prévention et recommandations pour la protection, la préservation et la restauration des sols, des eaux souterraines et des paysages; intervention et valeurs cibles pour les paramètres figurant sur la "liste des Pays-Bas (Niederländische Liste)": métaux, composés inorganiques, composés aromatiques, HAP, PCB, pesticides.
- Sigg, L. 1985. Metal Transfer Mechanisms in lakes: the role of settling particles. In: W. Stumm (ed.) *Chemical Processes in Lakes*. Wiley Interscience, New York, USA.
- Smith, K.A. (ed.). 1983. *Soil Analysis – Instrumental Techniques and Related Procedures*. Dekker, Basel, Switzerland.
- Spellerberg, I.F. 1991. Freshwater Biological Monitoring. In: I.F. Spellerberg. *Monitoring Ecological Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. pp 215–237.
- Suivi biologique et chimique; qualité de l'eau; suivi des effets des effluents aqueux des raffineries; classification des cours d'eau et des lacs.
- Wedepohl, R.E., D.R. Knauer, G.B. Wolbert, H. Olem, P.J. Garrison and K. Kepford. 1990. *Monitoring Lake and Reservoir Restoration*. EPA 440/4-90-007, prepared by the North American Lake Management Society for the US Environmental Protection Agency (Technical supplement to the lake and reservoir restoration guidance manual), Washington, D.C., USA. 140 pp.
- Directives pour la conception et la mise en oeuvre de programmes de suivi de projets de restauration et de protection des lacs; suivi sur le site: prélèvement, manipulation et conservation des échantillons; chimie de l'eau, chlorophylle a, transparence, mesures de débit, etc. Grandes lignes de programmes de suivi pour certaines techniques particulières de restauration des lacs, telles que le renouvellement de l'eau (dilution/vidange), la circulation artificielle, la manipulation des réseaux trophiques, le dragage, l'abaissement du niveau d'eau, la lutte mécanique ou chimique contre les espèces végétales indésirables, etc.; suivi des bassins versants: inventaires des bassins versants, suivi limité des torrents, suivi global des bassins versants, suivi à long terme.
- Adresse: Clean Lakes Programme (WH-583); US Environmental Protection Agency; 401 M. Street, S.W., Washington, D.C. 20460, Etats-Unis.
- Yasuno, M. and B.A. Whitton. 1986. Biological monitoring for aquatic pollution. In: J. Salunki (ed.). *Biological monitoring of the environment: bioindicators. A manual of methods*. IUBS Monographs Series, 1. IRL Press Limited, Oxford, UK, pp 57–66.
- Synthèse des méthodes de suivi biologique utiles en cas de pollution aquatique.
- Adresse: Union Internationale des Sciences Biologiques; 51, bd de Montmorency; 75016 Paris, France.



6.5 Indicateurs biologiques

Keddy, P.A. 1991. Biological monitoring and ecological prediction: from nature reserve management to national state of the environment indicators. In: F.B. Goldsmith (ed.). *Monitoring for Conservation and Ecology*. Chapman & Hall, London, UK. pp 249–267.

Choix des variables d'état à mesurer; suivi biologique à l'échelle nationale; prévisions, suivi et prise de décision.

Keddy, P.A. H.T. Lee and I.C. Wisheu. 1992. Choosing indicators of ecosystem integrity: Wetlands as a model system. In: S. Woodley, J. Kay and G. Francis (eds.). *Ecological integrity and the management of ecosystems*. Ste Lucie Press. pp 61–79.

Roeck, U., M. Trémolières, A. Exinger and R. Carbiener. 1991. Les mousses aquatiques, bioindicateurs du niveau de pollution chimique. Utilisation des mousses aquatiques dans une étude sur le transfert du mercure en tant que descripteur du fonctionnement hydrologique (échanges cours d'eau – nappe) en plaine d'Alsace. *Hydroécologie appliquée* 3 (2): 241–256.

Techniques spectrophotométriques appliquées à l'utilisation des mousses comme bio-indicateurs de pollution chimique (Hg) dans les cours d'eau.

Salinki, J., D. Jeffrey and G.M. Hughes (eds.). 1986. *Biological monitoring of the environment. A manual of methods*. IUBS Monographs 1, IRL Press Limited, Oxford, UK. 73 pp.

Examen des différents groupes de bio-indicateurs (micro-organismes, végétaux, animaux, cellules biologiques) pour le suivi de l'état de l'environnement.

Adresse: *Union Internationale des Sciences Biologiques*; 51, bd de Montmorency; 75016 Paris, France.

Spellerberg, I.F. 1991. Biological Indicators. In: I.F. Spellerberg. *Monitoring Ecological Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. pp 93–111.

Indicateurs végétaux et animaux; détecteurs et indicateurs de perturbation, accumulateurs, statut des indicateurs biologiques dans les programmes de suivi.

Zakharov, V.M. 1993. Biotest as an integrated technique to monitor the degradation and recovery of wetlands and the status of waterfowl populations. In: M. Moser, R.C. Prentice and J. van Vessum (eds.). *Waterfowl and Wetland Conservation in the 1990s – A Global Perspective*. IWRB Special Publication 26, IWRB, Slimbridge, UK. pp 43–47.

Présentation de la méthode du biotest.

Zakharov, V.M. and G.M. Clarke (eds.). 1993. *Biotest: a new integrated biological approach for assessing the condition of natural environments*. Moscow Affiliate of the International Biotest Foundation, Moscow, Russia. 59 pp.

Description de la méthode du biotest (tests morphologiques, génétiques, physiologiques, biochimiques et immunologiques); application de la méthode du biotest (agents anthropogènes, changements dans l'habitat, résolution intégrée des problèmes); description des approches.

Adresse: *Moscow Affiliate of the International Biotest Foundation, Institute of Developmental Biology, Russian Academy of Sciences, 26 Vavilov St., Moscow, 117808, Russie*.

6.6 Plantes et végétation

Bhadresa, R. 1986. Faecal Analysis and Exclosure Studies. In: P.D. Moore and S.B. Chapman (eds.). *Methods in Plant Ecology*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK. pp 61–71.

Analyses fécales; collecte, analyse, identification et quantification des fragments; essais d'alimentation; études avec exclos: emplacement et conception.

Braun-Blanquet, J. 1932. *Plant sociology: The Study of Plant Communities*. (English language reprint 1966). MacGraw-Hill, New York, USA.

Crawley, M.J. 1983. *Herbivory: The dynamics of plant-animal interactions*. Studies in Ecology vol. 10, Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK. 437 pp.

Dalby, D.H. 1987. Salt marshes. In: J.M. Baker and W.J. Wolff (eds.). *Biological Surveys of Estuaries and Coasts*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. pp 38–80.

Planification de l'enquête; repères et points de référence; effets du piétinement; préparation de cartes de base; cartographie de la végétation; mesures de l'abondance des espèces végétales; marquage de certains spécimens; études par transects; espèces indicatrices.

Duncan, P. 1992. *Horses and Grasses. The Nutritional Ecology of Equids and their Impact on the Camargue*. Ecological Studies 87, Springer-Verlag, New York, USA. 287 pp.

Evans, D.G. 1977. The interpretation and analysis of subjective body condition scores. *Anim. Prod.* 26 (2): 119–126.

Goldsmith, F.B., C.M. Harrison and A.J. Morton. 1986. Description and Analysis of the Vegetation. In:



P.D. Moore and S.B. Chapman (eds.). *Methods in Plant Ecology*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK. pp 437–524.

Dynamique de la végétation; description de la végétation; méthodes d'échantillonnage; indices de diversité; analyse de la végétation; analyse de la distribution de la végétation, cartographie de la végétation; gradients environnementaux et de végétation.

Goldsmith, F.B. 1991. Vegetation Monitoring. In: F.B. Goldsmith (ed.). *Monitoring for conservation and ecology*. Chapman & Hall, London, UK. pp 77–86.

Echantillonnage de la végétation; emplacement des échantillons; mesures d'abondance; quadrats; modes d'échantillonnage, cartographie.

Greig-Smith, P. (ed.). 1983. *Quantitative Plant Ecology*. Third edition. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK. 256 pp.

Description des méthodes d'étude et d'analyse statistique des données végétales: échantillonnage, corrélation, ordination.

Hutchings, M.J. 1991. Monitoring plant populations: census as an aid to conservation. In: F.B. Goldsmith (ed.). *Monitoring for conservation and ecology*. Chapman & Hall, London, UK. pp 61–76.

Méthodes de suivi des peuplements végétaux; suivi de peuplements d'espèces rares (comme les orchidées).

Kennedy, K.A. and P.A. Addison. 1987. Some considerations for the use of visual estimates of plant cover in biomonitoring. *Journal of Ecology* 75: 151–157.

Kershaw, K.A. and J.H.H. Looney. 1985. *Quantitative Plant Ecology*. Arnold, London, UK.

Moore, P.D. and S.B. Chapman (eds.). 1986. *Methods in Plant Ecology*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK. 589 pp.

Production et bilan des éléments nutritifs; analyses fécales et études avec exclos; échanges hydriques et stress; nutrition minérale; description de sites et sols; analyse chimique des sols et de l'eau; analyse des données; biologie des peuplements végétaux; description et analyse de la végétation; historique du site.

Wells, T.C.E. and J.H. Willems (eds.). 1991. *Population Ecology of Terrestrial Orchids*. S.P.B. Academic Publishing, The Hague, Netherlands.

Wolff, W.J. 1987. Flora and macrofauna of intertidal sediments. In: J.M. Baker and W.J. Wolff (eds.).

Biological Surveys of Estuaries and Coasts. Cambridge University Press, Cambridge, UK. pp 81–105.

Etudes qualitatives et quantitatives; localisation des échantillons; transport, mesure des facteurs environnementaux.

6.7 Invertébrés



Hartley, J.P. and B. Dicks. 1987. Macrofauna of subtidal sediments using remote sampling. In: J.M. Baker and W.J. Wolff (eds.). *Biological Surveys of Estuaries and Coasts*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. pp 106–130.

Méthodes d'étude de l'abondance et de la répartition des organismes benthiques dans les sédiments mous côtiers et estuariens; stratégies d'échantillonnage; matériel d'échantillonnage; mesures corrélatives.

Pollard, E. 1991. Monitoring butterfly numbers. In: F.B. Goldsmith (ed.). *Monitoring in conservation and ecology*. Chapman & Hall, London, UK. pp 87–111.

Modes de suivi des papillons; étude de cas; limites et potentiel du suivi des papillons.

Pollard, E. and T.J. Yates. 1993. *Monitoring butterflies for ecology and conservation*. Chapman & Hall, London, UK. 274 pp.

Méthodes de suivi, validation de la méthode; répartition locale; fluctuation des effectifs; colonisation et extinction; effets de la météorologie; migrations; époques de vols; papillons rares; études de site; écologie des populations; réchauffement climatique.

Riddiford, N.J. and K. Bowey. 1992. S'Albufera butterfly and dragonfly transect methodology. In: N.J. Riddiford and F. Perring (eds.). *Monitoring for Environmental Change. The Earthwatch Europe S'Albufera Project, A summary report of the third season's work 1991*. Earthwatch Europe, Oxford, UK. pp 54–59.

Description d'une technique d'étude des papillons et libellules, par transects.

Adresse: Earthwatch Europe, Belsyre Court, 57 Woodstock Road, Oxford OX2 6HU, Royaume-Uni.

Southwood, T.R.E. 1978. *Ecological Methods, with particular reference to study of insect populations*. Second edition. Methuen & Co Ltd, London, UK. 391 pp.

Etude des populations animales et échantillonnage dans l'atmosphère, les végétaux, les vertébrés hôtes, les habitats d'eau douce, le sol et les détritiques; techniques de marquage; estimations de





populations par méthodes relatives; estimations basées sur les produits et effets; estimation de la natalité, de la mortalité et de la dispersion; tables de vie par âge; modèles de prévisions des populations; modélisation; description de la diversité et des habitats; bilans énergétiques.

Tett, P.B. 1987. Plankton. In: J.M. Baker and W.J. Wolff (eds.). *Biological Surveys of Estuaries and Coasts*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. pp 280–343.

Hydrographie; description générale du plancton; méthodes d'échantillonnage; analyses microscopiques; biomasse microplanctonique; analyse et présentation des données; mesure de la chlorophylle.

6.8 Poissons



Arrignon, J. 1970. *Aménagement piscicole des eaux intérieures*. SEDETEC, S.A. Eds., Paris, France. 643 pp.

Bagenal, T.B. 1978. *Methods for Assessment of Fish Populations in Fresh Waters*. Third edition. IBP Handbook 3, Blackwell, Oxford, UK.

Brander, K. 1975. *Guidelines for Collection and Compilation of Fishery Statistics*. FAO Fisheries Technical Paper 148, FAO Fisheries Department, Rome, Italy.

Gerkin, S.D. 1978. *Ecology of Freshwater Fish Production*. Halstead Press, New York, USA.

Hyslop, E.J. 1980. Stomach contents analysis – a review of methods and their application. *J. Fish. Biol.* 17: 411–429.

Lam Hoai, T. and G. Lasserre. 1984. Méthodes d'évaluation des ressources des lagunes côtières. In: J.M. Kapetsky and G. Lasserre (eds.) *Aménagement des pêches dans les lagunes côtières*. Studies and Reviews, General Fisheries Council for the Mediterranean (GFCM), 61(1): 143–159.

Potts, G.W. and P.J. Reay. 1987. Fish. In: J.M. Baker and W.J. Wolff (eds.). *Biological Surveys of Estuaries and Coasts*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. pp 342–373.

Techniques d'observation: observation aérienne, observation et photographie sous-marine, études acoustiques; techniques de capture: nasses, filets, méthodes de capture-recapture, études portant sur les oeufs et les alevins; analyse des échantillons: détermination du régime et de l'âge, traitement des données; utilisation des statistiques de pêche.

6.9 Batraciens/Reptiles



Beebee, T.J.C. 1996. *Ecology and Conservation of Amphibians*. Chapman & Hall, London, UK. 214 pp.

Davies, D.E. (ed.). 1982. *CRC Handbook of census methods for terrestrial vertebrates*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. 397 pp.

Heyer, R., M.A. Donnelly, R.W. McDiarmid, L.-A.C. Hayeck and M.S. Foster (eds.). 1994. *Measuring and Monitoring Biological Diversity: Standard Methods for Amphibians*. Smithsonian Institution Press, Washington, USA and London, UK. 364 pp.

Techniques standard d'inventaire et de suivi (transects, quadrats, échantillonnage par tâches, piégeage, etc.); étude de la biodiversité des batraciens; estimation des effectifs; analyses statistiques; analyse des données de biodiversité, manipulation des batraciens vivants. Techniques de marquage des batraciens; enregistrement du chant des grenouilles; préparation de spécimens scientifiques; prélèvement de tissus pour analyses; listes de fournisseurs de matériel; tableau de chiffres aléatoires.

6.10 Oiseaux



Baillie, S.R. 1991. Monitoring terrestrial breeding bird populations. In: F.B. Goldsmith (ed.). *Monitoring for conservation and ecology*. Chapman & Hall, London, UK. pp 112–132.

Bell, D.V. and M. Owen. 1990. Shooting disturbance – a review. In: G.V.T. Matthews (ed.) *Managing Waterfowl Populations*. IWRB Special Publication 12, Slimbridge, UK. pp 159–171 [Compte-rendu d'un symposium du BIROE, Astrakhan, URSS, 2–5 octobre 1989].

Effets des perturbations sur le comportement et la répartition des oiseaux; méthodes d'évaluation des effets et impacts; méthodes d'atténuation des perturbations.

Adresse: *Wetlands International, Slimbridge, Glos, GL2 7BX, Royaume-Uni.*

Bibby, C.J., N.D. Burgess and D.A. Hill. 1992. *Bird Census Techniques*. Academic Press, Harcourt Brace Jovanich, Publishers, London, UK. 257 pp.

Erreurs de recensements; méthodes de cartographie des territoires; transects linéaires, comptages à partir de points fixes, capture et marquage; recensement d'espèces individuelles; recensement d'oiseaux nicheurs coloniaux et des regroupements d'oiseaux; études de répartition; description et mesure des habitats d'oiseaux.



Furness, R.W. and J.J.D. Greenwood (eds.). 1993. *Birds as monitors of environmental change*. Chapman & Hall, London, UK. 356 pp.

Utilisation des oiseaux comme indicateurs des radionucléides et autres polluants; qualité de l'eau; changements dans les stocks de proies marines.

Kushlan, J.A. 1993b. Waterbirds as bioindicators of wetland change: are they a valuable tool? In: M. Moser, R.C. Prentice and J van Vessem (eds.). *Waterfowl and Wetland Conservation in the 1990's - A Global Perspective*. IWRB Special Publication 26, Slimbridge, UK. pp 48-55.

Landry, P. 1990. Bag statistics: a review of methods and problems. In: G.V.T. Matthews (ed.) *Managing Waterfowl Populations*. IWRB Special Publication 12, Slimbridge, UK. pp 105-112 [Compte-rendu d'un symposium du BIROE, Astrakhan, URSS, 2-5 octobre 1989].

Techniques utilisées pour la collecte de statistiques d'abattage de gibier; problèmes techniques et sources d'erreurs; conception de questionnaires, erreur de rappel, erreur de réponse, erreur de non-réponse, interprétation biologique; résumé des méthodes de collecte des données utilisées en Europe; analyse des réponses.

Adresse: Wetlands International, Slimbridge, Glos., GL2 7BX, Royaume-Uni.

Madsen, J. 1994. Impacts of disturbance on migratory waterfowl. *Ibis* 137: S67-S74.

Mountford, M.D. 1982. Estimation of population fluctuations with application to the Common Bird Census. *Applied Statistics* 31 (2): 135-143.

Norton-Griffiths, M. 1978. *Counting animals*. 2nd ed. Handbooks in African Wildlife Ecology I, African Wildlife Leadership Foundation, Nairobi, Kenya. 139 pp.

Prater, A.J. and C.S. Lloyd. 1987. Birds. In: J.M. Baker and W.J. Wolff (eds.). *Biological Surveys of Estuaries and Coasts*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. pp 374-403.

Effectifs et répartition des oiseaux côtiers non reproducteurs; effectifs d'oiseaux marins reproducteurs; comptage des oiseaux échoués sur les plages; liste des organisations responsables de la coordination des études sur les oiseaux.

Roberts, K.A. 1991. Field monitoring: confessions of an addict. In: F.B. Goldsmith (ed.). *Monitoring for conservation and ecology*. Chapman & Hall, London, UK. pp 179-211.

Suivi sur le terrain, la théorie; motivations et philosophie du suivi, problèmes pratiques du suivi (observation, identification, moment, échantillonnage, interférences); utilisation

d'anciennes enquêtes; suivi intégré; gestion des oiseaux et des réserves.

Rose, P. (ed.). 1990. *Manual for International Waterfowl Census Coordinators*. Office National de la Chasse, France and IWRB, Slimbridge, UK. 30 pp. Structure du réseau DIOE; sites et listes des sites; organisation d'une équipe de recensement; collecte et vérification des données; stockage et analyse des données de recensement; problèmes courants. [Egalement publié en français].
Adresse: Wetlands International, Slimbridge, Glos., GL2 7BX, Royaume-Uni.

Rose, P. 1995. *Western Palearctic and South-West Asia Waterfowl Census 1994*. IWRB Publication 35, Slimbridge, UK. 119 pp.

Couverture et résultats du dénombrement international des oiseaux d'eau (DIOE) dans le Paléarctique occidental et en Asie du Sud-Ouest; grandes lignes de la situation actuelle et des tendances (1967-1993) pour 53 populations d'*Anatidae* et de foulques macroules *Fulica atra*.

Rose, P. and D. Scott. 1994. *Waterfowl Population Estimates*. IWRB Publication 29, Slimbridge, UK. 102 pp.

Identification de 1.824 populations biogéographiques distinctes d'oiseaux d'eau appartenant à 833 espèces dans le monde; estimations numériques pour 632 espèces d'oiseaux d'eau; informations sur les tendances des populations.

Smit, C. and G.J.M. Visser. 1993. Effects of disturbance on shorebirds: a summary of existing knowledge from the Dutch Wadden Sea and Delta area. In: Davidson, N. and P. Rothwell. *Disturbance to Waterfowl in Estuaries*. WSG Bull. 68 (Special issue): 6-19.

Spellerberg, I.F. 1991. Monitoring Bird Populations. In: I.F. Spellerberg. *Monitoring ecological change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. pp 197-214.

Echantillonnage, enregistrement et interprétation; recensements et surveillance des oiseaux; collecte, analyse et interprétation des données.

Underhill, L.G. and R.P. Prys-Jones. 1994. Index numbers for waterbird populations. 1: review and methodology. *J. Appl. Ecology* 31: 463-480.

6.11 Mammifères



Davies, D.E. (ed.). 1982. *CRC Handbook of census methods for terrestrial vertebrates*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. 397 pp.



Strachan, R. 1995. A Short-term Investigation into the Ecology of the Small Mammals at s'Albufera. *Bulleti del Parc Natural de s'Albufera de Mallorca* 2: 49-69.

Utilisation du piège de Longworth pour capturer de petits mammifères (*Mus* sp., *Apodemus sylvaticus*); estimations et structure des populations; densités relatives; répartition spatiale et stratification verticale.

6.12 Indices biotiques



Crawford, J. 1991. The calculation of index numbers from wildlife monitoring data. In: F.B. Goldsmith (ed.). *Monitoring for conservation and ecology*. Chapman & Hall, London, UK. pp 225-248.

Indices et propriétés; indices pour la faune sauvage en pratique; problèmes particuliers à l'analyse des données biologiques.

Magurran, A.E. 1988. *Ecological Diversity and its Measurement*. Croom Helm, London, UK.

Grande gamme d'indices de diversité avec beaucoup d'exemples pratiques.

Moore, P.D. and S.B. Chapman (eds.). 1986. *Methods in Plant Ecology*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK. 589 pp.

Indices de diversité pour la description et l'analyse de la végétation.

Southwood, T.R.E. (ed.). 1978. *Ecological Methods, with particular reference to study of insect populations*. Second edition. Methuen & Co Ltd, London, UK. 391 pp.

Diversité alpha et beta; assemblages d'espèces; habitats.

Spellerberg, I.F. 1991. *Monitoring ecological change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 334 pp.

Indices de diversité; indices de similarité, indices environnementaux et biotiques; variables biologiques, processus et écosystèmes.

6.13 Cartographie et télédétection



Anonymous. 1992. *Application of Satellite Data for Mapping and Monitoring Wetlands*. Federal Geographic Data Committee (FGDC), Wetlands Subcommittee Technical report 1, US Fish and Wildlife Service, Washington, D.C., USA. 32 pp + 4 appendices.

Examen des avantages et limites des différentes données satellitaires (SPOT, Landsat) pour la cartographie et le suivi des habitats de zone humide: résolution spectrale, résolution spatiale, coûts; liens avec un système d'information géographique (SIG).

Adresse: FGDC Wetlands Subcommittee, US Fish and Wildlife Service, 1849 C Street, N.W., ARLSQ 400 Washington, D.C., 20240, Etats-Unis.

Barrett, E.C. and L.F. Curtis. 1982. *Introduction to Environmental Remote Sensing*. Chapman & Hall, London, UK.

Barrett, E.C. and K.A. Brown (eds.). 1989. *Remote Sensing for Operational Applications*. Technical Contents of the 15th Annual Conference of the Remote Sensing Society, University of Bristol, 13-15 September 1989, Bristol, UK.

Budd, J.T.C. 1991. Remote sensing techniques for monitoring land-cover. In: F.B. Goldsmith (ed.). *Monitoring for conservation and ecology*. Chapman & Hall, London, UK. pp 33-59.

Introduction à la télédétection; capteurs satellitaires et aériens; enquêtes au sol; avantages de chaque technique.

Christensen, E.J., J.R. Jensen, E.W. Ramsey and H.F. Mackey. 1988. Aircraft MSS data registration and vegetation classification for wetland change detection. *Int. J. Rem. Sens.* 9: 23-28.

Cluis, D. 1992. *Des nouvelles technologies pour une gestion intégrée à l'échelle du bassin versant*. Association Québécoise des techniques de l'eau, Assises annuelles, 8-10 avril 1992, Montréal, Canada.

Costa, L.T., J.C. Farinha, N. Hecker and P. Tomàs Vives (eds.). 1996 (in press). *Mediterranean Wetland Inventory. A Reference Manual*. MedWet publication, ICN, Lisbon, Portugal & Wetlands International, Slimbridge, UK.

Méthode d'inventaire des zones humides; identification au niveau du bassin versant, du site et de la zone humide; habitats des zones humides; enregistrement des données; stockage des données (base de données MedWet); cartographie des zones humides; utilisation de l'inventaire.

Cowardin, L.M., V. Carter, F.C. Golet and E.T. LaRoc. 1979. *Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States*. US Fish and Wildlife Service, Washington, D.C., USA. 131 pp.

Description de la classification des zones humides et des eaux profondes utilisée pour l'inventaire national des zones humides des Etats-Unis.

Curran, P.J. 1985. *Principles of Remote Sensing*. Longmans, Harlow, UK.



Dahl, T.E. 1993. Monitoring Wetland Change: The U.S. Wetlands Status and Trends Study. In: M. Moser, R.C. Prentice and J. van Vessum (eds.). *Waterfowl and Wetland Conservation in the 1990s – A Global Perspective*. IWRB Special Publication 26, IWRB, Slimbridge, UK. pp 170–174.

Présentation de l'étude sur l'état et l'évolution des zones humides des Etats-Unis.

Dahl, T.E. and C.E. Johnson. 1991. *Status and Trends of Wetlands in the Conterminous United States, Mid-1970's to Mid-1980's*. Department of the Interior, Fish and Wildlife Service, Washington, D.C., USA. 28 pp.

Procédures d'étude; résultats des analyses; tendances en matière de ressources des zones humides par système de zone humide; glossaire de la terminologie de classification.

Adresse: U.S. Government Printing Office.
Superintendent of documents, Mail Stop: SSOP,
Washington, D.C. 20402-9328, USA.

Dalby, D.H. and W.J. Wolff. 1987. Remote Sensing. In: J.M. Baker and W.J. Wolff (eds.). *Biological Surveys of Estuaries and Coasts*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. pp 27–37.

Introduction aux techniques de télédétection pour les estuaires; photographie aérienne; photogrammétrie, photo-interprétation; systèmes numériques, images satellitaires; traitement numérique des images analogues.

Devillers, P. and J. Devillers-Terschuren. 1993. *A Classification of Palearctic Habitats and Preliminary List of Priority Habitats in Council of Europe Member States*. A report to the Council of Europe, Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats. Strasbourg, France. 286 pp. (unpublished report)

Typologie CORINE biotopes; un système mondial de classification des habitats; classification provisoire des habitats paléarctiques; habitats prioritaires.

Adresse: Conseil de l'Europe, BP 431 R6, 67000 Strasbourg Cedex, France.

Drury, S.A. 1990. *A Guide to Remote Sensing: Interpreting Images of the Earth*. Oxford University Press, Oxford, UK.

European Communities Commission. 1991. *CORINE biotopes manual – A method to identify and describe consistently sites of major importance for nature conservation*. Volume 1: Methodology; Volume 2: Data specifications – Part 1; Volume 3: Data specifications – Part 2. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg. 270 + 126 + 300 pp.

Description détaillée de la méthodologie utilisée pour le projet CORINE biotopes; applications.

Farinha, J.C., L.T. Costa, G.C. Zalidis, A. Mantzavelas, E. Fitoka, N. Hecker and P. Tomàs Vives (eds.). 1996 (in press). *Mediterranean Wetland Inventory. Habitat Description System*. MedWet publication, ICN, Lisbon, Portugal & Wetlands International, Slimbridge, UK.

Adaptation à la région méditerranéenne du système d'habitats utilisé pour l'inventaire national des zones humides des Etats-Unis; basé sur des descripteurs, par exemple, couverture, régime hydrologique, salinité, etc.

Fraye, W.E., T.J. Monahan, D.C. Bowden and F.A. Graybill. 1983a. *Status and trends of wetlands and deepwater habitats in the conterminous United States, 1950's to 1970's*. Colorado State University, Fort Collins, USA. 31 pp.

Fraye, W.E., T.J. Monahan, D.C. Bowden and F.A. Graybill. 1983b. *Procedure for using existing statistical wetland data to determine sample sites needed to produce wetland acreage estimates for selected geographic areas*. Colorado State University, Fort Collins, USA. 8 pp + appendix.

Fuller, R.M. 1983. *Ecological Mapping from Ground, Air and Space*. Institute of Terrestrial Ecology (ITE), Cambridge, UK.

Gray, J.S. and T.H. Pearson. 1982. Objective selection of sensitive species indicative of pollution-induced change in benthic communities. I. Comparative methodology. *Marine Ecology Progress Series* 9: 111–119.

Holmes, M.G. 1992. Monitoring vegetation in the future: radar. *Botanical Journal of the Linnean Society* 108: 93–109.

Lillesand, T.M. and R.W. Kiefer. 1979. *Remote Sensing and Image Interpretation*. Wiley, Chichester, UK. 612 pp.

Mather, P.M. (ed.). 1993. *Geographic Information Handling – Research and applications*. John Wiley & Sons, Chichester, UK. 343 pp.

Introduction au SIG; modélisation environnementale au moyen d'un SIG; applications environnementales d'un SIG: zones urbaines, couverture et occupation des sols, modèles hydrologiques, réseaux hydrologiques, bassin versant; planification de l'application d'un SIG: cartographie des risques naturels; développement en zones rurales; fourniture et conflits de données; base de données SIG interactive.

Moreira, J.M. and J. Ojeda. 1992. *Andalucía, una visión inédita desde el espacio*. Agencia de Medio Ambiente, Consejería de Cultura y Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla, Spain. 213 pp.



Bases physiques de la télédétection; capteurs satellitaires; analyse des images satellitaires; application de la télédétection à la cartographie des zones agricoles, des zones humides, des zones côtières, des aires protégées, de la dynamique et de la pollution marines, de la végétation et de l'occupation des sols.

Nakayama, M. 1993. Monitoring Asian wetlands and lake basins using remote sensing technologies. In: M. Moser, R.C. Prentice and J. van Vessem (eds.). *Waterfowl and Wetland Conservation in the 1990s – A Global Perspective*. IWRB Special Publication 26, IWRB, Slimbridge, UK. pp 39–42. Utilisation des images satellitaires pour le suivi des zones humides; suivi des changements dans la végétation et la qualité de l'eau.

National Rivers Authority. 1992. *River Corridor Surveys*. Conservation Technical Handbook 1. National Rivers Authority (NRA), Bristol, UK. 34 pp.

Technique pour une étude écologique standard des cours d'eau; cartographie; profil; directives pour les superviseurs de l'étude; santé et sécurité; accès. Adresse: National Rivers Authority, Newcastle Upon Tyne X, NE85 4ET, UK.

Remillard, M.M. and R.A. Welch. 1992. GIS technologies for aquatic macrophyte studies: I. Database development and changes in the aquatic environment. *Landscape Ecology* 7 (3): 151–162.

Spellerberg, I.F. 1991. Monitoring Land Use and Landscape. In: I.F. Spellerberg. *Monitoring Ecological Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. pp 253–271.

Données d'organisation et d'occupation des sols; collecte, stockage et analyse des données; classes et classification des sols; programmes de suivi de l'occupation et de la couverture des sols

Townshend, J.R.G. (ed.). 1981. *Terrain Analysis and Remote Sensing*. George Allen & Unwin, London, UK.

Yates, M.G., A.R. Jones, J.D. Goss-Custard and S. McGrorty. 1993. Satellite imagery to monitor ecological change in estuarine systems: example of the Wash, England. In: M. Moser, R.C. Prentice and J. van Vessem (eds.). *Waterfowl and Wetland Conservation in the 1990s – A Global Perspective*. IWRB Special Publication 26, IWRB, Slimbridge, UK. pp 56–60.

Méthodes de traitement des images satellitaires: classification par maximum de vraisemblance, analyse en régression multiple et modélisation mixte utilisées pour cartographier les sédiments intertidaux de surface.

Zalidis, G.C., A. Mantzavelas and E. Fitoka. 1996 (in press). *Mediterranean Wetland Inventory. Photointerpretation and Cartographic Conventions*. MedWet publication, ICN, Lisbon, Portugal & Wetlands International, Slimbridge, UK.

Cartographie des habitats de zones humides méditerranéens; critères d'identification des zones humides; photo-interprétation; travaux de terrain; conventions cartographiques.

6.14 Autres



Adamus, P. and L. Stockwell. 1983. *A Method for Wetland Functional Assessment. Vols. I and II*. Reports FHWA-IP-82-23 and 24, US Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, USA. 181 and 134 pp.

Adamus, P., L. Stockwell, E.J. Clairain Jr., M.E. Morrow, L.P. Rozas and R.D. Smith. 1987. *Wetland Evaluation Technique (WET). Vol. I: Literature Review and Evaluation Rationale*. US Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, USA.

Adamus, P., E.J. Clairain Jr., R.D. Smith and R.E. Young. 1987. *Wetland Evaluation Technique (WET). Vol. II. Technical Report Y-87*. US Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, USA.

Athanasiou, C. 1993. *WWF Project GR0020 – Red Alert System (RAS). Progress Reports n° 7, 8, 9 and 11*. Greek Biotope/Wetland Centre (EKBY) and WWF. Thessaloniki, Greece.

Description des buts du système d'alerte rouge (RAS) et des mesures prises dans ce cadre. Le système a été mis en place en Grèce en 1990 pour suivre les menaces pesant sur d'importantes zones humides afin de prendre les mesures qui s'imposent. Il tient compte des valeurs biologiques naturelles des sites ainsi que des besoins des populations locales.

Adresse: Greek Biotope/Wetland Centre (EKBY), 14th Km Thessaloniki-Mihaniona, 57001 - Thermi, Macédoine, Grèce.

Baker, J.M. and W.J. Wolff. 1987. Safety (compiled from Institute of Biology and Natural Environment Research Council Safety Guidance Notes). In: J.M. Baker and W.J. Wolff (eds.). *Biological Surveys of Estuaries and Coasts*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. pp 424–439.

Procédures générales: dangers potentiels, habillement et matériel de terrain; signaux internationaux de détresse, premiers soins; procédures spéciales: vasières intertidales et marais salés, rivages rocheux et falaises, petits bateaux et navires de recherche, plongée, pêche à l'électricité.



- Begon, M. 1979. *Investigating Animal Abundance: Capture-Recapture for Biologists*. Edward Arnold, London, UK.
- Bishop, D.N. 1983. *Statistics for biology*. Longman, Harlow, UK. 232 pp.
- Blower, J.G., L.M. Cook and J.A. Bishop. 1981. *Estimating the Size of Animal Populations*. George, Allen & Unwin, London, UK.
- Calvo, B. and R.W. Furness. 1992. A review of the use and the effects of marks and devices on birds. *Ringing & Migration* 13: 129–151.
- Cochran, W.G. 1977. *Sampling techniques*. Third edition. John Wiley & Sons, Chichester, UK. 428 pp.
- Cooley, W.W. and P.R. Lohnes. 1971. *Multivariate Data Analysis*. John Wiley & Sons, Chichester, UK. 364 pp.
- De Groot, R.S. 1992. *Functions of Nature. Evaluation in environmental planning, management and decision making*. Wolters-Noordhoff, Amsterdam, Holland.
- Fowler, J. and L. Cohen. 1995. *Statistics for Ornithologists*. Second edition. BTO guide 22, British Trust for Ornithology, Tring, UK. Techniques et exemples conçus dans un but de convivialité pour les ornithologues mais applicables à toute une gamme de disciplines biologiques et d'utilisateurs.
- Gilbert, R.O. 1987. *Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring*. Van Nostrand Reinhold Co., New York, USA.
- Goldsmith, F.B. 1983. Ecological Effects of Visitors and the Restoration of Damaged Areas. In: A. Warren and F.B. Goldsmith (eds.). *Conservation in Perspective*. Wiley & sons, Chichester, UK. pp 201–214.
- Goldsmith, F.B., R.J.C. Munton and A. Warren. 1970. The Impact of Recreation on the Ecology and Amenity of Semi-natural Areas: Methods of Investigation used in the Isles of Scilly. *Biological Journal of the Linnean Society* 2: 287–306.
- GEMS-UNEP. 1993. *An introduction to HEM & HEMDisk*. Global Environmental Monitoring System – United Nations Environment Programme. Oberschleissheim, Germany. 26 pp + 1 disk. Description du système HEMIS (Harmonization of Environmental Measurement Information System, système d'harmonisation des informations dans le domaine des mesures environnementales) mis en place par le PNUE dans le cadre du Système mondial de surveillance continue de l'environnement (GEMS); HEMIS est un système informatisé destiné à faciliter le transfert d'informations sur qui fait quoi, comment, où et pourquoi dans le domaine des mesures environnementales; le système vise à promouvoir l'harmonisation des informations de différentes manières: encouragement de la coopération, promotion d'une nomenclature standardisée et harmonisée, réunion d'informations sur les systèmes de classification d'utilisation courante, identification des sources de données existantes, et donc limitation de la duplication des efforts de suivi. Une méta-base de données est incluse sur une disquette, avec des informations sur les sujets suivants: institutions, programmes de suivi, méthodes et modèles, systèmes de classification, bases de données, matériels de référence, personnes clés.
- Green, R.H. 1979. *Sampling Design and Statistical Methods for Environmental Biologists*. John Wiley & Sons, New York, USA. 257 pp.
- Green, R.H. 1980. Multivariate approaches in Ecology: the assessment of ecologic similarity. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 11: 1–14.
- Green, R.H. 1984. Statistical and non-statistical considerations for environmental monitoring studies. *Environmental Monitoring and Assessment* 4: 293–301.
- Harper, D.G.C. 1994. Some comments on the repeatability of measurements. *Ringing & Migration* 15: 84–90.
- Hewett, C.N. 1986. *Methods of Environmental Data Analysis*. Chapman & Hall, London, UK. 309 pp.
- Maltby, E., D.V. Hogan, C.P. Immirzi, J.H. Tellam and M.J. van der Peijl. 1994. Building a new approach to the investigation and assessment of wetland ecosystem functioning. In: W.J. Mitsch (ed.). *Global Wetlands – Old World and New*. Elsevier Sciences B.V., Amsterdam, The Netherlands. pp 637–658.
- Maltby, E., R. Hughes and C. Newbold. 1988. *The Dynamics and Functions of Coastal Wetlands of the Mediterranean Type*. A report for DGXI contract 6611/ZH/10. 52 pp. (unpublished report) Adresse: Royal Holloway College Institute for Environmental Research, Royal Holloway College, University of London, Egham, Surrey TW20 0EX, Royaume-Uni.



Morgan, B.J.T. and P.M. North (eds.). 1985. *Statistics in Ornithology*. Springer-Verlag, Berlin, Germany.

Nichols, D. 1983. *Safety in biological fieldwork-guidance notes for codes of practice*. Second edition. Institute of Biology, London, UK.

Penloup, A. 1995. *Techniques for Monitoring Mediterranean Wetlands: A Preliminary Bibliography*. MedWet sub-project on Inventory & Monitoring, IWRB & Tour du Valat, Camargue, France. 111 pp. Examen de 176 références en rapport avec le suivi des zones humides, dont 109 sont décrites sous forme concise; glossaire.

Adresse: *Wetlands International, Slimbridge, Glos., GL2 7BX, Royaume-Uni.*

Prince, S.D. 1986. Data Analysis. In: P.D. Moore and S.B. Chapman (eds.). *Methods in Plant Ecology*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK. pp 345-375.

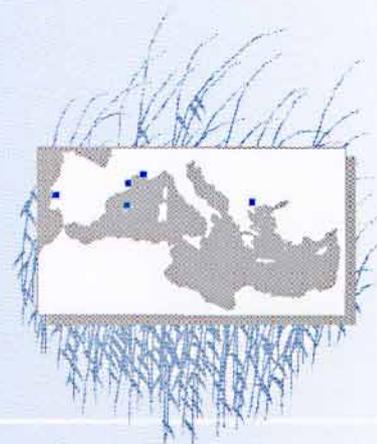
Echantillonnage; objectif d'un programme de recherches; types de mesures; nombre de variables; modèles mathématiques et statistiques; ordinateurs et analyse des données.

Sokal, R.R. and F.J. Rohlf. 1981. *Biometry: The Principle and Practice of Statistics in Biological Research*. Second edition. W.H. Freeman & Co., San Francisco, USA. 859 pp.

Wolff, W.J. 1987. Identification. In: J.M. Baker and W.J. Wolff (eds.). *Biological Surveys of Estuaries and Coasts*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. pp 404-421.

Directives pour l'identification des espèces côtières et estuariennes: bactéries, champignons, algues, lichens, plantes, invertébrés, poissons, oiseaux, mammifères; problèmes d'identification des organismes des eaux estuariennes et côtières; littérature à utiliser.

7 Etudes de cas



Ce chapitre présente les résultats de cinq études de cas ayant permis d'appliquer à des situations réelles le cadre méthodologique de conception de programmes de suivi. Ces études pilotes, entreprises en 1995 et 1996 dans cinq zones humides d'importance internationale, ont suscité d'intéressantes réflexions débouchant sur des contributions pratiques au guide. Les cinq sites pilotes sont les suivants:

- Réserve naturelle de l'estuaire du Sado, Portugal
- Parc naturel de S'Albufera de Mallorca, îles Baléares, Espagne
- lac Kerkini, Grèce
- étang de l'Or, Languedoc-Roussillon, France
- Parc naturel d'Aiguamolls de l'Empordà, Catalogne, Espagne

Des programmes de suivi ont été préparés pour ces zones humides méditerranéennes selon le processus décrit dans ce guide, un travail entrepris par les responsables des sites ou par des scientifiques travaillant en étroite collaboration avec eux afin de garantir la prise en compte des objectifs et exigences de gestion et la facilité d'intégration des activités de suivi dans les programmes de gestion. Dans la plupart des sites pilotes, les programmes de suivi ainsi préparés ont été lancés en 1996, ou devaient démarrer peu après, en tant que partie intégrante de la gestion de site.

Au cours des prochaines phases de MedWet, ce processus devrait être mis en oeuvre à l'échelle méditerranéenne puisque l'accent va maintenant se porter sur l'application des méthodologies proposées pendant l'actuelle première phase. Il est évident que de nombreuses zones humides méditerranéennes bénéficieraient d'un programme de suivi des changements écologiques. La mise en oeuvre de la présente méthodologie constituerait ainsi une suite adaptée à la résolution sur l'importance de la surveillance continue des changements dans les caractéristiques écologiques des zones humides adoptée par la Conférence des Parties contractantes à la Convention de Ramsar lors de sa sixième Session, tenue à Brisbane, Australie, en mars 1996.



Types de zones humides de Ramsar

Les auteurs ont employé, dans les études de cas, la typologie adoptée par la Convention de Ramsar pour décrire leurs zones humides. Les codes sont basés sur le système de classification des "types de zones humides" approuvé par la Rec. C.4.7 (Rev.) de la Conférence des Parties contractantes (Montreux, 1990). Les catégories citées ne sont destinées qu'à fournir un

cadre très large pour faciliter l'identification rapide des principaux habitats humides représentés sur chaque site, et le cadre ne doit pas être considéré comme une tentative de classification exhaustive des zones humides (Frazier 1995).

Frazier, S. 1995. *The Ramsar Database System. Interim Documentation*. 7 March 1995. IWRB and Ramsar Bureau. 16 pp. (unpublished document)

TYPOLOGIE DES ZONES HUMIDES DE RAMSAR ET CODES EMPLOYÉS POUR LA BASE DE DONNÉES RAMSAR (Mars 1995)¹

- A **Eaux marines peu profondes** permanentes d'une profondeur inférieure à six mètres à marée basse; y compris baies marines et détroits.
- B **Lits marins aquatiques subtidaux**, y compris lits de varech, herbiers marins et prairies marines tropicales.
- C **Récifs coralliens**.
- D **Rivages marins rocheux**; y compris îles rocheuses en mer et falaises côtières.
- E **Plages de sable fin, grossier ou de galets**; y compris bancs et langues de sable, îlots sableux et systèmes dunaires.
- F **Eaux d'estuaire**; eaux permanentes des estuaires et systèmes estuariens des deltas.
- G **Vasières, bancs de sable ou de terres salées intertidales**.
- H **Marais salés**; y compris prés salés, schorres et marais salés exondés.
- I **Zones humides boisées intertidales**; y compris marécages à mangroves, marécages à palmiers nipa et forêts marécageuses cotidales d'eau douce.
- J **Lagunes côtières saumâtres/salées**; lagunes saumâtres à salées reliées à la mer par un ou plusieurs chenaux relativement étroits.
- K **Lagunes côtières d'eau douce**; y compris lagunes d'eau douce de delta.
- L **Deltas intérieurs permanents**.
- M **Rivières et cours d'eau permanents**; y compris les cascades.
- N **Rivières et cours d'eau saisonniers/intermittents/irréguliers**.
- O **Lacs d'eau douce permanents** (plus de 8 ha); y compris les grands lacs formés par des bras morts.
- P **Lacs d'eau douce saisonniers/intermittents** (plus de 8 ha); y compris lacs de plaines d'inondation.
- Q **Lacs salés/saumâtres/alkalins permanents**.
- R **Lacs salés/saumâtres/alkalins saisonniers/intermittents**.*
- S_p **Marais/mars salés/saumâtres/alkalins permanents**.
- S_s **Marais/mars salés/saumâtres/alkalins saisonniers/intermittents**.*
- T_d **Marais/mars d'eau douce permanents**; étangs (moins de 8 ha), marais et marécages sur substrat inorganique; avec végétation émergente engorgée pendant la majeure partie de la saison de croissance au moins.
- T_s **Marais/mars d'eau douce saisonniers/intermittents** sur substrat inorganique; y compris fondrières, marmites torrentielles, prairies inondées saisonnièrement, marais à laïches.*
- U **Tourbières non boisées**; y compris tourbières ouvertes ou couvertes de buissons, marécages, fagnes.
- V_a **Zones humides alpines**; y compris prairies alpines, eaux temporaires de la fonte des neiges.
- V_t **Zones humides de toundra**; y compris mares de la toundra, eaux temporaires de la fonte des neiges.
- W **Zones humides dominées par les broussailles**; y compris marais à broussailles, marais d'eau douce dominés par les buissons, saulaies, aulnaies; sur sols inorganiques.*
- X_f **Zones humides d'eau douce dominées par les arbres**; y compris forêts marécageuses d'eau douce, marais boisés; sur sols inorganiques.*
- X_p **Tourbières boisées**; forêts marécageuses sur tourbière.*
- Y **Sources d'eau douce; oasis**.
- Z **Zones humides géothermiques**.

Zones humides artificielles

- 1 **Étangs d'aquaculture** (bassins de pisciculture/crevetticulture)
- 2 **Étangs**; y compris étangs agricoles, étangs pour le bétail, petits réservoirs; (généralement moins de 8 ha).
- 3 **Terres irriguées**; y compris canaux d'irrigation et rizières.
- 4 **Terres arables, agricoles inondées saisonnièrement**. #
- 5 **Exploitations de sel**; marais salants, salines, etc.
- 6 **Zones de stockage des eaux**; réservoirs/retenues de barrages hydroélectriques/retenues d'eau; (généralement plus de 8 ha).
- 7 **Excavations**; gravières, ballastières; bassins d'eaux usées des mines.
- 8 **Zones de traitement des eaux usées**; terrains d'épandage, bassins de décantation, bassins d'oxydation, etc.
- 9 **Canaux et chenaux de drainage, fossés**.

0 Aucune information

NOTES:

¹ Lors de la sixième Session de la Conférence des Parties contractantes, tenue à Brisbane, en mars 1996, un nouveau type a été ajouté à la classification Ramsar des zones humides: **Systèmes hydrologiques karstiques et de grottes souterrains**. A la date de publication, aucun code n'avait encore été affecté à ce nouveau type.

* Selon le cas, inclut: **Zones humides de plaines d'inondation**, telles que prairies (y compris les prairies humides naturelles), savanes, zones boisées ou forêts saisonnièrement inondées.

Inclut les prairies humides et pâturages faisant l'objet d'une gestion intensive

7.1 Estuaire du Sado, Portugal

Rui Rufino, M. Helena Costa,
Carmen Rosado et António Bruxelles

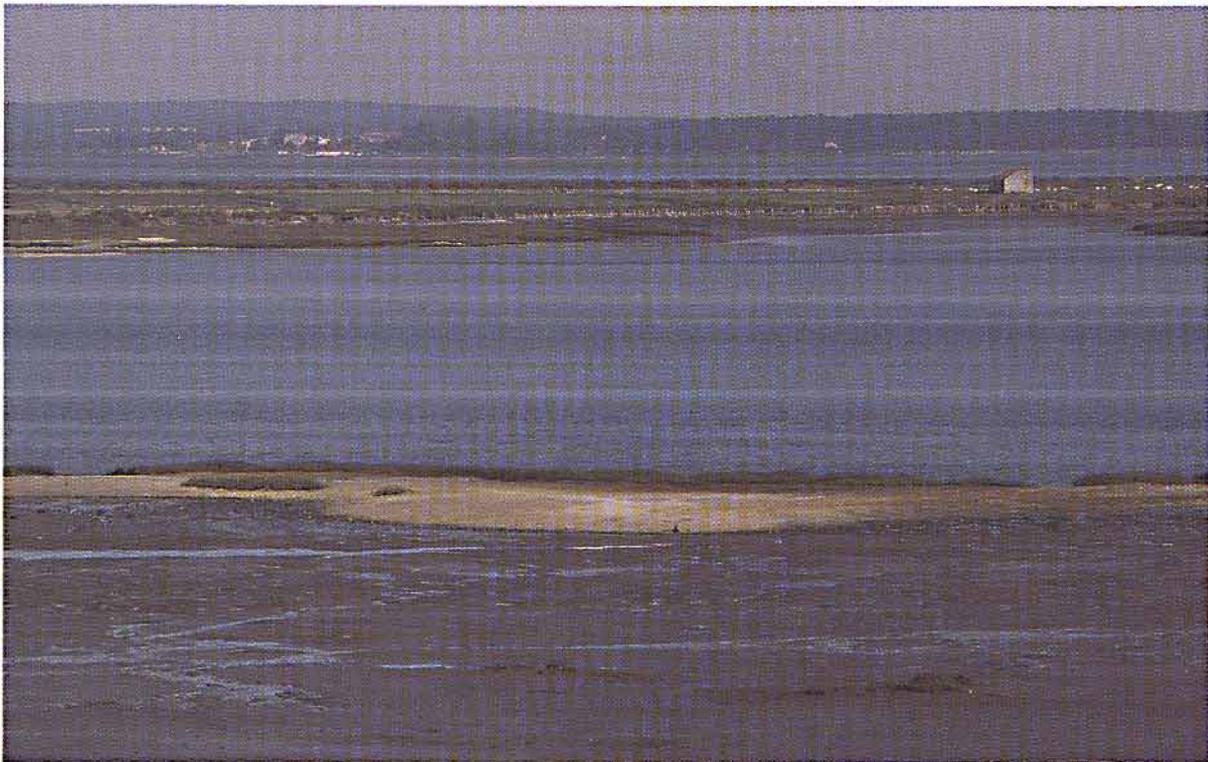
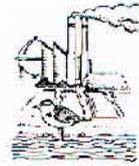


Photo 7.1.1 Zones intertidales et eaux estuariennes du Sado. (Rui Rufino)

7.1.1 Description du site

Localisation, taille, physiographie

L'estuaire du Sado, 38°27'N 08°43'W, est situé sur la côte ouest du Portugal, à 45 km au sud de Lisbonne (figure 7.1.1), et occupe une superficie d'environ 24.000 ha. L'estuaire (figure 7.1.2) se compose d'une large partie centrale et de deux bras principaux: orientés nord-sud pour le premier (Canal da Marateca) et ESE-WNW pour le second, plus grand, formé par le Sado (Canal do Sado). Le côté sud-ouest de l'estuaire est séparé de la mer par un système dunaire bien développé. La partie centrale de l'estuaire a une profondeur moyenne de 10 m alors que celle-ci n'atteint que 5 m pour la portion du Sado incluse dans

l'estuaire. Le marnage varie de 1 à 3,5 m. Le bassin versant du Sado s'étend sur une superficie de 7.600 km² (Cabeçadas *et al.* 1994).

Types de zones humides présents dans le site

On trouve divers types de zones humides naturelles dans l'estuaire, à savoir (en utilisant la classification de Ramsar): bancs de sable, îlots sableux et systèmes dunaires (E), eaux d'estuaire (F), vasières et bancs de sable intertidaux (G) et marais salés (H). Les zones humides artificielles sont aussi représentées: aquaculture (1), rizières (3), marais salants (5), zones de traitement des eaux usées (8) et canaux (9).

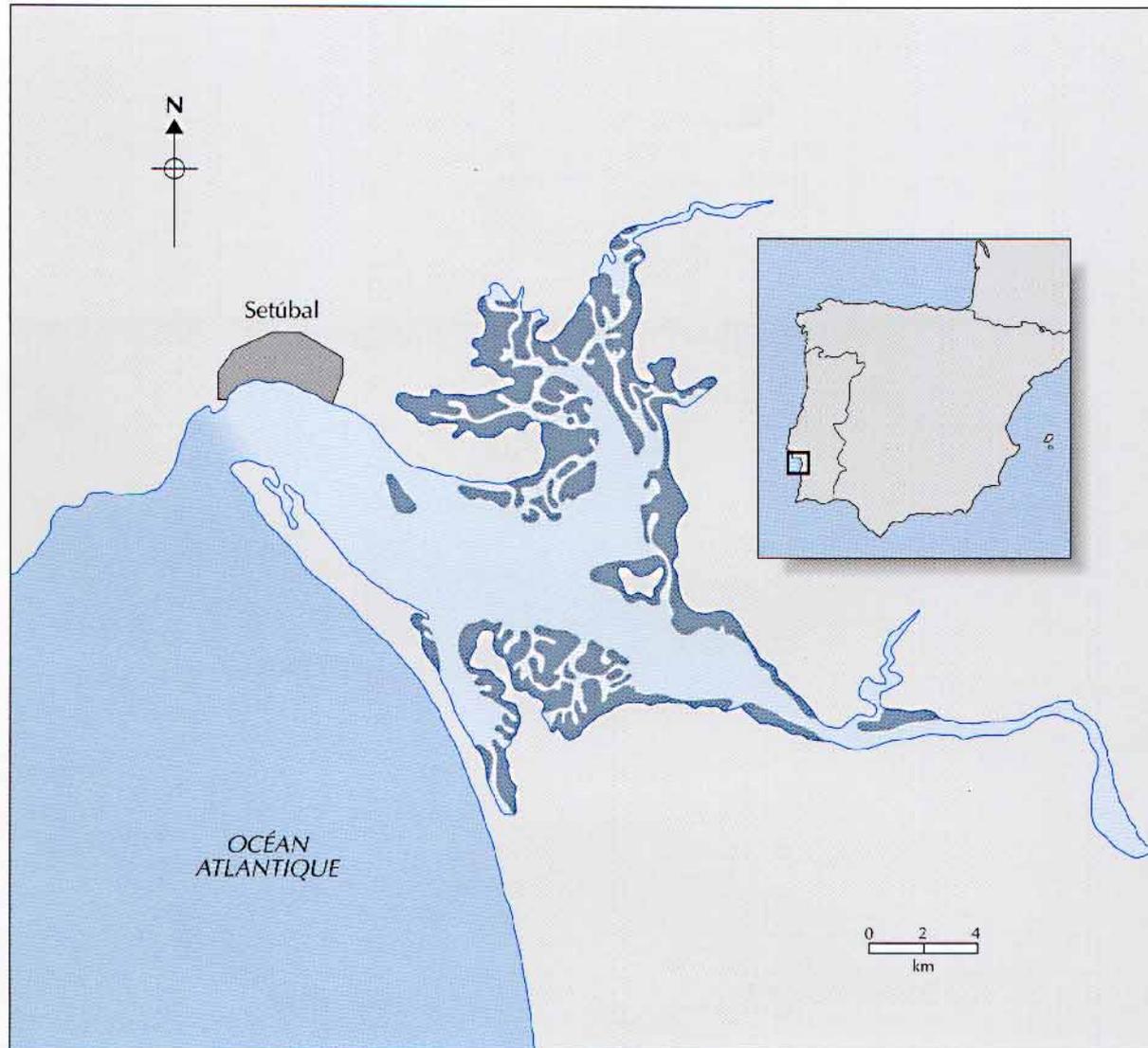


Figure 7.1.1 Estuaire du Sado, Portugal.

Principales valeurs du site

On peut associer à l'estuaire du Sado toute une série de fonctions, produits et attributs caractéristiques des zones humides:

Fonctions: stabilisation du littoral et lutte contre l'érosion, rétention de sédiments et de substances toxiques, rétention d'éléments nutritifs, exportation de biomasse, protection contre les tempêtes, stabilisation du microclimat, activités récréatives et tourisme.

Produits: ressources faunistiques, halieutiques, fourragères, agricoles.

Attributs: diversité biologique, patrimoine/intérêt culturel.

Occupation des sols et principales menaces

L'estuaire du Sado fait l'objet d'une utilisation intensive par l'homme et joue un rôle important dans l'économie nationale et locale. A proximité de l'embouchure, du côté nord, se trouve Setúbal, une ville de taille moyenne, de plus de 100.000 habitants, où se sont concentrées de nombreuses activités industrielles au cours des 30 dernières années. On y trouve notamment un grand chantier naval, une usine de pâte à papier et une centrale électrique thermique. Le pourtour de l'estuaire est essentiellement le siège d'une agriculture intensive, riziculture surtout, mais on trouve aussi des salines traditionnelles et des exploitations piscicoles de plus en plus intensives. Dans l'estuaire, l'effort de pêche est assez intense et vise les poissons, les mollusques et d'autres espèces servant d'appât.



Toutes ces activités ont un impact sur la faune de l'estuaire mais les principales menaces pour la qualité et la durabilité de cette zone tiennent à la pollution (organique et chimique) due au rejet des eaux usées non traitées de Setúbal et de déchets industriels solides et liquides, au ruissellement provenant des rizières et à l'écoulement dans le Sado de résidus d'une mine de fer et de cuivre située en amont. Conjointement à une augmentation des pressions en faveur de l'aquaculture, ces problèmes entraînent un abandon et une destruction des salines, et leur remplacement par des exploitations piscicoles; celles-ci occupent maintenant environ 30% de la superficie autrefois couverte par les marais salants, réduisant ainsi la disponibilité d'habitats pour plusieurs espèces d'oiseaux d'eau nicheuses, migratrices ou hivernantes.

Propriété, statut légal et organisme de gestion

Les zones d'eaux ouvertes, les vasières et les marais salés appartiennent à l'Etat Portugais alors que toutes les terres des alentours, y compris les rizières et les marais salants, sont du domaine privé. La grande majorité de la zone estuarienne, à l'exception de sa partie maritime, de la ville de Setúbal et de son port, ainsi qu'une partie considérable des zones périphériques ont été classées comme Réserve naturelle (D.L. n° 430/80 du 10 octobre). La majeure partie de cette réserve a en outre été désignée par le gouvernement portugais comme Zone de Protection Spéciale dans le cadre de la Directive Oiseaux de la CE, 79/409/CEE. Le plan d'occupation des sols de cette aire protégée n'est pas encore entré en vigueur mais devrait l'être rapidement. La structure régissant la Réserve naturelle constitue l'organe de gestion de l'ensemble de la zone mais toute une série d'autres agences gouvernementales ont des pouvoirs s'étendant sur la zone dans les domaines de l'administration portuaire, des pêches, des rejets d'eaux usées, de l'agriculture et de la planification urbaine.

7.1.2 Programmes de suivi et de surveillance existants

Oiseaux d'eau hivernants

1. Toute espèce - dénombrements annuels menés en janvier depuis 1978, par le Centro de Estudos de Migrações e Protecção das Aves (CEMPA/ICN) dans le cadre des recensements hivernaux nationaux des limicoles et oiseaux d'eau. Ressources: 4-5 employés du CEMPA et 1-2 employés de la Réserve naturelle pendant deux jours.
2. Oiseaux d'eau - dénombrements mensuels effectués, d'octobre à mars depuis 1992/93, par le CEMPA/ICN dans le cadre d'un programme de suivi national spécifique pour les oiseaux d'eau hivernants. Ressources: 2 employés du CEMPA et un membre du personnel de la Réserve naturelle pendant 1-2 jours par mois, d'octobre à mars.

Les deux programmes visent à enregistrer les changements dans les populations et à évaluer les effets de différentes pratiques de gestion.

L'analyse des données quantitatives provenant des recensements est assez simple et ne porte que sur les nombres totaux d'oiseaux dénombrés. Une analyse des tendances à l'échelle nationale est en cours.

Des rapports nationaux portant entre autres sur l'estuaire du Sado sont publiés chaque année par le CEMPA/ICN (Rufino 1988, 1990, 1992; Rufino & Costa 1993).

Suivi du statut des marais salants et de leurs populations d'oiseaux nicheurs

Ce programme est réalisé par le CEMPA/ICN. Commencé en 1991, il se poursuivra jusqu'en 1998. Il sera ensuite remplacé par un simple système de suivi.

L'objectif de ce programme est de:

1. Suivre l'état physique des marais salants et les changements qu'ils subissent;
2. Suivre la reproduction des communautés d'oiseaux d'eau, en accordant une attention spéciale aux échasses blanches *Himantopus himantopus* et aux sternes naines *Sterna albifrons*, en termes d'effectifs, de répartition et de productivité.

Ressources: deux membres du personnel du CEMPA faisant de 2 à 4 visites par mois dans l'estuaire.

Les données permettent d'effectuer une analyse des tendances en matière de changements de l'état des marais salants et des populations d'oiseaux nicheurs. Ce programme vise également à identifier des tendances en ce qui concerne l'utilisation des habitats afin de faciliter les décisions de gestion.

Une partie des données recueillies ont déjà été analysées et présentées lors de plusieurs conférences du Wader Study Group (groupe d'étude des limicoles), en 1994 et 1995, mais n'ont pas encore été publiées. Une autre partie est en cours de publication sous forme d'un rapport du CEMPA/ICN (Neves & Rufino 1995).

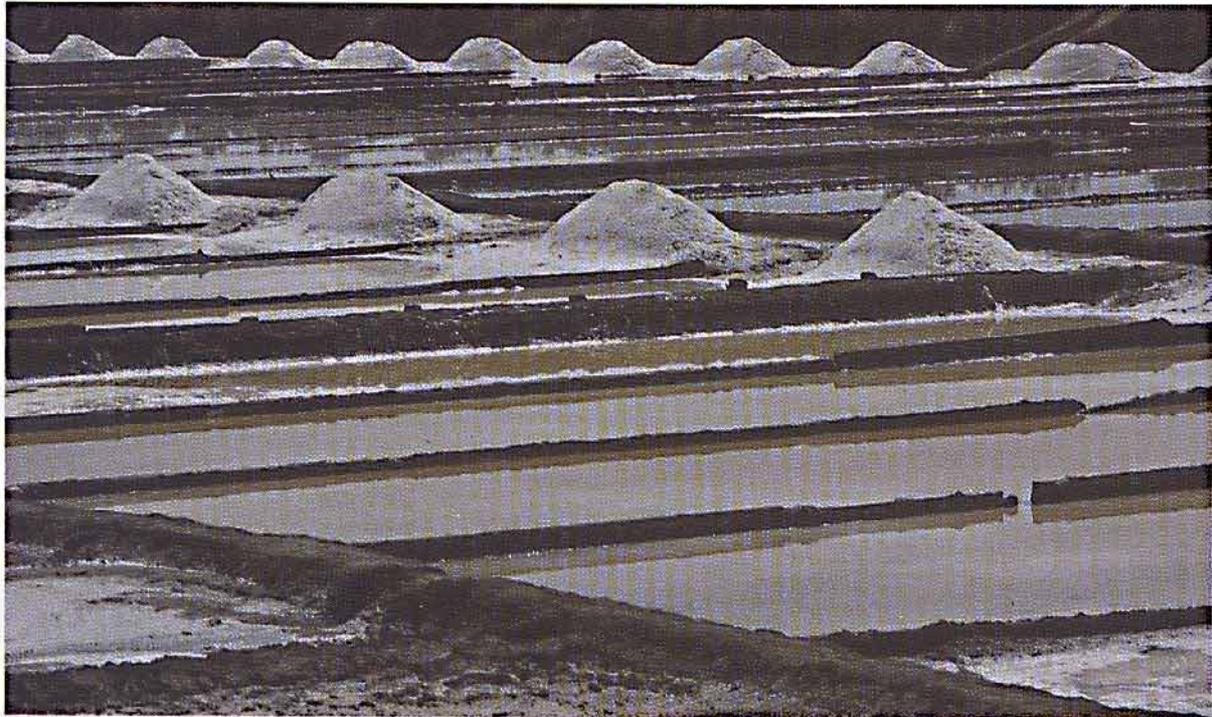


Photo 7.1.2 Les salins constituent d'importants sites de nidification des oiseaux. (Renato Neves)

Suivi des teneurs en toxines responsables de l'IPFM et de l'IDFM dans les bivalves comestibles

Le suivi de ces toxines de mollusques est effectué par l'Institut portugais de recherches marines, IPIMAR. L'objectif consiste à contrôler la qualité des bivalves prélevés dans l'estuaire afin d'éviter de commercialiser des animaux impropres à la consommation humaine.

Qualité de l'eau (INAG)

L'eau du fleuve est régulièrement échantillonnée à différents endroits et toute une gamme de paramètres, tant chimiques qu'organiques, sont mesurés. Cette procédure sert de système d'alerte.

Autres études de référence et programmes à court terme

Phytoplancton et production primaire (Cabeçadas 1993)

Projet de trois ans visant à mesurer la chlorophylle *a* et la densité de cellules ainsi que les matières et le carbone particulaire en différents points d'échantillonnage situés du centre de l'estuaire jusqu'à ses parties amont.

L'échantillonnage a eu lieu chaque mois en cinq points différents, du centre de l'estuaire jusqu'au fleuve Sado, en 1986, 1987 et partiellement en 1988.

Métaux lourds et contaminants organiques dans les marais salants (Pimentel & Costa en prép.)

Ce projet a été mis en place pour évaluer et suivre la contamination des marais salants par les métaux lourds. Il utilise les oiseaux comme indicateurs, et mesure les teneurs en polluants des oeufs et des plumes. D'autres mesures permettent d'établir les taux de substances contaminantes dans les diverses composantes de l'écosystème: sédiments, eau, macro-invertébrés et sel.

Parmi les métaux lourds analysés figurent le cuivre (Cu), le plomb (Pb), le zinc (Zn), le cadmium (Cd) et le mercure (Hg); les polluants organiques visés sont les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les polychlorobiphényles (PCB) et les pesticides organochlorés.

L'échantillonnage suit des gradients temporel et spatial. Quatre sites, couvrant différentes parties de l'estuaire, ont été sélectionnés pour faire l'objet d'un échantillonnage mensuel après que des échantillons de référence aient été prélevés dans une plus large gamme de marais salants dans



Photo 7.1.3 Les marais salés de l'estuaire du Sado ont été autrefois aménagés pour créer des salins, aujourd'hui convertis en bassins aquacoles. (Rui Rufino)

l'estuaire. Le sel a été prélevé dans un nombre limité de marais à la fin de la saison de 1995.

Ce projet a été entrepris en 1994 et 1995.

Éléments nutritifs (Cabeçadas *et al.* 1994)

Les objectifs de ce programme à court terme consistaient à: a) identifier les sources d'éléments nutritifs, évaluer leur importance et définir des modèles de diffusion; b) identifier les processus de production primaire.

Les paramètres mesurés étaient le phosphore (P), l'azote (N), le silicium (Si) et les matières organiques. L'échantillonnage a été effectué à différentes périodes de l'année.

Le projet a duré trois ans.

7.1.3 Programme de suivi proposé pour l'estuaire du Sado

L'estuaire du Sado n'a jamais fait l'objet d'un programme de suivi global mais on dispose cependant d'une quantité considérable d'informations de base grâce aux nombreuses campagnes de collecte de données qui ont été menées au cours des 20 dernières années et quelques programmes de suivi spécifiques sont en cours. La

plupart des données existantes ont été rassemblées indépendamment et on n'a jamais cherché de relations de cause à effet entre tous les paramètres mesurés.

Les responsables gestionnaires prennent leurs décisions sur la base de données recueillies irrégulièrement et aucun programme de suivi n'a encore été mis en place pour fournir des informations et lignes directrices de base.

Cette étude pilote a réuni les compétences d'un groupe de personnes travaillant à l'ICN et à l'université de Lisbonne (Universidade Nova de Lisboa, Dept. de Ambiente), et s'est appuyée sur les informations disponibles. Elle a débouché sur un programme de suivi couvrant une grande gamme de paramètres biologiques, chimiques et physiques, mais centré sur les oiseaux d'eau, une attention particulière étant accordée aux populations et aux facteurs influant sur leurs habitats et leurs ressources alimentaires.

On ne comprend pas encore bien comment la pollution, la surpêche et la perte d'habitats affectent l'avifaune mais on sait que des activités telles que la chasse et le bêchage à la recherche d'appâts réduisent la disponibilité de l'habitat. Cette étude pilote était conçue pour suivre en parallèle les changements d'habitat (en superficie et en qualité) et les populations d'oiseaux et leur succès de reproduction, et fournir ainsi des informations à la fois sur les changements dans la zone humide et l'avifaune qu'elle abrite et sur l'impact des changements sur les oiseaux.



Tableau 7.1.1 Résumé des points clés du programme de suivi pour l'estuaire du Sado.

Problème/question globale	Développement industriel et touristique aux abords de l'estuaire. Développement de l'aquaculture et déclin de l'industrie du sel.
Problème/question spécifique	Perte d'habitats pour les oiseaux d'eau. Problème de contamination des ressources alimentaires des limicoles et des oiseaux d'eau.
Objectif	Suivre le taux de changement de l'habitat, la contamination, les pêcheries traditionnelles, le dragage, les effectifs d'oiseaux d'eau hivernants et reproducteurs et le succès de reproduction.
Hypothèse	La baisse de superficie des habitats disponibles restera faible (moins de 10% par rapport à la moyenne de l'étude pilote) et n'entraînera pas de diminution des effectifs d'oiseaux et de leur succès de reproduction. La contamination et la diminution des ressources resteront faibles, dans des limites définies pour chaque étude.
Méthodes et variables	Mouvements d'eau (en utilisant les informations collectées par l'INAG). Salinité dans les parties amont de l'estuaire. Des méthodes de cartographie seront utilisées pour suivre les taux de changement de l'habitat, en utilisant des photographies aériennes et des cartes topographiques (1:25.000 IGC). Contaminants dans l'eau, les sédiments, les macro-invertébrés et les oeufs et plumes d'oiseaux. Evaluation indirecte de la contamination au moyen d'assemblages d'invertébrés (Warwick 1981). Recensement des oiseaux hivernant et nicheurs pour établir des indices de population (Underhill & Prys-Jones 1994). Réussite de reproduction, en termes de production annuelle de jeunes, pour l'Echasse blanche et la Sterne naine. L'effort de pêche sera mesuré, en utilisant les prises déclarées et en effectuant des recensements réguliers de personnes cherchant des appâts sur certains sites. Le dragage sera mesuré en utilisant les données de débarquement.
Faisabilité/rentabilité	Matériel de l'UNL (université de Lisbonne). Personnel permanent de l'ICN, étudiants en dernière année et personnel permanent de l'UNL. Entretien du matériel faisant partie des tâches normales de l'UNL.
Echantillonnage	Echantillonnage de la macro- et méiofaune sur sept sites différents, comportant dix ou cinq répliquats, et couvrant trois types de sédiments. Echantillonnage systématique de toutes les plumes de poussins disponibles pour les échasses blanches et les sternes naines. Echantillonnage aléatoire des oeufs d'oiseaux pour les espèces les plus communes et de ce que l'on trouvera pour les autres espèces. Eau, sédiments et espèces de macro-invertébrés indicateurs, dans les zones intertidales et les marais salants.
Analyse des échantillons	Diverses techniques, en fonction du sujet.
Préparation du rapport	Les données ayant fait l'objet d'une analyse statistique seront transmises aux responsables de la Réserve naturelle, afin de définir des politiques et de prendre des mesures de gestion.

Identification des problèmes

La zone est le siège de plusieurs de formes de pollution: eaux usées des zones urbaines environnantes, effluents industriels, pollution thermique due à la centrale électrique, pesticides et engrais s'écoulant des rizières et fuites de résidus de la mine en amont.

Parallèlement, les responsables de la Réserve naturelle font l'objet de nombreuses pressions pour permettre le développement d'une large gamme d'activités ayant (ou pouvant avoir) des impacts significatifs sur les populations d'oiseaux d'eau fréquentant l'estuaire: exploitations piscicoles, tourisme, pêche et aménagement portuaire notamment.

Fixation d'objectifs

L'objectif de gestion consiste à maintenir ou accroître les populations d'oiseaux d'eau fréquentant l'estuaire

du Sado, puisqu'elles constituaient l'une des raisons principales de la désignation comme Réserve naturelle.

Le but du programme est de suivre le taux de *changement des habitats*, les niveaux de *contamination* des sources de nourriture des oiseaux d'eau, les *pêcheries traditionnelles*, le taux de *dragage*, les changements dans les *populations hivernantes et reproductrices* et les changements dans le *succès de reproduction*. Il est également prévu que ce programme fournisse aux autorisés et aux responsables du site les informations indispensables pour prendre les décisions qui s'imposent en matière d'avifaune et d'intégrité et de qualité de la zone humide.

Etablissement de l'hypothèse et choix des paramètres et techniques

L'approche portera sur deux niveaux: *changements de superficie* et *changements de la qualité* de la zone



humide. Deux groupes distincts de paramètres seront choisis pour évaluer ces deux types de changement.

■ *Changements de superficie*

Les variations de superficie seront suivies pour les habitats suivants:

Zones intertidales (traitées comme trois types distincts: vasières, bancs de sable et bancs de sable vaseux). Une étude complète sera effectuée au démarrage de l'étude pilote. Sur la base d'un choix de transects, on notera chaque année les changements parallèlement à une étude des superficies perdues par comblement. Variation acceptable pour une période de dix ans: écart de 10% par rapport à la référence.

Marais salés. Une étude complète sera effectuée au démarrage de l'étude pilote. Pour mesurer les changements, on définira un ensemble de transects et les changements seront notés chaque année. Variation acceptable pour une période de 10 ans: écart de 10% par rapport à la référence.

Marais salants (subdivisés en trois catégories: marais salants actifs, partiellement actifs et inactifs). Une étude complète existe déjà et sera mise à jour chaque année au moyen de photographies aériennes et d'enquêtes sur le terrain. Des limites devront être

établies pour chaque catégorie mais pour le groupe en entier, on définira comme variation acceptable un écart de 10% par rapport à la référence.

Aquaculture. Une étude complète existe déjà et sera mise à jour chaque année au moyen de photographies aériennes et d'enquêtes sur le terrain. Variation acceptable: augmentation de superficie inférieure à 10% par rapport à ce qu'avaient révélé les récentes enquêtes de terrain (ce qui tient compte du fait que près de 35% des marais salants existants ont déjà été convertis à l'aquaculture ou détruits au cours des 10 dernières années).

Rizières: Une étude complète sera effectuée au démarrage de l'étude pilote. Les changements seront notés chaque année grâce à des enquêtes sur le terrain. Variation acceptable: écart de 30% par rapport aux conditions de référence (ce changement dépend beaucoup de la disponibilité d'eau. Le but est de limiter le remplacement permanent du riz par d'autres cultures telles que celle du tournesol).

NB: Les limites des variations acceptables ont toutes été établies pour une période de dix ans.

Pour mesurer ces changements, on fera appel à l'analyse de photographies aériennes de l'ensemble de la zone estuarienne en s'appuyant sur la couverture disponible, dont la périodicité est de 5 à 10 ans. Parmi les ressources photographiques

Tableau 7.1.2 Programme de suivi simplifié pour l'estuaire du Sado.

Problème/question global(e)	Développement industriel et touristique aux abords de l'estuaire. Développement de l'aquaculture et déclin de l'industrie du sel.
Problème/question spécifique	Perte d'habitats pour les oiseaux d'eau.
Objectif	Suivre le taux de changement de l'habitat, les pêcheries traditionnelles, le dragage, les effectifs d'oiseaux d'eau hivernants et reproducteurs et le succès de reproduction.
Hypothèse	La baisse de superficie des habitats disponibles restera faible (moins de 10% par rapport à la moyenne de l'étude pilote) et n'entraînera pas de diminution des effectifs d'oiseaux et de leur succès de reproduction.
Méthodes et variables	Des méthodes de cartographie seront utilisées pour suivre les taux de changement de l'habitat, en utilisant des photographies aériennes et des cartes topographiques (1:25.000 IGC). Recensement des oiseaux hivernant et nicheurs pour établir des indices de population (Underhill & Prys-Jones 1994). Réussite de reproduction, en termes de production annuelle de jeunes, pour l'Echasse blanche et la Sterne naine. L'effort de pêche sera mesuré, en utilisant les prises déclarées et en effectuant des recensements réguliers de personnes cherchant des appâts sur certains sites. Le dragage sera mesuré en utilisant les données de débarquement.
Faisabilité/rentabilité	Personnel permanent de l'ICN.
Echantillonnage	Diverses méthodes, en fonction du sujet.
Analyse des échantillons	Diverses techniques, en fonction du sujet.
Préparation du rapport	Les données ayant fait l'objet d'une analyse statistique seront transmises aux responsables de la Réserve naturelle, afin de définir des politiques et de prendre des mesures de gestion.

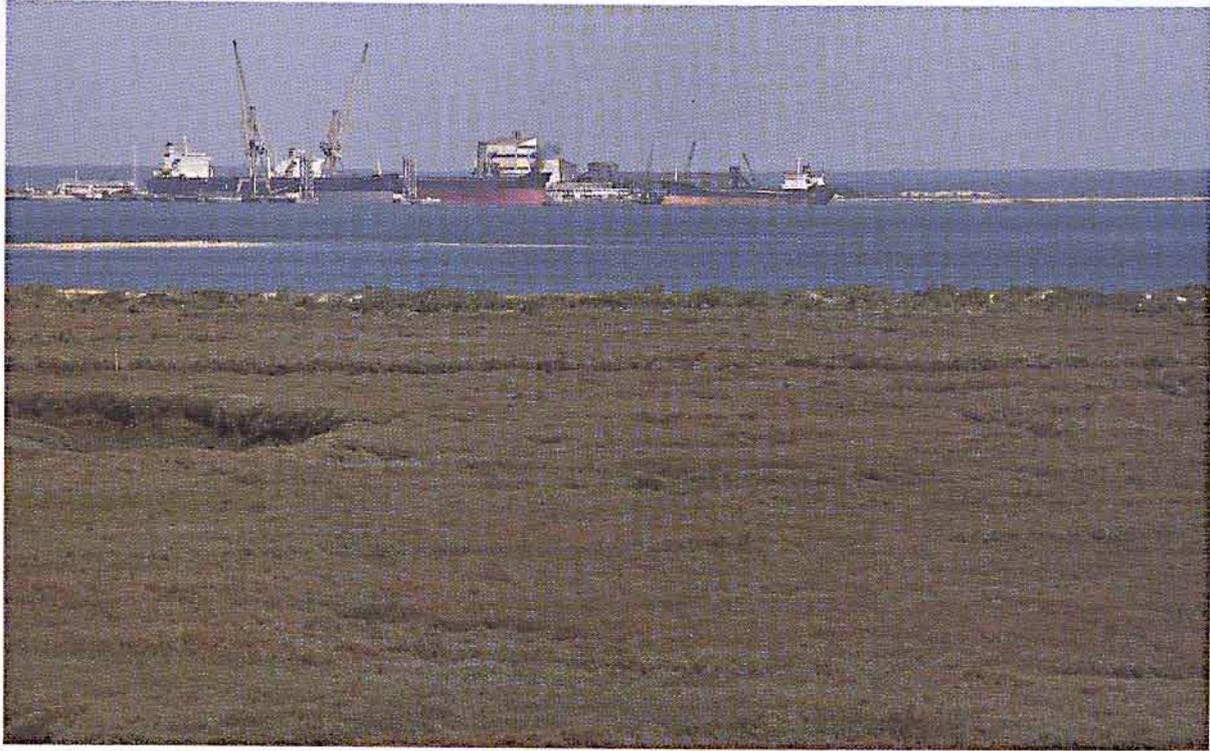


Photo 7.1.4 L'agrandissement du port de Setubal menace les zones intertidales et les marais salés de l'estuaire du Sado. (Rui Rufino)

disponibles figurent: une série de 1990 infrarouges couleur au 1:15.000; une série de 1994 en noir et blanc (panchromatique) au 1:15.000 et une série de 1995 infrarouges couleur au 1:40.000. Pour obtenir des estimations de référence pour les trois différents types de sédiments estuariens, on préférera les images satellitaires. Les zones choisies pour établir des transects seront reportées sur des cartes en se basant sur les images satellitaires et les photographies aériennes.

L'analyse portera sur les tendances. Il conviendra à cet effet de tenir compte des facteurs affectant temporairement la superficie de chaque type d'habitat, caractéristiques climatiques notamment, telles que les sécheresses et les inondations.

Les résultats devraient être utilisés par les responsables de la conservation et de l'occupation des sols pour préparer des politiques visant à bloquer le processus de dégradation. L'identification de tendances fournira aussi des informations de référence pour interpréter les changements dans les populations d'oiseaux et autres communautés biologiques.

■ *Changements de la qualité de la zone humide*

Le programme de suivi est centré sur les populations d'oiseaux d'eau et sur les facteurs affectant leurs habitats et leurs ressources alimentaires. Il porte donc

sur des paramètres pouvant être mesurés: changements d'effectifs pour les espèces hivernantes et nicheuses; succès de reproduction pour les espèces nichant dans l'estuaire; facteurs influant, directement ou indirectement, sur le succès de reproduction; facteurs affectant la disponibilité d'aliments, tant en termes de baisse réelle de stocks que de réduction d'accès à ces stocks; et facteurs affectant le système dans son ensemble et donc, indirectement, les oiseaux, leurs habitats et leurs ressources alimentaires. Les mesures seront effectuées directement ou par le biais d'indicateurs, tels que les plumes et les oeufs des oiseaux.

Pour obtenir ces informations, les paramètres suivants ont été sélectionnés:

a) *Populations d'oiseaux d'eau hivernants et nicheurs*

Des recensements des oiseaux d'eau (limicoles et canards) seront effectués régulièrement au milieu de l'hiver dans les reposoirs de marée haute sur l'ensemble de l'estuaire. Les zones de refuge ainsi identifiées seront reportées sur les cartes nationales au 1:25.000 de l'IGC. Les recensements et la représentation cartographique auront lieu chaque année, en janvier.

Les populations reproductrices d'échasses blanches *Himantopus himantopus*, de sternes naines *Sterna*



Photo 7.1.5 Marais salés de l'estuaire du Sado. (Rui Rufino)

albifrons et d'aigrettes garzettes *Egretta garzetta* seront recensées et reportées sur des cartes chaque année. Les méthodes et l'époque seront déterminées en fonction des espèces. Les estimations des populations reproductrices d'échasses blanches et de sternes naines seront basées sur un recensement des adultes présents fin mai/début juin. Pour l'Aigrette garzette, un recensement des nids occupés sera effectué en mai dans la colonie la plus proche (barrage de Murta). La répartition des oiseaux reproducteurs sera reportée sur des photographies aériennes au 1:15.000.

Une estimation du succès de reproduction des échasses blanches sera effectuée chaque année et combinera les résultats de deux recensements, effectués l'un à la fin du mois de juillet, quand presque tous les oisillons ont pris leur envol, l'autre fin juin portant sur les oiseaux territoriaux.

Les effectifs d'oiseaux hivernants et reproducteurs seront analysés au moyen d'un indice de population (voir par exemple Underhill & Prys-Jones 1994) afin d'identifier des tendances. La variation acceptable a été fixée à 20% par rapport à la moyenne 1991-1996 si les changements peuvent être attribués à des facteurs affectant l'estuaire. Ceci n'est pas toujours le cas, surtout pour les espèces migratrices, dont les populations peuvent être affectées par des problèmes distants de l'estuaire, dans les sites de reproduction ou d'hivernage par exemple.

Les changements de répartition des oiseaux seront aussi analysés en rapport avec l'utilisation et la disponibilité des habitats afin d'identifier des tendances.

Les indices de changement d'effectifs et de répartition devraient constituer de précieuses lignes directrices pour les responsables de l'application de mesures de gestion et de protection.

b) Facteurs pouvant affecter le succès de reproduction

Les niveaux d'eau constituent un des facteurs primordiaux du succès de reproduction pour un certain nombre d'oiseaux d'eau. Ils doivent ainsi être relativement stables: trop élevés, les nids pourraient être inondés, trop bas, le contenu des nids serait à portée des prédateurs terrestres, mammifères en particulier. Les niveaux d'eau seront estimés dans les sites potentiels de reproduction pour la partie de l'estuaire fréquentée par les oiseaux nicheurs, c'est-à-dire les marais salants, les rizières et le réservoir où niche l'Aigrette garzette.

Les niveaux d'eau seront mesurés fin mai dans tous les compartiments des marais salants et au barrage de Murta. Ces mesures fourniront des informations sur la quantité d'habitats disponibles comme sites de reproduction et permettront d'identifier des tendances dans ce domaine.



La variation acceptable sera fixée à 20% (écart par rapport aux conditions de référence qui seront définies comme la moyenne des mesures effectuées au cours des deux dernières années en termes de superficie de marais salants avec un niveau d'eau adéquat) mais on tiendra compte des facteurs climatiques temporaires lors de l'estimation du taux de changement.

La présence de contaminants dans les oeufs et les proies des oiseaux d'eau, de métaux lourds et de composés organiques notamment, peut affecter le succès de reproduction si elle dépasse certaines limites. On mesurera donc les quantités de Cu, Pb, Zn, Cd, et Hg ainsi que d'HAP, de PCB et de pesticides organochlorés.

L'échantillonnage des oeufs est conçu pour couvrir les variations spatiales dans l'estuaire ainsi que les variations temporelles pendant la saison de reproduction. Pour les métaux lourds, les prélèvements seront analysés par spectrophotométrie d'absorption atomique/four au graphite avec digestion préalable à l'acide. Les contaminants organiques seront soumis à une analyse qualitative et semi-quantitative des groupes dominants par des techniques chromatographiques de hautes précision et résolution (HPLC-DA et HRGC-MS).

c) Disponibilité d'aliments pour les limicoles et facteurs pouvant l'affecter

Les espèces de macrofaune constituent la principale source alimentaire pour les limicoles fréquentant l'estuaire en hiver et pendant les périodes de migration. Les limicoles nicheurs utilisent presque exclusivement les marais salants où la disponibilité d'aliments dépend étroitement des niveaux d'eau. On s'attachera à mesurer les changements dans l'abondance de certaines espèces composant l'essentiel des proies des limicoles hivernants: les polychètes *Diopatra neapolitana*, *Marphysa sanguinea* et *Hediste diversicolor*, les bivalves *Scrobicularia plana* et espèces de la famille des *Cardidae* et les crustacés de la famille des *Peracaridae*.

L'échantillonnage a été conçu pour couvrir trois types de substrats (vase, sable et sable vaseux) et portera sur un total de 7 sites, 10 répliquats étant prélevés sur chaque site. Une carotte en PVC d'un diamètre intérieur de 121 mm sera utilisée pour prélever le substrat jusqu'à 30 cm de profondeur. Les matériaux ainsi prélevés seront passés au tamis à mailles de 1 mm et les animaux conservés dans le formol.

Les espèces seront triées en laboratoire et les espèces cibles comptées par classes de taille. Ces données

seront stockées dans une base de données et soumises à une analyse de tendance.

Certains limicoles consomment des espèces de la méiofaune qui peuvent ainsi également fournir des informations sur les niveaux de contamination de l'écosystème. On échantillonnera donc ce groupe d'animaux pour suivre la disponibilité d'aliments pour les limicoles hivernants et les niveaux de contamination du substrat.

Les sites d'échantillonnage seront les mêmes que pour la macrofaune mais on ne fera que cinq répliquats par site. Les matériaux prélevés seront tamisés une première fois avec des mailles de 1 mm, puis avec des mailles de 63 µm pour isoler la méiofaune. Après décantation, floculation au Ludox™ et lavage à l'eau douce, les groupes les plus significatifs en termes d'abondance seront comptés et triés.

Les données seront analysées afin de calculer un indice pour le rapport nématodes/copépodes (Warwick 1981), des estimations de densité pour les groupes les plus significatifs, une évaluation de l'abondance relative de ces groupes et des indices de diversité et d'homogénéité et d'établir des courbes de dominance K.

La pêche et le bêcheage pour la récolte d'appâts ont un impact sur les stocks de macro- et de méiofaune et perturbent les oiseaux. On contrôlera les prises déclarées des espèces commerciales de poissons, de coques et de *Scrobicularia plana*; bien qu'elles restent en deçà des captures totales, on pense que les deux types de données sont liées. Pour *Marphysa sanguinea* et *Diopatra neapolitana*, des mesures seront également effectuées pour obtenir une estimation de "l'effort" et on se basera sur des comptages de personnes cherchant les appâts dans les vasières, sur le temps qu'elles consacrent à cette activité et sur les quantités moyennes prélevées par personne.

Comme mesure indirecte de la nourriture disponible pour les oiseaux grâce à l'aquaculture, on recueillera des informations sur la proportion des diverses espèces cibles utilisées par les producteurs et sur les cycles d'exploitation piscicole.

Perturbation due à la chasse: bien qu'elle soit interdite dans la majeure partie de l'estuaire, la chasse est pratiquée de manière illégale dans la partie méridionale du site. On sait que qu'elle a tendance à éloigner les oiseaux de leurs zones d'alimentation et cet impact peut être mesuré. On obtiendra une estimation du nombre total de chasseurs-jours grâce à des visites régulières dans les zones de braconnage.



d) Facteurs affectant l'ensemble du système

La salinité sera mesurée dans la partie amont de la zone afin de suivre les changements dans le modèle de diffusion dans l'estuaire.

Pour compléter ces informations, on obtiendra des données de précipitation pour le bassin versant du Sado auprès des services météorologiques nationaux.

La pollution est un facteur qui affecte les oiseaux et leurs ressources alimentaires; elle fera l'objet de deux types de mesures:

- a) Directes: par le biais d'analyses de l'eau, des sédiments et des proies, tant dans l'estuaire que dans les marais salants, afin de détecter la présence de polluants dans les sédiments et dans l'eau;
- b) Indirectes: en suivant la qualité des sédiments par l'utilisation des structures communautaires de la méiofaune et de la macrofaune comme indicateurs des taux de pollution dans le substrat. On entreprendra un échantillonnage de larves de chironomides, les marais salants servant de zones témoin.

Les niveaux de polluants dans les oeufs d'oiseaux fourniront aussi des informations sur le degré de contamination, notamment dans les marais salants, et ces données seront complétées par la recherche de contaminants dans les plumes d'oisillons de toute une gamme d'espèces.

On mesurera les quantités de Cu, Pb, Zn, Cd, et Hg ainsi que d'HAP, de PCB et de pesticides organochlorés. Pour les métaux lourds, les prélèvements seront analysés par spectrophotométrie d'absorption atomique/four au graphite avec digestion préalable à l'acide. Les contaminants organiques seront soumis à une analyse qualitative et semi-quantitative des groupes dominants par des techniques chromatographiques de hautes précisions et résolution (HPLC-DA et HRGC-MS).

Il n'a pas été possible de trouver des données bibliographiques de référence en ce qui concerne les niveaux maximum et minimum de contaminants (métaux lourds et micropolluants organiques) dans les plumes et les oeufs des oiseaux. Ce type d'information n'est disponible que pour certains organes et espèces dans des conditions physiologiques données. Les informations qui seront recueillies ne pourront être examinées qu'en termes relatifs, en tenant compte des concentrations dans l'environnement et des données publiées pour les mêmes espèces dans des zones différentes. Il n'est

donc actuellement pas possible d'établir des limites de tolérance pour ces paramètres.

L'utilisation de produits agrochimiques aux abords de l'estuaire fera l'objet d'un suivi par enquêtes directes auprès des agriculteurs et dans les points de vente de ces produits. On cherchera également à obtenir des informations sur les modes et l'intensité d'utilisation de ces produits. Il faudra ici faire confiance aux agriculteurs.

Le dragage affecte la structure sédimentaire directement, par prélèvement et agitation des sédiments, et indirectement, par interférence avec la circulation de l'eau. On suivra les quantités de sable débarquées à Setúbal ainsi que l'effort de dragage commercial dans l'estuaire.

7.1.4 Problèmes

D'une manière générale, le travail sur le terrain ne devrait pas poser trop de problèmes, si les exigences préalables sont remplies. On anticipe cependant des difficultés dans certains cas, notamment:

- a) Le succès de reproduction des échasses blanches n'est pas facile à mesurer. Les jeunes de cette espèce sont nidifuges et difficiles à trouver. L'espèce est très territoriale et se reproduit en colonies éparses, ce qui rend la détection des jeunes encore plus difficile. Les oiseaux ayant récemment pris leur envol peuvent aisément quitter la zone de reproduction. On utilisera donc une estimation mais il faut encore vérifier qu'elle se rapporte réellement à la production;
- b) Le prélèvement des bivalves et le bêcheage pour la récolte d'appâts sont des activités imparfaitement contrôlées par les services de la pêche et il n'y a donc pas de statistiques pour les prises réelles. Des techniques indirectes devront par conséquent être mises au point et on s'appuiera probablement sur une combinaison d'enquêtes, d'évaluations des prises et d'informations disponibles auprès des services sanitaires contrôlant les bivalves de l'estuaire;
- c) L'impact du dragage sera aussi difficile à évaluer correctement. Bien que des données sur les quantités de sable débarquées soient disponibles, l'origine des matériaux n'est pas indiquée. Les chiffres disponibles seront utilisés conjointement avec les données officielles concernant les concessions.



RÉFÉRENCES

- Cabeçadas, G., M.J. Brogueira and C. Rocha. 1994. The nutrients in the control of primary productivity at the Sado estuary. Seminário sobre Recursos Haliêuticos, Ambiente, Aquacultura e Qualidade do Pescado da Península de Setúbal. *Publ. avulsas do IPIMAR* 1: 61–70. [In Portuguese]
- Cabeçadas, L. 1993. Phytoplankton Ecology in the Sado Estuary (Portugal): towards a conservation strategy. *Estudos de Biologia e Conservação da Natureza* 10. SNPRCN, Lisboa, Portugal. 40 pp. [In Portuguese]
- Neves, R. and R. Rufino. 1995. The salt pans of the Sado estuary; its ornithological importance. *Estudos de Biologia e Conservação da Natureza* 15. ICN, Lisboa, Portugal. 37 pp. [In Portuguese]
- Pimentel, C. and M.H. Costa (in prep.). The salt pans of the Sado estuary. Heavy metal contamination, Bio-accumulators and Bio-indicators. V National Conf. on Environment Quality. [In Portuguese]
- Rufino, R. 1988. Waterfowl counts – Jan/Feb 1988. CEMPA, Lisboa, Portugal. 15 pp. [In Portuguese]
- Rufino, R. 1990. Waterfowl counts – Winter 1987 and 1990. CEMPA, Lisboa, Portugal. 30 pp. [In Portuguese]
- Rufino, R. 1992. Winter Waterfowl counts – Jan 1992. *Estudos de Biologia e Conservação da Natureza* 12. SNPRCN, Lisboa, Portugal. 29 pp. [In Portuguese]
- Rufino, R. and L.T. Costa. 1993. Waterfowl counts in Portugal – January 1993. *Airo* 4 (2): 57–67. [In Portuguese]
- Underhill, L.G. and R.P. Prys-Jones. 1994. Index numbers for waterbirds. I. Review and methodology. *Journal of Applied Ecology* 31: 463–480.
- Warwick, R.B. 1981 – The nematode/copepod ratio and its use in pollution ecology. *Mar. Pollut. Bull.* 12: 329–333.

7.2 S'Albufera de Mallorca, Espagne



Nick Riddiford et Joan Mayol Serra



Photo 7.2.1 Vue aérienne d'anciennes rizières aujourd'hui recolonisées par la roselière. (Gabriel Pereñó)

7.2.1 Description du site

Localisation, taille, physiographie

S'Albufera de Mallorca, 39°47'N 3°6'E, est une zone humide côtière de 1.700 ha située au nord-est de Majorque, Espagne (figure 7.2.1). La zone est plate et dépasse très peu le niveau de la mer; elle est délimitée par la mer, les aménagements touristiques et les terres agricoles. Une bande intérieure de dunes stabilisées interrompt partiellement la zone humide. S'Albufera fait partie de la plaine de Sa Pobla, formée d'une épaisse couche de 30 à 40 m de sédiments du quaternaire. Le climat est typiquement méditerranéen, quoique légèrement plus doux et pluvieux qu'aux alentours.

Types de zones humides présents dans le site

Parmi les types Ramsar de zones humides présent dans le site figurent: des fagnes alcalines non boisées (U), des marais/mars d'eau douce permanents (Tp), des marais salés (H), des lagunes côtières saumâtres/salées (J), des lagunes côtières d'eau douce (K), des marais/mars salés/saumâtres/alcalins permanents (Sp), des marais/mars salés/saumâtres/alcalins saisonniers (Ss), et des sources d'eau douce (Y). Une étroite communication permanente et deux canaux contrôlés par des vannes relie une partie du marais à la baie d'Alcudia où l'on trouve trois autres types Ramsar de zones humides: eaux marines peu profondes, permanentes, d'une profondeur inférieure à six mètres (A); lits marins subtidaux, formés par des herbiers à *Posidonia oceanica* (B); plages de sable, comprenant 1,5 km d'une plage de 10 km de sable de coquillages, bordée d'une bande de dunes

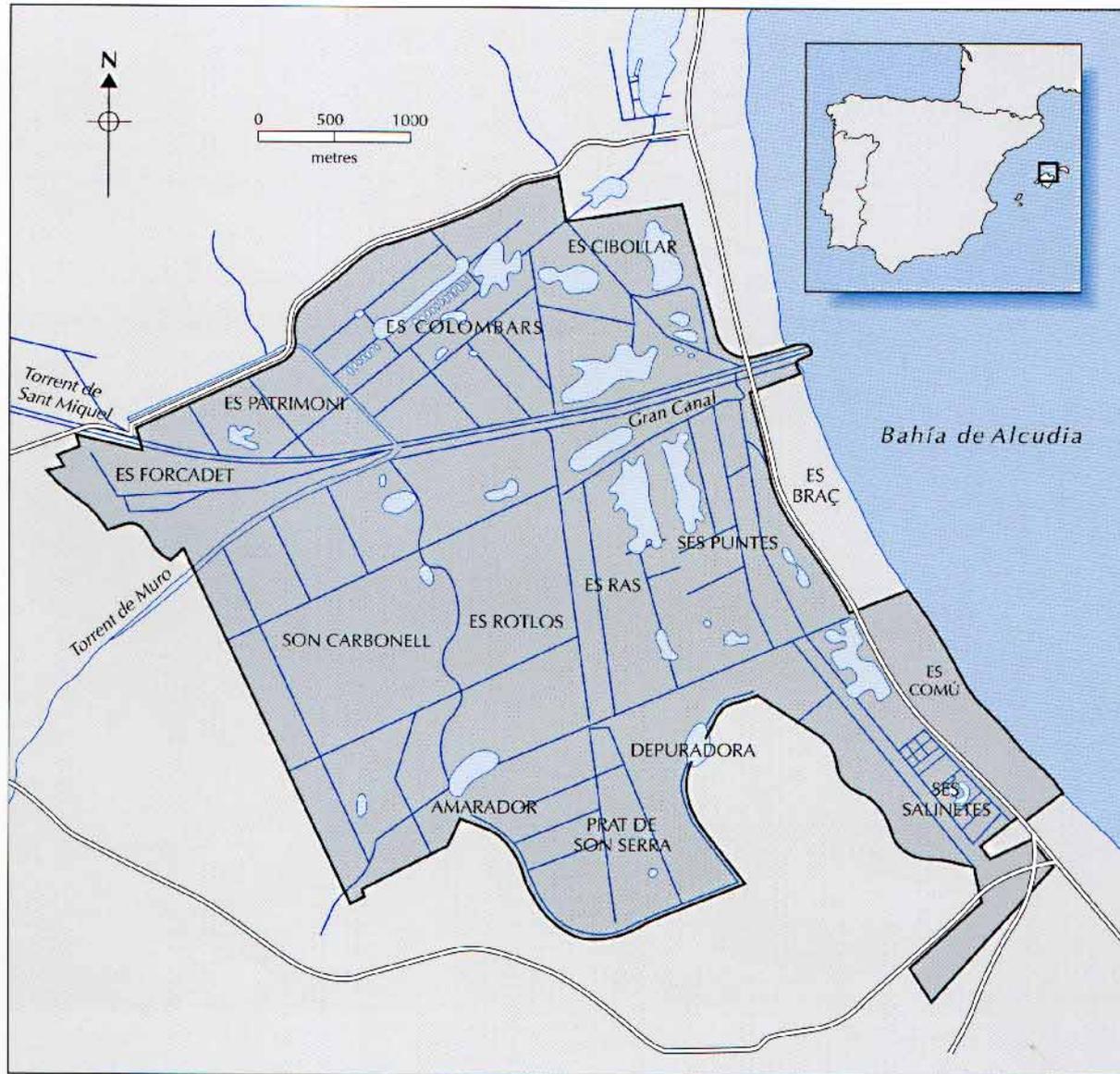


Figure 7.2.1 S'Albufera de Mallorca, Espagne.

côtières large de 0,5 km qui a commencé à se former il y a 10.000 ans environ (E). Un habitat de rivage marin rocheux (D) est simulé par les blocs rocheux qui ont été disposés pour canaliser la jonction entre le marais et mer. Voir aussi le tableau 7.2.1.

Principales valeurs du site

Au nombre des produits, il faut citer la pêche traditionnelle aux anguilles, les ressources fourragères, maintenant limitées à un pâturage à des fins écologiques, et les ressources agricoles puisque les cultures des alentours bénéficient du maintien d'un niveau piézométrique élevé et des mesures prises par les entreprises et les gestionnaires pour améliorer et/ou préserver la qualité de l'eau. Les espèces sauvages

constituent les produits les plus importants de la zone et sont à l'origine de sa désignation comme Parc naturel en 1988. Celle-ci reconnaissait la richesse biologique du site et son importance pour la conservation, y compris pour l'éducation environnementale, et pour le "tourisme vert".

Les attributs biologiques sont nombreux et peuvent se décliner aux niveaux international, national et régional; on peut citer notamment: des populations reproductrices d'un certain nombre d'espèces de vertébrés rares au plan international ou national; des invertébrés rares et récemment découverts; et des espèces végétales endémiques et rares dans le pays. Au niveau régional, S'Albufera augmente la diversité biologique déjà riche de Majorque en présentant des habitats et des espèces qu'on ne trouve pas ou guère



Tableau 7.2.1 Catégories et étendue des biotopes CORINE à S'Albufera de Mallorca.

CATÉGORIE	Code CORINE	Superficie (%)
Fagnes à laïches (<i>Cladium mariscus</i>)	53.31	49
Roselières à <i>Phragmites</i> inondées	53.111	24
Roselières à <i>Phragmites</i> sèches	53.112	10
Roselières à <i>Phragmites</i> géants	53.113	4
Marais salés à grands joncs méditerranéens	15.51	1
Broussailles salées méditerranéennes	15.61	1
Prairies halo-psammophiles méditerranéennes	15.53	0.5
Communautés d'eaux ouvertes:		(10.5)
Etendues de <i>Chara</i>	22.441	5
Petites communautés à <i>Potamogeton</i>	22.422	2.5
Communautés à <i>Ruppia</i> d'eaux salées et saumâtres	23.211	2.5
Faux eutrophes	22.13	0.5

ailleurs sur l'île. Le site a une réputation internationale et attire de grands nombres d'amateurs de faune sauvage de toute l'Europe.

L'histoire de S'Albufera est bien documentée et remonte à l'époque romaine, la zone humide étant alors beaucoup plus grande. Le site occupe une place importante dans le folklore et l'identité culturelle de la population locale, et est apprécié pour son rôle de tampon contre l'intrusion saline (essentiel pour la communauté agricole) et pour sa contribution au tourisme de vision des espèces sauvages, qui, entre autres attributs, a valu à la région son "label de qualité" environnemental et a permis d'étendre la saison touristique au printemps et en automne.

Occupation des sols et principales menaces

Seules les activités compatibles avec la conservation de la nature sont autorisées: pêche limitée et réglementée aux anguilles, pêche à la ligne soumise à un permis, pâturage du bétail à des fins de conservation, accès réglementé des visiteurs et recherche scientifique. A ces activités s'ajoutaient autrefois la production de papier à partir des roselières et la production de sel ainsi que la chasse et la riziculture qui sont encore pratiquées dans des zones humides extérieures au Parc. L'urbanisation a par ailleurs entraîné la disparition de ce type d'écosystème, bien qu'il subsiste deux lagunes au nord et qu'une station d'épuration d'eau ait été installée à la limite sud du parc.

La désignation comme parc naturel a éliminé le risque de développement au sein de la zone. L'impact sur la qualité de l'eau d'éléments nutritifs ruisselant des terres agricoles et des apports de phosphates provenant des importants complexes touristiques du littoral constitue cependant une sérieuse menace pour le site. Parmi les autres impacts du tourisme figurent les dommages dus à l'érosion de la bordure maritime des dunes côtières, les

ordures laissées sur ces dunes et un risque permanent d'incendie. La question de l'utilisation des ressources en eau se pose également, de manière particulièrement aiguë récemment suite à l'extraction d'eau de la nappe de S'Albufera pour approvisionner les populations humaines ailleurs sur l'île. Le niveau de pollution due à une centrale électrique fonctionnant au charbon, située juste au nord du Parc, est inconnu.

Propriété, statut légal et organisme de gestion

Au total, ce sont 1.708,75 ha, incluant presque toute la zone humide actuelle, qui ont formé le Parc naturel de S'Albufera par décret du gouvernement baléaire en 1988. Ce Parc appartient en copropriété au gouvernement baléaire, au Ministère espagnol de l'agriculture, des pêches et de l'alimentation (MAPA) et à la municipalité de Muro; en outre, il reste quelques propriétaires privés dans une petite partie du Parc. Le site a été déclaré Zone de Protection Spéciale dans le cadre de la Directive Oiseaux de la CE en septembre 1987. Le Parc est géré par le Département de l'agriculture et des pêches du gouvernement baléaire, qui suit dans ce domaine les directives établies dans un Plan d'utilisation et de gestion par la direction du Parc et approuvées par le Conseil d'administration (*Junta Rectora*). La *Junta* agit en tant qu'organe consultatif et comprend des représentants d'agences gouvernementales et non-gouvernementales s'intéressant au site. Une petite partie de la zone humide actuelle est extérieure à l'aire protégée.

Autre aspects pertinents

En dehors d'une interdiction d'urbanisation sur les limites ouest et sud-ouest du Parc, il n'y a pas de réelle zone tampon. Le Parc doit chercher un équilibre entre les objectifs de gestion pour la conservation et certaines exigences et besoins locaux (par exemple pour éviter d'inonder les terres agricoles adjacentes).

7.2.2 Programmes de suivi existants

Le suivi est essentiellement assuré par deux organismes: la direction du Parc et le projet S'Albufera. L'université des îles Baléares (UIB) participe à certaines activités, et d'autres universités et scientifiques de divers pays ont entrepris des recherches sur le site.

Les activités de suivi menées par la direction du Parc sont précisées dans le plan de gestion. Elles dépassent ce qu'auraient permis les seuls financements et structures du Parc grâce à la coopération entreprise avec une agence internationale, Earthwatch Europe, pour mettre



Photo 7.2.2 La proximité d'exploitations agricoles intensives à l'ouest de S'Albufera entraîne une forte entrée des nitrates dans la zone humide. (Gabriel Perelló Coll)

en place un programme de recherche scientifique dont un des thèmes majeurs est le suivi, programme reposant sur l'équipe scientifique multidisciplinaire du projet S'Albufera de Earthwatch Europe.

Le projet S'Albufera

Le projet S'Albufera repose sur une équipe indépendante de scientifiques affiliés à Earthwatch Europe, un organisation de bienfaisance fournissant des fonds et des bénévoles pour des études scientifiques de terrain. Il s'agit d'une entreprise conjointe qui englobe des études de suivi entreprises par le projet, la direction du Parc et l'UIB.

Objectifs du suivi

Le projet a défini cinq objectifs, dont deux sont liés au suivi. Le premier consistait à recueillir des informations de référence (rassembler des données écologiques complètes et détaillées permettant de comprendre la composition, le fonctionnement et la dynamique des écosystèmes, ainsi que des données sur l'utilisation par le public, y compris l'utilisation par les visiteurs et leur impact). Le second objectif visait à fournir des données comparatives standardisées pour mettre en évidence des changements écologiques,

données qu'il conviendra de récolter à nouveau à intervalles réguliers pour fournir un modèle pour d'autres stations de suivi. Les autres objectifs étaient les suivants: fournir des informations pour l'application dans d'autres recherches et activités de gestion de la réserve à S'Albufera et dans les pratiques générales de conservation; fournir des ressources pour des programmes de sensibilisation et d'éducation et pour la diffusion des informations sous toutes les formes appropriées; servir de centre d'éducation de la population et des visiteurs de tous groupes d'âge et niveaux et contribuer à la sensibilisation du public et à l'émergence d'un engagement en faveur de l'environnement. Le projet s'appuie sur une combinaison d'activités d'inventaire, de suivi et de recherche appliquée pour atteindre ses objectifs.

Paramètres mesurés et techniques utilisées

Plus de 80 études de suivi, de surveillance et de recherche appliquée, faisant appel à divers paramètres et techniques, ont été entreprises au cours des six premières années du projet. Dans le cadre de la présente étude pilote, on utilisera les paramètres et techniques qui s'appliquent aux principaux aspects du suivi des zones humides (voir la proposition de programme de suivi présentée aux tableaux 7.2.3 à 7.2.6).



Photo 7.2.3 Le dragage a été utilisé à s'Albufera pour rétablir la circulation naturelle de l'eau. (Gabriel Perelló)

Ressources disponibles: personnel, matériel, coût

Le projet S'Albufera repose sur des équipes de scientifiques et de bénévoles. Le personnel du Parc mène également des activités de suivi. Le chercheur principal, Nick Riddiford, est responsable de la planification et de l'administration du projet. Certaines dépenses de matériel ont été prises en charge par Earthwatch Europe, d'autres ont été réglées grâce à d'importantes subventions ou à des prêts de l'UIB. Le financement du projet est assuré par Earthwatch Europe et son partenaire américain, Earthwarch (Boston), et provient essentiellement des contributions des bénévoles participant au projet. Des estimations annuelles de coûts sont faites pour chaque ligne budgétaire et on trouvera à titre d'exemple le budget pour l'année 1996 au tableau 7.2.2. Le projet S'Albufera est un exemple de ce qui peut être fait avec des ressources satisfaisantes. Des études simples, peu coûteuses et portant sur peu de paramètres sont tout aussi valables.

Méthodes d'analyse et d'interprétation des données

Bien que les moyens et processus d'analyse et d'interprétation des données aient reçu toute l'attention voulue au stade de la planification, il appartient à chaque scientifique de faire ses propres analyses et interprétations. La nature multidisciplinaire

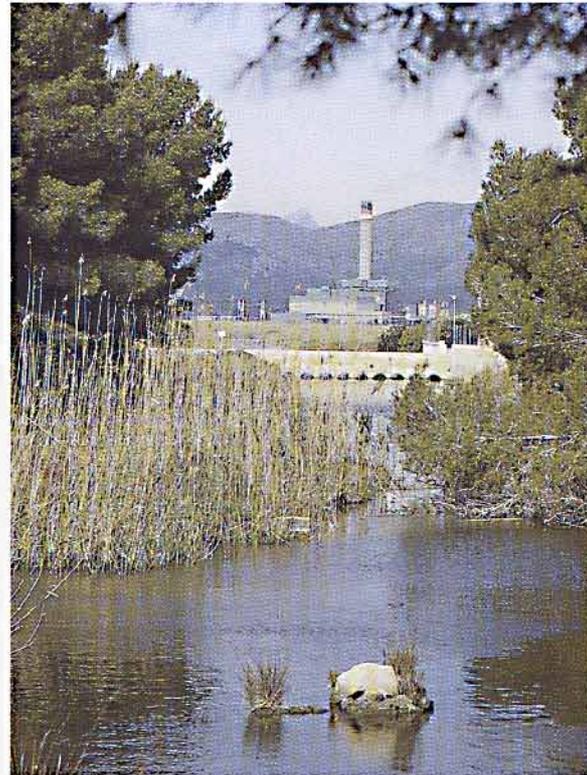


Photo 7.2.4 Le pompage d'eau de mer pour le refroidissement de la centrale électrique voisine a entraîné des fuites d'eau salée dans les marais de s'Albufera. (Pere Tomàs Vives)

Tableau 7.2.2 Budget du projet S'Albufera pour 1996; exemple de coûts pour un programme de suivi faisant appel à des bénévoles.

Dates des activités de terrain		
<ul style="list-style-type: none"> • Equipe 1: du jeudi 11 avril au jeudi 25 avril • Equipe 2: du dimanche 28 avril au dimanche 12 mai • Equipe 3: du samedi 26 octobre au samedi 9 novembre 		
	Minimum	Maximum
Equipe de recherche		
Chercheurs principaux ¹	1	2
Personnel scientifique ¹	1	4
Bénévoles Earthwatch ¹	4	8
Bénévoles locaux ¹	1	2
Taille totale d'une équipe (No. d'équipes: 3)	7	16
Nombre total de bénévoles Earthwatch pour le projet	12	24
Dépenses de terrain²		
Alimentation	2.220	4.440
Hébergement	700	1.400
Matériel/outils	100	500
Salaires	0	0
Transport du personnel au site de recherche	2.250	4.230
Transport des équipes de recherche sur le terrain	1.575	1.940
Autres frais		
fret	120	150
administration et imprévus	300	500
Budget total	GBP 7.265	GBP 13.160
Notes:		
¹ Nombre par équipe de terrain.		
² Estimations de budget en livres sterling.		
³ Ne comprend ni les coûts du personnel du Parc ni le temps et le matériel de l'université des Balears.		



et l'expertise des membres de l'équipe est cependant une garantie d'utilisation adéquate des méthodes.

Utilisation des résultats

Les résultats ont été utilisés de plusieurs manières, que l'on examinera plus loin dans ce chapitre. Ils ont également fait l'objet de publications dans un certain nombre de revues et de rapports (voir Références).

7.2.3 Programme de suivi de S'Albufera de Mallorca

L'étude pilote de S'Albufera de Mallorca porte sur un site protégé depuis 1988 et faisant l'objet d'un programme scientifique de vaste portée lancé en 1989. Dès le départ, on a considéré que le suivi était un préalable indispensable à la compréhension de l'évolution et des changements de l'écosystème et constituait un outil essentiel pour évaluer l'effet et l'efficacité de la gestion. Il a également été décidé que le programme de suivi devait répondre aux besoins du Parc. Le site est administré et géré par une équipe de neuf employés à plein-temps assistés par des bénévoles venant pour de courtes ou longues périodes. Le programme de suivi est exécuté par des membres du personnel du Parc et par des scientifiques et bénévoles de passage, ces derniers provenant essentiellement du projet S'Albufera d'Earthwatch Europe. La responsabilité de cette étude pilote a été confiée à Nick Riddiford, chercheur principal du projet S'Albufera, et à Joan Mayol Serra, fonctionnaire des services de la nature pour les îles Baléares et Directeur du Parc naturel de S'Albufera. Les scientifiques du projet et le personnel du Parc, en particulier Gabriel Perelló, coordonnateur de l'utilisation par le public, Francesc Lillo, chef des gardes, et Pere Vicens, ornithologue, ont également contribué à l'étude.

L'étude pilote portait sur la conception d'un programme de suivi pour S'Albufera selon la méthodologie de MedWet, comme si le projet S'Albufera devait démarrer en 1996, mais en tirant parti de l'expérience acquise depuis 1989. Il était évident dès le départ qu'il serait impossible d'établir des hypothèses sans avoir obtenu au préalable des données de référence, ce qui prend du temps. L'expérience du projet montre qu'un grand nombre de travaux préparatoires sont requis pour avoir les connaissances nécessaires au lancement d'un programme de suivi.

Identification des problèmes (actuels et potentiels)

Lors de la planification de l'étude, l'évaluation des caractéristiques, des problèmes et des menaces propres

au site s'est imposée comme une première étape primordiale, l'établissement de priorités étant ensuite indispensable au programme de suivi. Trois questions ou problèmes principaux ont été identifiés, tous liés à des activités humaines: modifications du régime hydrologique; modifications physiques/biologiques affectant l'écosystème; et impact des aménagements touristiques et agricoles et des activités adjacentes au Parc. Les aspects positifs et négatifs de l'utilisation du Parc par le public doivent également être examinés. Davantage d'informations sont nécessaires sur d'autres problèmes potentiels: impact du changement climatique sur le niveau des mers et risque de pollution à partir de la centrale électrique voisine d'Es Murterar.

Définition d'objectifs

Les objectifs prioritaires suivants ont été identifiés:

- i) *Modifications du régime hydrologique.* Suivre les quantités d'eau prélevées et en évaluer l'importance par rapport aux niveaux dans le Parc; suivre la conductivité de l'eau pour contrôler la salinité; rétablir les écoulements naturels grâce à des vannes, à la revégétalisation naturelle des fossés de drainage et à la création de canaux qui ne soient pas rectilignes, et contrôler ensuite les effets en mesurant les débits;
- ii) *Modifications physiques/biologiques.* Suivre les changements de salinité; suivre les communautés d'invertébrés aquatiques comme indicateurs de la qualité de l'eau; suivre l'importance des perturbations qu'entraînent les activités humaines illégales pour les oiseaux d'eau;
- iii) *Aménagements agricoles et touristiques et impacts.* Réduire les impacts négatifs du tourisme par une surveillance régulière; suivre le taux d'érosion du front de mer; suivre la qualité de l'eau pour évaluer les quantités de nitrates et de phosphore dans les rejets aboutissant dans le Parc;
- iv) *Changement climatique.* Suivre les tendances météorologiques et les changements du niveau de la mer pouvant perturber ou modifier l'écosystème.

Des objectifs individuels beaucoup plus précis devront être définis pour les études de suivi portant sur ces problèmes. L'analyse des études déjà entreprises montre que, dans la plupart des cas, des objectifs clairs ont été identifiés et décrits (ainsi, dans le cas du suivi du niveau d'eau dans le Gran Canal, l'objectif consiste à examiner si les fluctuations sur telle période de temps peuvent être utilisées pour évaluer les changements du niveau de la mer qui pourraient concerner S'Albufera).


Tableau 7.2.3 Résumé des points clés d'un programme de suivi pour S'Albufera de Mallorca: suivi des modifications du régime hydrologique.

Problème/question global(e)	a) Extraction d'eau de l'aquifère pour utilisation agricole et urbaine, au sein comme à l'extérieur du bassin versant. b) La création d'un réseau de drainage au XIXe siècle a accéléré les sorties d'eau et entraîné une compartimentation des flux.
Problème/question spécifique	ai) Un excès d'extraction peut entraîner l'assèchement de certaines parties du marais. aii) L'extraction d'eau abaisse le niveau de la nappe phréatique et entraîne une augmentation de la salinisation. b) L'eau du marais s'évacue trop rapidement vers la mer ou au niveau des stations de pompage, l'augmentation de la vitesse et la canalisation de l'eau modifiant les caractéristiques du marais.
Objectif	a) Suivre les niveaux d'eau pour évaluer les effets de l'extraction. ai) Suivre la qualité de l'eau: salinité, communautés d'invertébrés aquatiques comme indicateurs de qualité. b) Rétablir les flux naturels par des vannes, la revégétalisation naturelle des fossés de drainage et la création de canaux non-rectilignes, puis contrôler les effets en mesurant les débits.
Hypothèse	ai) Le niveau d'eau moyen ne devrait pas tomber en dessous du niveau moyen le plus bas des cinq dernières années. aii) <i>Pour la salinité</i> : pour un site et une saison donnés, la conductivité ne devrait pas dépasser les valeurs moyennes enregistrées lors de l'étude de référence entreprise dans les années 1980. aiii) <i>Pour les invertébrés aquatiques indicateurs</i> : à formuler en fonction de la présence/absence d'espèces ou d'assemblages d'espèces indicateurs de la salinité (tolérance ou intolérance) une fois ceux-ci identifiés. b) Les débits d'eau devraient être significativement réduits.
Méthodes et variables	ai) Mesurer les niveaux d'eau sur un ensemble d'échelles limnimétriques. aii) <i>Pour la salinité</i> : mesure sur le terrain de la conductivité (ainsi que du pH, de la température et de la teneur en oxygène de l'eau). aiii) <i>Pour les invertébrés aquatiques indicateurs</i> : échantillonnage standardisé à l'épuisette et comptage des invertébrés aquatiques aux sites d'étude de la qualité de l'eau; comparaison des résultats avec les données sur la qualité de l'eau. b) Mesure des débits d'eau au moyen d'un débitmètre; noter si les vannes sont ouvertes ou fermées; relever les niveaux d'eau sur les échelles limnimétriques.
Faisabilité/rentabilité	ai) Technique simple exigeant deux hommes-jours par mois. aii) <i>Pour la salinité</i> : possible grâce au don d'appareils électroniques portables de mesure des paramètres indiqués ci-dessus; exige quatre hommes-jours par mois (peut être réalisé à moindre coût avec des conductimètres simples). aiii) <i>Pour les invertébrés aquatiques indicateurs</i> : peu coûteux en matériel mais exigeant en main d'oeuvre. Possible uniquement grâce à la main d'oeuvre bénévole, et parce que l'on dispose de données de qualité de l'eau. b) Exige l'achat d'un débitmètre; temps de personnel.
Etude pilote	ai) Cinq années de données servant de référence pour établir l'hypothèse (avant que l'on extraie de l'eau pour satisfaire des besoins en dehors du bassin versant). Méthodologie testée au début de l'étude de référence. aii) <i>Pour la salinité</i> : matériel et procédures vérifiés en conditions de terrain en 1994. Calibrage des appareils par les techniciens de l'université (UIB). Personnel formé à l'utilisation et l'entretien du matériel. aiii) <i>Pour les invertébrés aquatiques indicateurs</i> : exige l'expertise initiale d'un spécialiste pour établir une référence et définir des clés d'identification; il peut être nécessaire de parvenir à une identification au niveau de l'espèce. b) Vérifier la faisabilité de la collecte des données, notamment en ce qui concerne la disponibilité actuelle du personnel.
Echantillonnage	ai) Deux fois par mois à intervalles réguliers sur des échelles limnimétriques situées à des points stratégiques dans le Parc. aii) <i>Pour la salinité</i> : personnel formé pendant l'étude pilote. Echantillonnage effectué en des points jugés stratégiques (jonctions de canaux, points d'entrée d'eau dans le Parc, etc.) et, pour pouvoir faire des comparaisons, aux sites choisis pour l'étude de doctorat sur la qualité de l'eau et les macrophytes pendant les années 80 (Martínez 1988). Echantillonnage à intervalles de 15 jours. aiii) <i>Pour les invertébrés aquatiques indicateurs</i> : prélèvements sur chaque site à des saisons comparables chaque année; identification, comptage et relâchement des macro-invertébrés sur le site d'origine; conservation de quelques spécimens de chaque espèce à titre de référence et pour confirmation de l'identification par un spécialiste. Formation du personnel et préparation de techniques facilement reproductibles. b) Echantillonnage à intervalles de 15 jours.
Analyse des échantillons	ai) Données stockées sur l'ordinateur du Parc. Analyse statistique effectuée par le personnel et par des membres du département de limnologie de l'UIB. aii) <i>Pour la salinité</i> : comme ai). aiii) <i>Pour les invertébrés aquatiques indicateurs</i> : détermination d'un indice de qualité de l'eau et calcul d'un effectif moyen par taxon pour chaque site d'échantillonnage et enquête. Données chimiques soumises à une analyse de variance et comparaison des données biologiques/chimiques par analyse en composantes principales. b) Données stockées au Parc. Analyse effectuée par le personnel du Parc.
Préparation du rapport	ai) Données soumises à une analyse statistique et communiquées dans le rapport annuel du Parc avec des conclusions et recommandations en termes de mesures de gestion et de suivi. aii) <i>Pour la salinité</i> : comme ai). aiii) <i>Pour les invertébrés aquatiques indicateurs</i> : données soumises à une analyse statistique et communiquées dans le rapport annuel du Parc et/ou dans la collection du Bulletin de S'Albufera avec des conclusions et recommandations en termes de mesures de gestion et de suivi. b) Données soumises à une analyse statistique et communiquées dans le rapport annuel du Parc avec des conclusions et recommandations en termes de mesures de gestion et de suivi. L'utilisation des données par le Parc permet une réévaluation immédiate et des mesures de gestion si l'hypothèse n'est pas réalisée.



Tableau 7.2.4 Résumé des points clés d'un programme de suivi pour S'Albufera de Mallorca: suivi de la qualité de l'eau.

Problème/question global(e)	a) La qualité de l'eau dans la partie supérieure du Parc est menacée par les ruissellements de nitrates provenant des zones agricoles intensives en bordure ouest du Parc. b) La qualité de l'eau dans la partie sud du Parc est menacée par les rejets de matières organiques et de phosphates provenant des complexes touristiques.
Problème/question spécifique	a) Les teneurs en nitrate font peser la menace d'une eutrophisation de l'eau dans le Parc. b) Bien qu'il y ait une installation d'épuration de l'eau au sud du Parc et que les eaux ainsi traitées soient rejetées à distance de l'aquifère, il peut encore y avoir des rejets non traités illégaux.
Objectif	a) Suivre la qualité de l'eau pour évaluer les quantités de nitrates pénétrant dans le Parc. b) Suivre la qualité de l'eau pour évaluer les rejets de phosphates pénétrant dans le Parc.
Hypothèse	a) Les concentrations en azote aux sites d'échantillonnage dans le Parc ne devraient jamais dépasser 40 µg/l et les concentrations moyennes ne devraient pas dépasser la moitié ce niveau. b) Les concentrations en phosphates aux sites d'échantillonnage dans le Parc ne devraient jamais dépasser 4 µg/l.
Méthodes et variables	Prélever des échantillons d'eau au niveau des sites choisis pour suivre la qualité de l'eau.
Faisabilité/rentabilité	Coûteux. Suppose une analyse en laboratoire, disponibilité et expertise d'un chimiste nécessaires. Possible uniquement grâce à la coopération avec l'UIB (dépts. de limnologie, physiologie végétale, chimie analytique).
Etude pilote	Prélèvements réguliers au niveau des sites d'échantillonnage clés tout au long de l'année pour établir une référence.
Echantillonnage	Intervalle acceptable pour l'échantillonnage déterminés par l'étude pilote. Les prélèvements peuvent être effectués par le personnel du Parc après formation mais il est essentiel qu'ils soient directement acheminés au laboratoire. Prélèvements par les scientifiques de l'UIB ou les assistants de terrain préférables.
Analyse des échantillons	Données stockées sur l'ordinateur du Parc. Analyse statistique effectuée par le personnel et par des membres de départements de l'UIB.
Préparation du rapport	Données soumises à une analyse statistique et communiquées dans le rapport annuel du Parc avec des conclusions et recommandations en termes de mesures de gestion et de suivi (pouvant inclure une révision des hypothèses afin de satisfaire une exigence de niveaux moyens plus faibles que ce qui est actuellement prévu).

Etablir l'hypothèse

La méthodologie de suivi de MedWet prévoit d'établir des hypothèses précises. Beaucoup d'études entreprises dans le Parc sont déjà basées sur des hypothèses, mais celles-ci sont parfois trop générales (ainsi l'hypothèse de l'étude portant sur les invertébrés aquatiques est que les assemblages d'espèces changeront avec les modifications de la qualité de l'eau). On a donc demandé aux scientifiques du projet de réexaminer leurs objectifs et de reformuler des hypothèses ciblant mieux les problèmes.

Il est très difficile de savoir quelle hypothèse il conviendrait d'appliquer sans avoir d'importantes connaissances préalables. S'il est maintenant possible d'établir un certain nombre d'hypothèses précises d'après les connaissances que l'on a du Parc de S'Albufera et de son environnement naturel, ce n'est peut-être pas le cas pour d'autres sites moins connus. L'environnement méditerranéen est réputé pour ses fluctuations naturelles, suivant un rythme saisonnier ou plus long, et il est souvent nécessaire de disposer de séries de données portant sur plusieurs années pour pouvoir formuler une hypothèse correcte.

Choix de paramètres et établissement d'une référence

Ces questions ont été examinées au stade de la planification du Projet. Il était nécessaire de

comprendre l'écosystème pour constater des changements écologiques. Il fallait donc tout d'abord établir une base de travail. Un certain nombre d'informations étaient déjà disponibles, notamment en ce qui concerne la qualité de l'eau et la biologie en eau douce grâce aux travaux de Martínez (1988) sur les macrophytes aquatiques, et Barceló et Mayol (1980) avaient publié des données sur l'hydrologie, la géologie et l'histoire de la zone ainsi que des inventaires de divers taxons, généralement incomplets. Pour compléter ces références, le projet S'Albufera a engagé des recherches dans des domaines prioritaires tout en continuant les inventaires. L'unité d'écologie et de conservation de l'University College de Londres a fourni une aide au projet les deux premières années, pour lui donner une impulsion initiale. Des données de référence ont ainsi été obtenues dans les domaines prioritaires suivants: hydrologie, dynamique et fonctionnement de l'écosystème, informations géophysiques, météorologie, informations historiques et archives disponibles, végétation, faune (oiseaux, mammifères, reptiles, batraciens, poissons, invertébrés), impact de l'homme et gestion. Les inventaires ont été améliorés par la création de matériels de référence permanents, à commencer par un herbier. Celui-ci a par la suite été complété par une collection de spécimens de divers groupes d'invertébrés ainsi que par une photothèque. Conjointement avec l'établissement de cartes, le support photographique a également permis de garder des traces de toutes les



manifestations humaines encore présentes dans le Parc. Les collections de référence sont considérées comme une ressource essentielle pour la recherche sur le terrain. Trois années ont été consacrées à l'établissement de ces références, les lacunes étant complétées par la suite, à mesure de l'obtention de nouvelles informations.

Après l'établissement de cette référence, les mesures prioritaires suivantes ont été identifiées:

1. Etude multidisciplinaire des processus affectant ou dépendant de: i) l'écosystème de zone humide dominé par l'association *Phragmites-Cladium*, ii) le système hydrologique, iii) les systèmes dunaires, iv) l'ensemble du bassin versant du Parc et des eaux côtières adjacentes;

2. Impact de la gestion et études apparentées;
3. Etudes environnementales et socio-économiques;
4. Traitement des données, potentiel et méthodologie de la base de données, y compris en ce qui concerne une plus large application;
5. Suivi à long terme visant à évaluer les changements environnementaux;
6. Augmentation des informations de référence.

Ces priorités ont pu être définies sur la base des informations rassemblées avant l'établissement du Parc et de l'important travail complémentaire effectué pendant les trois premières années du projet S'Albufera. Des paramètres ont été sélectionnés pendant la période de collecte de données de base et

Tableau 7.2.5 Résumé des points clés d'un programme de suivi pour S'Albufera de Mallorca: suivi des impacts négatifs des activités humaines.

Problème/question global(e)	a) La faune sauvage est perturbée par des activités humaines illégales. b) Impact des grands complexes touristiques voisins du Parc et perturbations de la faune et la flore sauvages du Parc.
Problème/question spécifique	a) Braconnage (chasse et pêche) toujours présent, quoique à un niveau beaucoup plus faible. b) Les touristes utilisant la plage et les systèmes dunaires pour des activités récréatives ont un impact négatif: érosion de la face maritime des dunes, dépôt d'ordures et dommages accidentels ou intentionnels tels qu'incendies.
Objectif	a) Suivre les niveaux de perturbation de la faune sauvage par des activités humaines illégales. b) Réduire les impacts négatifs du tourisme par une surveillance régulière; suivre l'importance de l'érosion de la face maritime des dunes.
Hypothèse	a) Le braconnage (chasse et pêche) ne devrait pas dépasser les niveaux enregistrés en 1993-95 et continuer à baisser; les effectifs d'oiseaux d'eau ne devraient pas tomber en dessous des chiffres moyens relevés durant l'étude pilote. b) La surveillance, les annonces et les panneaux permettront de réduire les dépôts d'ordures et d'éviter les incendies; l'érosion des dunes cessera.
Méthodes et variables	a) Contrôler les activités par des permis et/ou de la surveillance; noter le nombre et la localisation des incendies; recenser les oiseaux d'eau fréquentant le Parc, par site. b) Patrouilles régulières du personnel pour contrôler le niveau général de perturbation; dénombrer les personnes fréquentant la plage et les systèmes dunaires et noter leurs activités. Noter les dates et l'importance d'événements tels qu'incendies. Suivre l'érosion sur le front de mer au moyen de photographies prises de points fixes.
Faisabilité/rentabilité	a) Suppose essentiellement du temps de personnel, y compris 3 gardes à plein-temps et un ornithologue. b) Suppose surtout du temps de personnel et du matériel. En été, il faut au moins une personne chaque jour. Le suivi de l'érosion sur le front de mer exige du matériel photographique, développement, etc.
Etude pilote	a) Vérifier les informations précédentes pour détecter des tendances. Veiller à ce que la méthodologie de recensement des oiseaux d'eau soit claire. Etablir à quelle fréquence les patrouilles de nuit pourraient avoir un rôle préventif efficace. b) Vérifier la faisabilité de la collecte des données. Calculer les exigences photographiques minimales. Définir et décrire précisément les points fixes pour prendre les photographies. Rechercher dans les archives d'anciennes informations sur les plages et systèmes dunaires, notamment sur le profil et la forme du front de mer.
Echantillonnage	a) Contrôle des activités dans le cadre des tâches quotidiennes des gardes, au moins une patrouille nocturne par semaine. Recensements mensuels des oiseaux d'eau. A planifier pour coïncider avec les recensements nationaux/internationaux. b) Suivi photographique annuel initialement, toujours à la même saison, pour déterminer les types et le taux d'érosion; les intervalles peuvent être allongés par la suite.
Analyse des échantillons	a) Données stockées au Parc. Analyse effectuée par le personnel du Parc. b) Données stockées au Parc et par les scientifiques du projet. Analyse effectuée par le personnel du Parc et par les scientifiques du projet.
Préparation du rapport	a) Données soumises à une analyse statistique et communiquées dans le rapport annuel du Parc avec des conclusions et recommandations en termes de mesures de gestion et de suivi. L'utilisation des données par le Parc permet une réévaluation immédiate et des mesures de gestion si les niveaux de perturbation augmentent. b) Données analysées et communiquées dans le rapport annuel du Parc et/ou dans la collection du Bulletin de S'Albufera avec des conclusions et recommandations en termes de mesures de gestion et de suivi.



Tableau 7.2.6 Résumé des points clés d'un programme de suivi pour S'Albufera de Mallorca: suivi du changement climatique.

Problème/question global(e)	Le changement climatique peut entraîner de grandes modifications physiques de la zone humide, s'accompagnant de changements écologiques.
Problème/question spécifique	Une élévation relativement faible du niveau de la mer entraînerait une invasion par l'eau de mer, la zone humide passant d'un marais d'eau douce essentiellement à une lagune d'eau salée et à des marais salés; les changements météorologiques à long terme peuvent perturber ou modifier les variations saisonnières et conditions climatiques auxquelles l'écosystème est adapté.
Objectif	Suivre les changements climatiques pouvant perturber ou modifier l'écosystème.
Hypothèse	Le niveau moyen de la mer ne devrait pas dépasser le niveau moyen actuel de plus de 0,5 m. Les tendances météorologiques devraient rester dans la gamme de variations enregistrées sur la zone au cours des 25 dernières années.
Méthodes et variables	Noter régulièrement le niveau de la mer à la sortie du Gran Canal. Noter quotidiennement les données d'ensoleillement, de précipitations, de températures minimum et maximum, de direction et de vitesse du vent sur le site. Compléter avec des données de l'Instituto Español de Oceanografía, Palma (pour les mesures du niveau de la mer aux Baléares) et de l'Instituto Nacional de Meteorología, (pour une série plus complète de données météorologiques provenant de Sa Canova, station la plus proche de S'Albufera).
Faisabilité/rentabilité	L'obtention de données sur le site suppose du temps de personnel, une heure par jour pour les données météorologiques, une heure par la semaine pour les niveaux de la mer. Pour les autres données, il faut établir une coopération avec les instituts d'océanographie et de météorologie.
Etude pilote	Consultation des instituts pour s'assurer que les données adéquates sont effectivement enregistrées et que l'accès à ces données est autorisé. Formation du personnel à la collecte de données.
Echantillonnage	Sur le site par le personnel. Autres données par les instituts. Les informations des instituts sont transmises au Parc sur une base mensuelle (météorologie) et annuelle (niveau de la mer). Les données du Parc sont mises à la disposition de l'institut de météorologie chaque mois.
Analyse des échantillons	Analyse ex-situ effectuée par les instituts. Données sur le site stockées au Parc et analysées par le personnel du Parc.
Préparation du rapport	Données soumises à une analyse statistique et communiquées dans le rapport annuel du Parc avec des conclusions et recommandations en termes de mesures de gestion et de suivi.

testés lors de l'étude pilote. Une gamme de paramètres a ainsi pu être définie avant tout travail de terrain; en pratique toutefois, certains d'entre eux ont été modifiés et parfois rejetés au profit d'autres, plus utiles ou plus sensibles, pendant les phases de collecte de données de référence et d'étude pilote. On a choisi les thèmes de recherche les plus propices à démontrer un changement écologique. Une importance primordiale a été accordée aux études hydrologiques, non seulement du fait de l'influence de l'eau sur l'ensemble de l'écosystème mais aussi parce que la position du marais, juste au dessus du niveau de la mer, le rend extrêmement vulnérable aux modifications de ce niveau, et en particulier à une élévation. Les difficultés d'identification des causes des changements écologiques sont compliquées à S'Albufera par des influences et activités locales et régionales. Les études hydrologiques comme celles qui sont liées à l'hydrologie (biologie en eau douce par exemple) ont abouti à des données sur la qualité de l'eau, permettant à la fois d'évaluer les variations spatiales et temporelles de salinité et d'avoir une première idée de l'intrusion dans le Parc de polluants provenant des terrains agricoles et des complexes touristiques voisins. Les données recherchées dans le domaine de la gestion du Parc visaient à aider à formuler de bonnes pratiques de

gestion et à évaluer comment la gestion pouvait bloquer, renverser ou promouvoir le changement.

Sélection de techniques et conception de méthodes d'échantillonnage

Dans la mesure du possible, des techniques et méthodologies standard ont été utilisées. En cas de nécessité d'adaptation, une phase de vérification garantissait que la méthodologie révisée n'introduirait pas de nouvelles sources d'erreur. On a chaque fois que possible fait appel à des techniques d'échantillonnage aléatoire. En pratique toutefois, il a souvent fallu choisir les "meilleurs" sites d'échantillonnage ou les "plus représentatifs". L'accès et la continuité d'accès devaient également être pris en compte. Une fois les sites choisis, il était indispensable de s'assurer que ces sites, ou parfois leurs limites, étaient clairement décrits pour être identifiables. Des descriptions précises du site, par écrit et comportant des cartes annotées, les coordonnées géographiques et une référence visuelle par des photographies prises de points fixes, doivent ainsi accompagner la méthodologie écrite et sont généralement suffisantes pour retrouver le site. L'emploi de repères métalliques facilite aussi les recherches si l'on dispose d'un détecteur de métaux, lorsque les informations descriptives s'avèrent insuffisantes.



■ *Sélection des sites d'échantillonnage*

Le choix du nombre et de l'emplacement des sites d'échantillonnage tenait compte des considérations suivantes: nombre suffisant pour fournir des résultats valables, choix de lieux représentatifs et accès. La sélection a souvent été influencée par les travaux antérieurs (choix des sites déjà employés par Martínez pour son étude de doctorat sur les macrophytes aquatiques et la qualité de l'eau pendant les années 1980), mais seulement si l'on considérait que ces sites étaient représentatifs et en nombre suffisant pour fournir les informations requises.

■ *Fréquence d'échantillonnage*

Parmi les autres facteurs dont il fallait également tenir compte figuraient la fréquence d'échantillonnage en fonction de l'époque de l'année, la disponibilité de personnel de terrain et leur aptitude à recueillir les informations requises. Le nombre d'études de suivi que l'on pouvait raisonnablement mener à bien était donc limité (il n'y a en effet aucun intérêt à entreprendre une étude nécessitant des informations tout au long de l'année si l'on ne dispose de personnel qu'au printemps et à l'automne). La collecte de données sur un nombre de sites suffisants pour fournir des informations statistiquement significatives et utilisables constitue un réel problème dans le cadre de programmes de suivi s'appuyant fortement sur des bénévoles disponibles pour de courtes périodes seulement. Lorsque l'on manque de temps et de personnel, on risque souvent de devoir se contenter de tailles d'échantillon trop faibles et les variations sont alors trop importantes pour déceler des changements écologiques.

■ *Collecte des données*

On a accordé beaucoup d'attention à la collecte des informations et au prélèvement des échantillons. Il convient à cet égard de préparer, par écrit, une méthodologie claire et concise, notamment si l'on fait appel à des bénévoles. On préparera, avant de lancer l'étude, des fiches de renseignements simples pour recueillir les informations. Le scientifique responsable de l'étude devrait, avec le bénévole, appliquer une première fois la méthodologie sur le terrain et, pour certaines études, le scientifique devra être impliqué tout au long du processus. À défaut, il conviendra de vérifier au préalable la qualité et le niveau des informations recueillies par les bénévoles. Le scientifique devra toujours vérifier soigneusement et aussitôt que possible (normalement le jour même) les fiches de renseignements, à la recherche d'éventuelles erreurs ou mauvaise application de la méthodologie. Tous ces facteurs devront être examinés dans le cadre d'un test sur le terrain rigoureux. Une étude pilote permet souvent de révéler des défauts et une inadéquation des techniques ou de la méthodologie et

de résoudre ainsi ces problèmes avant de commencer l'étude principale.

■ *Manipulation des échantillons devant être analysés*

Une importante planification préalable s'est avérée nécessaire lorsque les échantillons comprennent des éléments biologiques ou physiques. Il s'agit notamment de s'assurer que l'on dispose de tout l'équipement requis (récipients de prélèvement, produits chimiques, etc.), ce qui peut impliquer de faire des commandes plusieurs mois à l'avance. Il faudra également, au stade de la préparation, veiller à ce que les responsables de l'échantillonnage connaissent les méthodes à utiliser, puissent effectuer les prélèvements de manière semblable et marquent clairement et correctement tous les échantillons. On pensera aussi aux méthodes de transport des échantillons ou, dans le cas d'échantillons qui changent ou se dégradent rapidement, au matériel nécessaire pour effectuer les analyses immédiatement, sur le terrain. Peut-être faudra-t-il passer des accords avec des scientifiques et/ou des laboratoires pour traiter les échantillons, en indiquant quand ceux-ci devraient arriver et en veillant à ce que l'on dispose de moyens de transport. Enfin, s'il n'est pas possible d'acheminer les échantillons immédiatement, il faudra prévoir des possibilités de stockage (et donc parfois des installations de congélation ou une grande superficie sombre ou fraîche). Il y a peu d'intérêt à prélever des échantillons si l'on ne dispose pas des installations requises.

■ *Sauvegarde des données*

Les données et informations devraient être vérifiées et classées dans des archives clairement étiquetées, avec des références croisées pour retrouver facilement les données. Lorsqu'il est nécessaire de reporter les données de terrain sur un formulaire, il ne faudra en aucun cas laisser traîner les données originales ou le formulaire, les informations pouvant aisément être perdues, particulièrement si plusieurs personnes travaillent dans le bâtiment ou le bureau. Il est possible de constituer des dossiers temporaires pour des données non traitées, mais ceux-ci seront alors aussi clairement étiquetés et on établira une liste de leur contenu avec des références croisées. Dans l'idéal, il faudrait mettre en place une base de données informatisée et saisir les nouvelles données dès leur collecte. Que l'on soit informatisé ou non, il faudra conserver les données originales (et toutes les données travaillées, y compris les résultats) pour servir de référence. Lorsque l'on reporte des données brutes sur un formulaire, on conservera les deux types de données pour pouvoir rechercher d'éventuelles erreurs suggérées par les analyses ultérieures (et ce bien qu'il soit nécessaire d'être particulièrement attentif lors du report de données d'un support à l'autre, sur un formulaire ou un



ordinateur). Les principales archives du projet S'Albufera sont conservées au Parc (sous une forme adaptée du système de gestion des données du British Nature Conservancy Council, décrit dans la publication intitulée *Site management plans for nature conservation – a working guide*, NCC 1987). Par sécurité, le bureau d'Earthwatch Europe à Oxford, Angleterre, en détient une copie supplémentaire. En outre, les scientifiques conservent une troisième copie des données concernant leur(s) étude(s) particulière(s). Un certain nombre de groupes de données sont aussi stockés dans les ordinateurs du Parc, du projet ou des divers scientifiques.

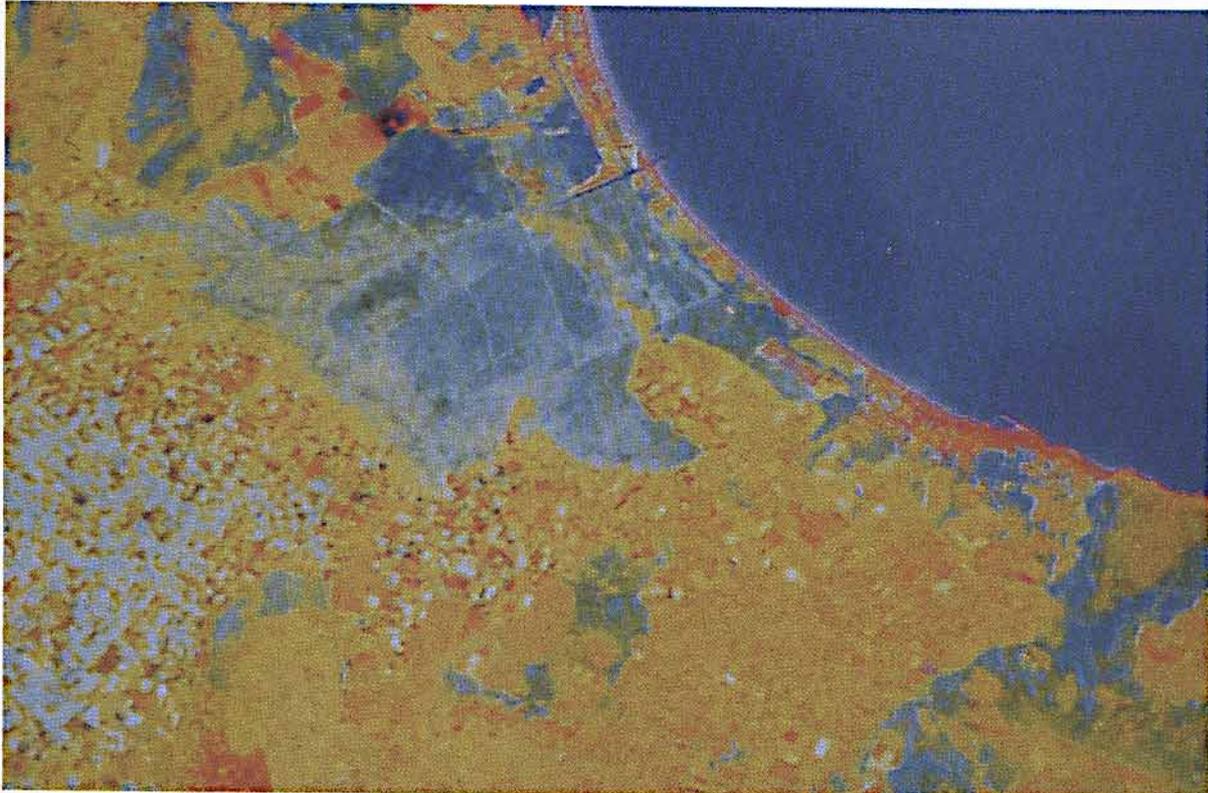
Analyse et interprétation des données

La clé du suivi à S'Albufera a été le recours à des bénévoles, y compris parmi les scientifiques. Bien que beaucoup de scientifiques aient été prêts à passer une partie de leurs vacances à participer à des activités de terrain, la plupart d'entre eux sont très occupés et ont du mal à trouver le temps d'achever l'analyse et l'interprétation des données recueillies. Le Projet a néanmoins de bons résultats dans ce domaine et la plupart des scientifiques préparent au moins un résumé de leurs travaux pour publication dans le rapport annuel du projet. Un grand nombre de scientifiques de passage sont déjà des spécialistes et apportent au projet un haut niveau d'expertise et une grande expérience en matière de méthodologie, d'analyse statistique et d'interprétation des

résultats. Beaucoup d'entre eux insistent sur le fait qu'ils peuvent donner des résultats préliminaires, mais que les fluctuations naturelles et éventuellement des cycles naturels gênent toute interprétation en matière de changement écologique, si bien que, dans un certain nombre de cas, un programme d'étude et de collecte de données à long terme est nécessaire pour éliminer ces fluctuations et cycles.

Le processus d'analyse et d'interprétation des données commence au stade de la planification pour chaque étude. Parmi les principaux facteurs qui déterminent les études entreprises et les méthodologies employées figurent la disponibilité de spécialistes scientifiques, la disponibilité de temps par rapport aux saisons et à la durée du travail de terrain nécessaire et le degré de convivialité de la méthodologie pour les bénévoles. Les études pilotes sont normalement destinées à évaluer l'adéquation des méthodologies dans le cadre de ces limites. On accorde néanmoins beaucoup d'importance à la validité scientifique des informations recueillies à la fois en termes de précision et de valeur statistique. Pour certaines études, on aura davantage intérêt à faire appel à des bénévoles (cartographie des aires de répartition par exemple). La sélection des sites d'étude, qui suppose souvent une approche aléatoire, et le nombre d'échantillons requis pour montrer une tendance statistiquement valide sont des questions qu'il faut aborder au stade de la planification. Le projet est souvent confronté, après l'étude pilote, à des problèmes

Photo 7.2.5 La télédétection a été testée à S'Albufera comme outil de suivi des modifications des habitats humides et de l'occupation des sols.





qui ne peuvent être résolus que par d'importantes recherches et des données supplémentaires. Une telle difficulté a fréquemment pu être surmontée en encourageant des étudiants de niveau post-doctoral ou des instituts scientifiques (comme le centre de télédétection et de cartographie de l'université d'Aberdeen) à aborder le problème dans le cadre d'un programme de recherche intensive dépassant l'expertise, les ressources matérielles, l'échelle de temps et/ou la disponibilité saisonnière des équipes de bénévoles.

Communication des résultats: les publications

La recherche à S'Albufera a donné lieu à un grand nombre de publications, y compris les rapports d'activité concernant les études individuelles, publiés dans le document annuel intitulé *Monitoring for Environmental Change, the Earthwatch Europe Project S'Albufera Report*. Depuis 1994, les résultats ont aussi été publiés dans le bulletin du Parc (*Butlletí del Parc Natural de S'Albufera de Mallorca*). Une synthèse des données de référence, couvrant toute une gamme de sujets, a récemment été publiée sous forme d'une monographie sur S'Albufera (Martínez & Mayol 1996) par une équipe constituée de scientifiques du Parc et du Projet et d'universitaires avec le soutien de la société d'histoire naturelle des Baléares. On trouvera dans les références des détails sur les résultats publiés

concernant cette étude. Le projet prépare également régulièrement des documents d'analyse et de planification, organise des réunions d'examen par des pairs, alimente le processus de planification gestionnaire avec les résultats obtenus, fournit des textes et des illustrations pour des documents de formation, encourage la collaboration avec d'autres organisations internationales et la participation de ces dernières, et s'efforce de remplir son objectif de compatibilité des données qui seront mises à disposition des organismes de conservation. Il convient de noter que le fait de suivre les résultats amène souvent à découvrir de nouveaux problèmes exigeant des recherches.

Utilisation des résultats

Les résultats du programme de suivi de S'Albufera seront utilisés de manière très précise:

■ Gestion

Le Parc bénéficie d'un solide programme de gestion, bien défini dans le plan d'utilisation et de gestion du Parc. Ce plan a récemment été mis à jour en incorporant les résultats du suivi, la nouvelle version étant appliquée au programme de gestion pour la période 1995–1999. Suivi et surveillance sont considérés comme deux aspects fondamentaux de la

Photo 7.2.6 Le débit de l'eau est contrôlé par des vannes posées aux principales entrées et sorties de l'eau de la zone humide. (Gabriel Perelló Coll)





planification des activités de gestion, que ce soit pour donner des directives ou pour évaluer l'impact et les effets des pratiques gestionnaires. Le suivi des visiteurs a ainsi déjà été mis à profit pour améliorer la planification et la gestion de l'utilisation par le public.

■ *Domaine public*

Il s'agit ici de deux problèmes liés. Le premier concerne la manière dont le grand public perçoit le Parc et son importance pour la conservation, pour la préservation et l'amélioration du patrimoine naturel et culturel et pour la promotion d'un tourisme environnemental intéressant au plan économique. Le deuxième concerne l'information des décideurs politiques. L'aspect scientifique peut avoir un impact plus fort et être le plus susceptible d'entraîner des mesures politiques de sauvegarde des valeurs écologiques du site, mais une perception positive de ces valeurs, en particulier au niveau local, peut aussi contribuer grâce aux pressions du public à influencer les décideurs.

■ *Sensibilisation/éducation*

Les résultats obtenus grâce au programme de suivi sont déjà incorporés dans des matériels d'interprétation, comprenant actuellement des matériels éducatifs (y compris un CD ROM pour les écoles), manuels, brochures, affiches, expositions permanentes, présentations audiovisuelles, et des visites guidées pour écoliers et, de plus en plus, pour d'autres groupes.

■ *Lignes directrices pour d'autres projets*

Le programme de suivi de S'Albufera a toujours eu comme objectif, entre autres, de mettre ses résultats, et l'expérience acquise pour obtenir ces résultats, à la disposition d'autres projets ou organisations confrontés à des problèmes et questions similaires.

Considérations finales: quelques aspects pratiques

■ *Planification d'un programme intégré*

Lors du lancement du projet S'Albufera, la planification initiale a été effectuée en Angleterre. Des contacts ont toutefois rapidement été établis avec les autorités responsables du Parc et une visite du site a été organisée. On a pu ainsi constater l'intérêt et l'enthousiasme que manifestaient ces autorités pour un tel programme de suivi, faisant appel à un grand nombre de scientifiques et de bénévoles extérieurs au Parc et inconnus du personnel et de la direction du Parc. La disponibilité du personnel permanent du Parc, bien que limitée par un emploi du temps déjà très chargé, pour combler certaines des lacunes en matière d'activités de suivi auxquelles le projet S'Albufera ne pouvait faire face constituait un autre facteur positif. Le

Parc était également à une heure de route d'une université comprenant des départements scientifiques, dont un certain nombre avaient déjà entrepris et/ou étaient prêts à entreprendre des recherches sur le site.

Ce ne sera pas forcément le cas pour toutes les zones humides méditerranéennes. L'accès peut s'avérer beaucoup moins facile, notamment si le site n'est pas du domaine public et ne bénéficie pas d'une protection, et s'il n'est pas possible de faire appel à un système d'équipes internationales, composées de ressortissants d'autres pays et organisées par eux. Même à S'Albufera, les barrières linguistiques ont tout d'abord constitué un problème, en particulier pour les scientifiques ayant besoin de l'expertise et des connaissances locales pour la planification de leurs études. Il a pu être surmonté par l'aptitude des membres essentiels à converser dans des langues communes (anglais et français) et par la volonté de certains des scientifiques d'atteindre un niveau raisonnable d'espagnol parlé. La participation de bénévoles locaux, généralement de jeunes écologistes enthousiastes de l'UIB, mais aussi de la partie continentale de l'Espagne, était également fondamentale. Une participation locale/nationale est essentielle pour tout programme prévoyant d'appliquer le modèle de participation internationale de S'Albufera.

■ *Recours à des bénévoles*

Les programmes envisageant le recours à une aide bénévole internationale doivent également tenir compte du fait que Majorque est une destination de vacances desservie par des vols peu coûteux au départ de nombreuses régions d'Europe. Les scientifiques bénévoles, dont beaucoup paient eux-mêmes leurs frais de voyage, sont ainsi attirés par l'idée. Les frais encourus pour rejoindre des destinations plus coûteuses peuvent cependant être compensés par de meilleures possibilités de défrayer les participants que celles qui sont actuellement offertes à Majorque. L'apport d'une équipe de bénévoles enthousiastes, encadrés par des scientifiques expérimentés, à un programme de suivi est considérable mais s'accompagne de restrictions quant aux types d'informations pouvant être recueillies, tant en termes de techniques, qui doivent être adaptées à la collecte par des bénévoles, que de méthodologie d'échantillonnage, qui doit tenir compte du fait que les informations ne peuvent être recueillies que lors des périodes de temps relativement courtes pendant lesquelles les équipes sont sur le terrain. En l'absence de financement, les scientifiques bénévoles sont parfois dans l'impossibilité de venir à la meilleure époque pour leur étude ou de poursuivre leur participation pendant le nombre d'années voulu pour achever le travail s'ils ont d'autres engagements. Une telle difficulté peut être surmontée en formant des assistants ou adoptant une méthodologie suffisamment simple pour que d'autres puissent la reproduire. L'idéal serait que des bénévoles locaux poursuivent l'étude.



■ Financement

Le financement est une des questions essentielles à aborder avant de se lancer dans un programme de suivi. Entre 50% et 60% du financement des projets d'Earthwatch proviennent des contributions des participants bénévoles. La nature multidisciplinaire du projet S'Albufera fait cependant que les besoins financiers sont beaucoup plus élevés que pour les projets habituels d'Earthwatch. La différence a été prise en charge par Earthwatch Europe pendant les cinq premières années. On a, depuis, toujours cherché des financements supplémentaires, notamment auprès d'entreprises et autres organisations.

Le projet a eu jusqu'à présent la chance d'obtenir, gratuitement, les services de scientifiques, dont beaucoup sont d'éminents spécialistes dans leurs domaines. Il faut néanmoins faire face à leurs frais de voyage, d'hébergement et d'alimentation sur place et aux coûts des équipements nécessaires. Les dépenses de matériel constituent le principal poste de dépenses initiales dans un projet de ce type. Une importante subvention accordée par le Fonds mondial pour la nature (WWF) à Earthwatch Europe en 1991 s'est à cet égard avérée précieuse. Elle nous a également permis de payer les frais de voyage et d'hébergement de scientifiques de premier ordre indispensables pour entreprendre certaines études spécifiques dans le Parc. Un accord de coopération signé entre Earthwatch Europe et l'UIB en 1990 s'est aussi avéré précieux puisqu'il prévoyait l'emprunt de matériel par le projet et d'autres formes d'aide de l'université. Les coûts du projet varient actuellement de 7.000 à 15.000 livres sterling par an, auxquels il conviendrait d'ajouter des coûts administratifs pris en charge par Earthwatch. D'autres coûts cachés, comprenant les frais d'hébergement sur le site, le soutien logistique et la participation du personnel aux activités de suivi, sont pris en charge par le Parc.

RÉFÉRENCES ET RESULTATS PUBLIÉS

- Barceló, B. and J. Mayol. 1980. *Estudio Ecológico de la Albufera de Mallorca*. Dept. de Geografia, Universidad de Palma de Mallorca, Palma, Spain. 406 pp.
- Bordoy, M. and G. Perelló. 1995. Parc Natural de s'Albufera. Base de dades bibliogràfica. *Butlletí del Parc Natural de s'Albufera de Mallorca* 2: 93-106.
- Direcció General d'Estructures Agràries i Medi Natural. 1994. *Butlletí del Parc Natural de s'Albufera de Mallorca* 1. Govern Balear, Conselleria d'Agricultura i Pesca, Palma, Spain. 83 pp.
- Direcció General d'Estructures Agràries i Medi Natural. 1995. *Butlletí del Parc Natural de s'Albufera de Mallorca* 2. Govern Balear, Conselleria d'Agricultura i Pesca, Palma, Spain. 110 pp.
- Esteve-Raventos, F. and M. Enderle. 1992. *Psathyrella halophila* spec. nov., eine neue Art aus der Sektion Spintrigerae (Fr.) Konrad & Maublanc vom Meeresstrand der Insel Mallorca (Spanien). *Zietschrift für Mykologie* 58: 205-209.
- Ferragut, M.A. 1994. L'estudi de papallones diurnes a s'Albufera. *Butlletí del Parc Natural de s'Albufera de Mallorca* 1: 49-50.
- Forteza, A. and G. Perelló. 1995. Seguiment meteorològic al Parc Natural de s'Albufera. Estació B-605. *Butlletí del Parc Natural de s'Albufera de Mallorca* 2: 91-92.
- Fox, R.J.P. 1992. *Monitoring Environmental Change at S'Albufera Parc Natural: the role of aquatic invertebrates*. M.Sc. in Conservation dissertation, University College London, London, UK.
- Frontera i Serra, M. and V. Forteza i Pons. 1991. *Seguiment dels efectes de la paustura al parc natural de S'Albufera de Mallorca, 1990*. Documents Tècnics de Conservació 4, SECONA, Palma de Mallorca, Spain.
- González, M. 1993. *Applications of Landsat 5 TM for inventorying Mediterranean woodlands in Mallorca*. M.Sc. in Environmental Remote Sensing dissertation, Centre for Remote Sensing and Mapping Science, University of Aberdeen, UK.
- Howe, C. 1989. *Albufera: Aspects of Hydrology, Vegetation, History and Management*. M.Sc. in Conservation dissertation, University College London, London, UK. 55 pp + 4 appendices.
- Jurado Estévez, J. 1992. *The usefulness of Landsat TM data for vegetation discrimination in S'Albufera de Mallorca - a marsh*. M.Sc. in Environmental Remote Sensing dissertation, Centre for Remote Sensing and Mapping Science, University of Aberdeen, UK. 108 pp + 2 appendices.
- Marcus, A. 1992. *Estimation of soil's surface physical properties using Landsat TM Data in "Es Pla de Sa Pobla-Muro" (Mallorca)*. M.Sc. in Environmental Remote Sensing dissertation, Centre for Remote Sensing and Mapping Science, University of Aberdeen, UK. 119 pp + 6 appendices.
- Martínez, A.M. 1988. *Característiques limnològiques de S'Albufera de Mallorca*. Ph.D. thesis, University of the Balearic Islands, Mallorca, Spain.
- Martínez, A.M. and J. Mayol (eds.). 1996. *S'Albufera de Mallorca*. Monografies de la Societat d'Història Natural de les Balears 4, Editorial Moll, Palma de Mallorca, Spain.
- Mayol, J. 1992. *Plan for the use and management of the Natural Park of S'Albufera, Mallorca, 1990-94*. Documents Tècnics de Conservació 3, SECONA, Palma de Mallorca, Spain. [English version]
- Mayol, J. 1993. Concentració de nidos de *Emys orbicularis* en el Parque Natural de S'Albufera de Mallorca. *Bol. Esp. Herpetol. Esp.* 4: 21-23.
- McGovern, P. 1993. *The use of Landsat Thematic Mapper Data for the detection of urban change in Mallorca (Bahía de Alcudia)*. M.Sc. in Environmental Remote Sensing dissertation, Centre for Remote Sensing and Mapping Science, University of Aberdeen, UK.



- NCC 1987. *Site management plans for nature conservation – a working guide*. Nature Conservancy Council - BP edition. Peterborough, UK. 40 pp.
- Newbould, P. 1994. Monitoring species performance of common dominant plant species. In: P.J. Edwards, R. May and N.R. Webb (eds.). *Large-scale Ecology and Conservation Biology*. Blackwell, Oxford, UK. pp 273–292.
- Newbould, P.J. and N.J. Riddiford (eds.). 1990. *Monitoring for Global Change: The Earthwatch Europe S'Albufera Project*. Earthwatch Europe, Oxford, UK. 20 pp.
- Nicholson, E.M. and N. Riddiford. 1993. *Ecotourism in Mallorca. Earthwatch Europe Report for the European Community Model of Sustainable Tourism*. Earthwatch Europe, Oxford, UK. 14 pp.
- Noblet, J.F. 1992. *Les chauves-souris du Parc Natural d'Albufera, Majorque, Iles des Balears - Espagne*. Report to Earthwatch Europe, Oxford, UK. 22 pp.
- Palmer, M. and J. Vives. 1993. *Carabidae i Tenebrionidae (Coleoptera) de s'Albufera de Mallorca: Dades preliminars*. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears* 36: 65–76.
- Paul, C.R.C. 1995a. *Mol.luscs del Parc Natural de s'Albufera*. *Bulletí del Parc Natural de s'Albufera de Mallorca* 2: 71–82.
- Paul, C.R.C. 1995b. *Estudis de mol.luscs a sediments recents de s'Albufera*. *Bulletí del Parc Natural de s'Albufera de Mallorca* 2: 83–88.
- Perelló, G. 1992. *Geografía y educación ambiental: el parque natural de S'Albufera de Mallorca*. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* 14: 111–120.
- Perelló, G. 1994. *S'Albufera de Mallorca. Us públic d'un espai natural protegit*. *Bulletí del Parc Natural de s'Albufera de Mallorca* 1: 71–77.
- Perelló, G., J.J. Coll and A. Martínez. 1995. *Seguiment de la dinàmica de les aigües de s'Albufera de Mallorca*. *Bulletí del Parc Natural de s'Albufera de Mallorca* 2: 89–90.
- Perelló, G., J. Mayol and L. Capellà. 1994. *Parc natural de S'Albufera. Memòria de gestió 1993*. Govern Balear, Conselleria d'Agricultura i Pesca, Palma, Spain. 37 pp.
- Perelló, G., J. Mayol, L. Capellà and F. Lillo. 1995. *Parc natural de S'Albufera de Mallorca. Memòria de Gestió i Activitats 1994*. Govern Balear, Conselleria d'Agricultura i Pesca, Palma, Spain. 34 pp.
- Pons, G. 1993. *Artròpodes de s'Albufera de Mallorca: Arachnida, Araneae*. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears* 36: 91–98.
- Raffone, G. 1994. *Descrizione di una nuova specie di Stilpon (Pseudostilpon) Séguy, 1950 di Majorca (Spagna)*. *Boll. Soc. ent. ital.* 126: 66–68.
- Riddiford, N. 1991. *Project S'Albufera: A new model for environmental research*. Earthwatch Europe, Oxford, UK. 80 pp.
- Riddiford, N. (ed.). 1993. *Monitoring for Environmental Change: The Earthwatch Europe S'Albufera Project – a summary report of the fourth season's work 1992*. Earthwatch Europe, Oxford, UK. 187 pp.
- Riddiford, N. 1994a. *Moth studies at the Parc natural de s'Albufera*. *Bulletí del Parc Natural de s'Albufera de Mallorca* 1: 51–54.
- Riddiford, N. 1994b. *Earthwatch Europe's project S'Albufera, 1989–1993*. *Bulletí del Parc Natural de s'Albufera de Mallorca* 1: 67–69.
- Riddiford, N. (ed.). 1995. *Monitoring for Environmental Change: The Earthwatch Europe S'Albufera Project – a summary report of the sixth season's work (1994)*. Earthwatch Europe, Oxford, UK. 88 pp.
- Riddiford, N. (ed.). 1996 (in press). *Monitoring for Environmental Change: The Earthwatch Europe S'Albufera Project – a summary report of the seventh season's work (1995)*. Earthwatch Europe, Oxford, UK.
- Riddiford, N. and P. Newbould (eds.). 1991. *Monitoring for Environmental Change: The Earthwatch Europe S'Albufera Project – a summary report of the second season's work 1990*. Earthwatch Europe, Oxford, UK. 24 pp.
- Riddiford, N. and F. Perring (eds.). 1992. *Monitoring for Environmental Change: The Earthwatch Europe S'Albufera Project – a summary report of the third season's work at S'Albufera Natural Park, Mallorca*. Earthwatch Europe, Oxford, UK. 147 pp.
- Riddiford, N. and T. Wells (eds.). 1994. *Monitoring for Environmental Change: The Earthwatch Europe S'Albufera Project – a summary report of the fifth season's work at S'Albufera Natural Park, Mallorca*. Earthwatch Europe, Oxford, UK. 166 pp.
- Strachan, R. 1995. *Una investigació a curt termini sobre l'ecologia dels petits mamífers a s'Albufera*. Maig de 1993. *Bulletí del Parc Natural de s'Albufera de Mallorca* 2: 49–70.
- Taylor, R. 1993. *Habitat and feeding ecology of Acrocephalus melanopogon and the impact of recent fires and management practices at S'Albufera de Mallorca*. M.Sc. in Conservation dissertation, University College London, London, UK. 67 pp + 2 appendices.
- Vicens, P. and J. Mayol. 1994. *Seguiment de l'avifauna del parc natural de s'Albufera*. Agost 1992–juliol 1993. *Bulletí del Parc Natural de s'Albufera de Mallorca* 1: 13–31.
- Vicens, P. and J. Mayol. 1995. *Seguiment de l'avifauna del parc natural de s'Albufera*. Juliol 1993–agost 1994. *Bulletí del Parc Natural de s'Albufera de Mallorca* 2: 17–34.
- Wood, B. (ed.). 1989. *A monitoring programme for S'Albufera, Mallorca. Discussion Papers in Conservation* 52. Ecology & Conservation Unit, University College London, London, UK. 46 pp + 13 appendices.
- Wood, B. (ed.). 1991. *Further studies towards a monitoring programme for S'Albufera de Mallorca. Discussion Papers in Conservation* 55. Ecology & Conservation Unit, University College London, London, UK. 113 pp.

7.3 Lac Kerkini, Grèce

Antonis Mantzavelas et Tasos Dimalexis

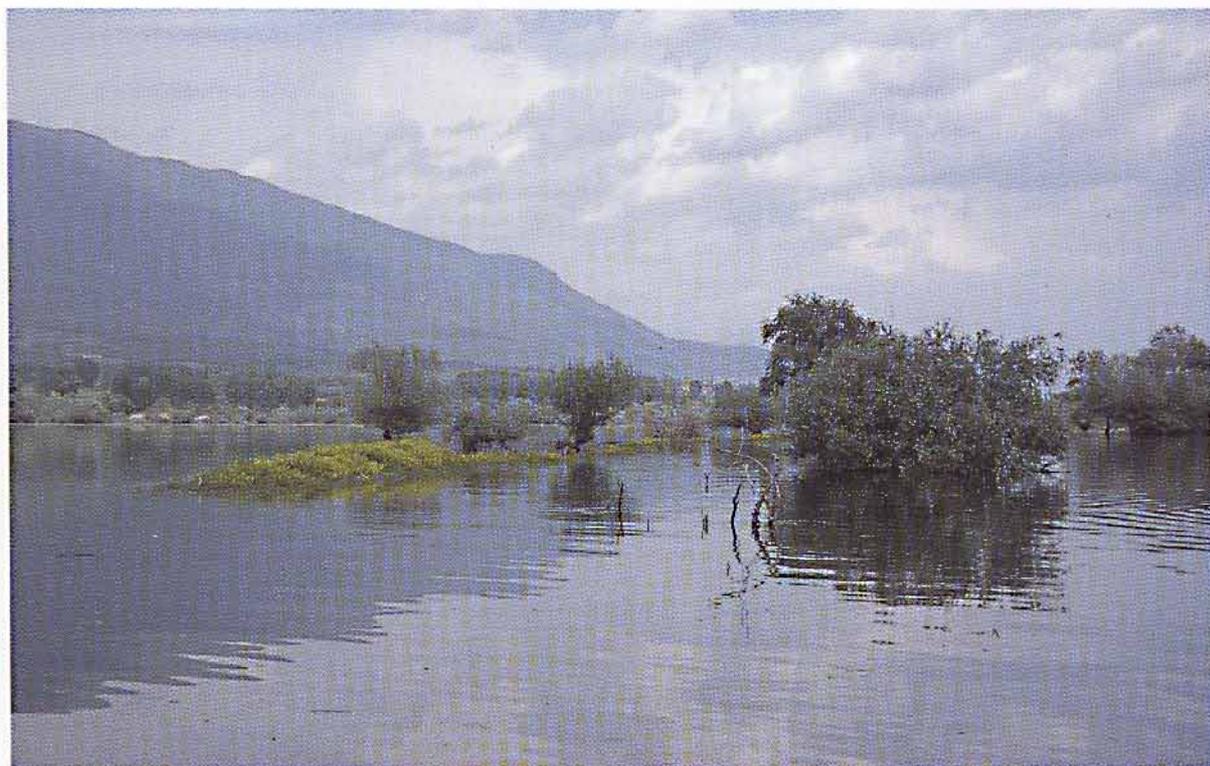


Photo 7.3.1 La rivière Strymon à son embouchure dans le lac Kerkini, avec la ripisylve. (Pere Tomàs Vives)

7.3.1 Description du site

Localisation, taille, physiographie

Le lac Kerkini, 41°13'N 23°8'E, s'étend dans la partie du nord-ouest de la Préfecture de Serres, au nord de la Grèce (figure 7.3.1). Le lac est partiellement artificiel et a été créé sur le site de l'ancien lac naturel Kerkinitis, après la construction d'un barrage sur le Strymon en 1932. Celle-ci avait été entreprise tout d'abord pour réduire le risque d'inondation, mais aussi pour lutter contre les moustiques. Par la suite, elle a également permis de mettre en place des périmètres irrigués. Des travaux supplémentaires entrepris en 1982 ont augmenté la capacité de stockage du réservoir. Sur ses côtés est et nord-ouest, le lac est limité par des digues. Il

couvre actuellement 7.500 ha (Zalidis *et al.* 1995). Le bassin versant du lac Kerkini coïncide avec celui du Strymon et est en grande partie situé en Bulgarie. La superficie totale du bassin versant du Strymon en amont du lac est de 11.521 km², dont 10.775 km² en Bulgarie. Le lac Kerkini a une profondeur maximum de 10 m et les fluctuations du niveau d'eau y sont importantes (plus de 5 m), du fait de la politique actuelle de gestion axée sur l'irrigation.

Types de zones humides présents dans le site

D'après la classification de Ramsar, le lac Kerkini est un réservoir constituant une mosaïque de types de zones humides incluant: un cours d'eau permanent (type Ramsar M), un delta intérieur (L), un lac d'eau

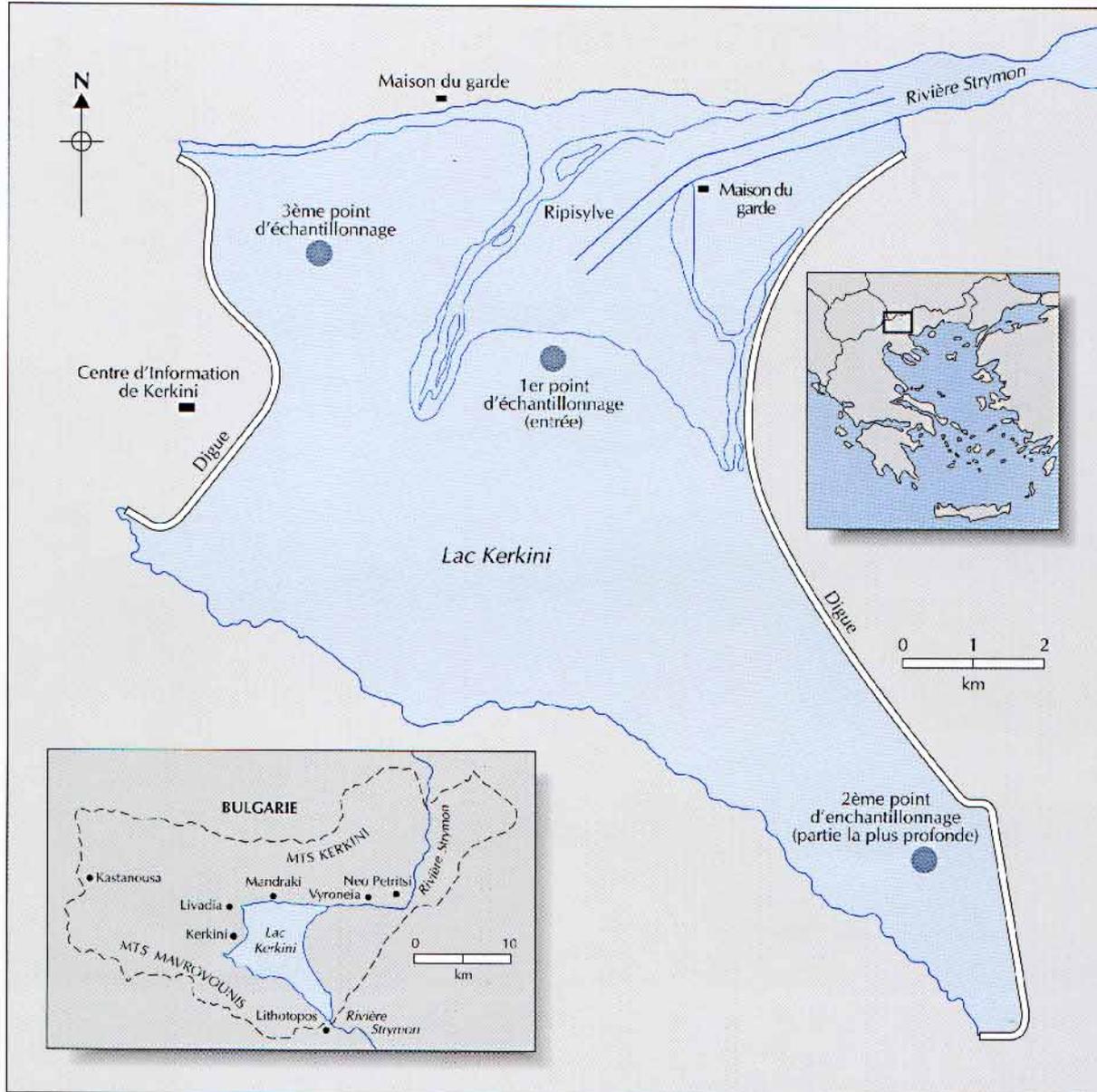


Figure 7.3.1 Lac Kerkini, Grèce.

douce permanent (O) dans la partie centrale et méridionale, un lac d'eau douce saisonnier (P) dans la partie septentrionale et des marais d'eau douce saisonniers (Ts) dans la partie nord et nord-est.

Principales valeurs du site

Les principales fonctions naturelles de Kerkini sont les suivantes: modification du régime de crue, piégeage des sédiments et support des chaînes trophiques. Parmi les valeurs actuelles importantes figurent la lutte contre les inondations, l'approvisionnement en eau d'irrigation, la diversité biologique, la production halieutique et la production fourragère.

Occupation des sols et principales menaces

La zone humide est essentiellement utilisée pour limiter les risques d'inondation et fournir de l'eau d'irrigation et, à titre secondaire pour la pêche et le pâturage. Les principales menaces pesant sur la zone humide proviennent des nouveaux projets d'assèchement des terres, des activités illégales de pêche, chasse et exploitation forestière, et de la pollution transfrontalière.

Propriété, statut légal et organisme de gestion

La zone humide appartient à l'Etat. C'est un site Ramsar qui a également été désigné comme Zone de



Protection Spéciale dans le cadre de la Directive Oiseaux de la CE, 79/409/CEE, et c'est une réserve de gibier. Un grand nombre d'agences gouvernementales sont responsables de la gestion de la zone humide. La Direction de la mise en valeur des terres de la préfecture de Serres est responsable de la gestion de l'eau, la Direction de l'agriculture est responsable des pêcheries, de l'élevage et des cultures et le Service forestier de Sidirokastron est responsable de la chasse et de la gestion de la ripisylve.

Sur une initiative conjointe du gouvernement central et des pouvoirs locaux, un autre organisme est en cours d'établissement. Il sera responsable de la mise en oeuvre des programmes d'éducation environnementale et de l'information des visiteurs et collaborera au gardiennage du site.

7.3.2 Programmes de suivi et de surveillance existants

Le Centre grec des biotopes/zones humides (EKBY) a préparé un questionnaire pour obtenir une description détaillée des divers programmes de suivi destinés à la zone d'étude. Ce questionnaire a été distribué aux services concernés de la préfecture de Serres ainsi qu'à différentes personnes. Des informations ont également été obtenues grâce à des contacts personnels et l'ensemble de la procédure a permis d'établir la liste suivante des activités de suivi menées au lac Kerkini et dans son bassin versant:

Projets de suivi concernant le bassin versant et le Strymon

I. Région de Macédoine centrale

- a) Le Service forestier de Sidirokastron tient à jour des registres des licences de coupe de bois et des permis de chasse.

II. Préfecture de Serres

- a) La Direction de l'agriculture tient des statistiques annuelles des cultures et de l'élevage (nombre d'animaux, superficies cultivées, etc.).
- b) La Direction des travaux publics enregistre quotidiennement le débit du Strymon, afin d'évaluer le risque d'inondation.
- c) La Direction de l'hygiène prélève chaque mois des échantillons d'eau du Strymon pour effectuer des analyses qualitatives en rapport avec la santé humaine.

- d) La Direction de l'environnement enregistre le pH, la température de l'eau, la transparence, la conductivité, l'oxygène dissous et le niveau d'eau dans le Strymon. Elle prévoit d'étendre ses activités de suivi pour couvrir également les éléments nutritifs (nitrates et phosphates). Le but consiste essentiellement à évaluer les niveaux de pollution transfrontalière puisque le fleuve vient de Bulgarie.
- e) La Direction de la mise en valeur des terres et de l'irrigation enregistre chaque mois le pH, l'oxygène dissous, la conductivité et les teneurs en chlore, sulfates, sodium et potassium de l'eau du Strymon. Le but consiste ici à contrôler la qualité de l'eau d'irrigation.

Projets de suivi concernant le lac

I. Région de Macédoine centrale

- a) Le Service forestier de Sidirokastron tient à jour des registres des permis de chasse.

II. Préfecture de Serres

- a) La Direction de l'agriculture tient des statistiques mensuelles des rendements en poisson pour les quatre espèces commerciales les plus importantes et pour les prises totales des espèces restantes.
- b) La Direction des travaux publics enregistre quotidiennement le niveau d'eau du lac afin de régler au mieux le régime hydrologique pour éviter l'inondation des zones en aval.

III. Autres organismes

- a) Suivi des menaces de 1992 à 1994, par l'EKBY.
- b) Suivi annuel (en janvier) des oiseaux d'eau hivernants depuis 1982 dans le cadre du projet de recensement hivernal des oiseaux d'eau en Grèce, organisé par la Société ornithologique hellénique en coopération avec Wetlands International (anciennement BIROE).
- c) Suivi régulier des nombres de couples reproducteurs de limicoles depuis les dix dernières années, par des chercheurs.
- d) Suivi irrégulier, au cours de la dernière décennie, de paramètres de qualité de l'eau (pH, température, teneur en nitrates, phosphates, etc.) et de la sédimentation par des chercheurs.



Photo 7.3.2 Des plantes vasculaires flottantes apparaissent dans les zones où l'eau est de bonne qualité. (Tasos Dimalaxis)

Il est évident que les activités de ces différents projets se chevauchent considérablement. Il faut en outre mentionner que peu d'entre elles sont entreprises avec autant d'efficacité que le souhaiteraient les services responsables du fait du manque de fonds et de personnel qualifié.

L'organisme en cours de constitution (voir 7.3.1 ci-dessus) sera basé au Centre d'information de Kerkini et devrait être responsable de la mise en oeuvre des programmes de suivi locaux. Il sera initialement doté du personnel et des infrastructures suivantes:

Personnel:

- Deux scientifiques ayant une formation et une expérience de terrain suffisantes;
- Deux gardes.

Infrastructures:

Centre d'information, deux logements pour les gardes, deux tours d'observation, un véhicule tout-terrain, un bateau à moteur, un micro-ordinateur, une photocopieuse, du matériel de laboratoire de base et d'autres matériels tels que congélateur, réfrigérateur, un kit d'examen de la qualité de l'eau, un appareil photographique, deux télescopes, cinq paires de jumelles, une caméra vidéo, une base VHF et trois récepteurs portables.

7.3.3 Programme de suivi proposé pour le lac Kerkini

L'élaboration d'un programme intégré de suivi au lac Kerkini devrait essentiellement permettre:

- de vérifier l'efficacité des mesures de gestion rationnelle;
- d'identifier les menaces découlant d'une gestion non durable des ressources de la zone humide et d'alerter les autorités concernées et le public.

Après avoir examiné et évalué les informations disponibles sur le lac et son bassin versant, un plan de travail comprenant les étapes suivantes a été mis au point:

- détermination de la référence;
- identification des problèmes (actuels et potentiels);
- identification des paramètres devant faire l'objet d'un suivi;
- établissement d'hypothèses;
- conception d'un programme intégré de suivi;
- faisabilité, rentabilité et collecte des données;
- analyse des données et interprétation des résultats;
- utilisation des résultats.



Détermination de la référence

L'examen de la documentation portant sur le lac Kerkini, le Strymon et son bassin versant a donné les résultats suivants:

■ Eau

On dispose de suffisamment de données sur le niveau d'eau et le bilan hydrologique (Direction des travaux publics/préfecture de Serres) ainsi que sur la sédimentation (Psilovikos 1992, 1994). On estime en revanche que les données sur la qualité de l'eau sont insuffisantes pour les parties grecque et bulgare du bassin versant. Les données existantes (Direction de l'hygiène/préfecture de Serres, Direction de l'environnement/préfecture de Serres; Papastergiadou 1990, Kilikidis 1989, Psilovikos 1994) peuvent néanmoins fournir une référence pour les activités de suivi à venir (voir annexe I).

■ Végétation

Données suffisantes sur la composition en espèces. Etudes de végétation et représentations cartographiques disponibles (Papastergiadou 1990, Pyrovetsi & Papastergiadou 1992, Crivelli *et al.* 1995, Psilovikos 1995, Zalidis *et al.* 1995). Données de référence suffisantes.

ANNEXE: DONNÉES DE RÉFÉRENCE

a) Régime hydrologique:	
Moyenne minimum:	31,8 m au dessus du niveau moyen de la mer
Moyenne maximum:	36 m au dessus du niveau moyen de la mer
Durée des inondations maximum (supérieures à 35 m):	63 jours
Sédimentation:	1.000.000 m ³ /an
b) Végétation:	
Superficie de la ripisylve:	470,6 ha
Superficie des roselières:	34,1 ha
Superficie des prairies humides:	29,2 ha
Superficie des herbiers de végétation aquatique:	411,2 ha
(pour l'état de la ripisylve, d'après Crivelli <i>et al.</i> 1995)	
c) Faune sauvage:	
Pour les effectifs moyens d'oiseaux d'eau (Crivelli <i>et al.</i> 1995)	
Pour les loutres, estimations des effectifs; d'après Gourvelou 1993	
d) Activités humaines:	
Pour les pêcheries, rendements moyens; d'après Tatarakis 1995	
Pour la pression du pâturage; d'après Gerakis 1990	

■ Faune sauvage

Données suffisantes sur les populations d'oiseau d'eau (Société ornithologique hellénique 1983-95, Jerrentrup 1990, Crivelli *et al.* 1995, Naziridis non

Tableau 7.3.1 Résumé des principaux points d'un programme de suivi pour le lac Kerkini.

Problème(s)/question(s)	a) Changements de superficie de la zone humide. b) Changements de régime hydrologique et de régime de sédimentation. c) Utilisation non rationnelle des ressources naturelles.
Objectifs	a) Suivre la superficie des types d'habitats menacés. b) Suivre le niveau du lac, la sédimentation et la durée des inondations. c) Suivre la pression du pâturage et la production halieutique.
Hypothèse	a) La superficie des habitats menacés ne baissera pas significativement par rapport au niveau actuel. b) Le niveau du lac ne dépassera pas 36 m au dessus du niveau moyen de la mer. Les inondations maximales ne dureront pas plus de deux mois. La sédimentation ne dépassera pas le niveau moyen des 10 dernières années. c) La pression du pâturage et la pêche ne dépasseront pas les niveaux moyens des 10 dernières années.
Méthodes et variables	a) Vérification sur le terrain tous les 5 ans. b) Mesures quotidiennes du niveau du lac. Sondages bathymétriques pour les sédiments. Durée de l'inondation dans des parcelles précises. c) Recensements d'oiseaux. d) Statistiques d'animaux au pâturage et de production halieutique.
Faisabilité/rentabilité	Le Centre d'information de Kerkini fournira le personnel pour l'analyse et l'interprétation des données.
Echantillonnage	a) Tous les 5 ans. b) Mesures quotidiennes du niveau du lac. Mesures mensuelles (sondages bathymétriques, durée des inondations). c) Deux fois par mois. d) Mensuel.
Analyse des échantillons	Comparaison avec la référence.
Préparation du rapport	Rapport annuel. Un Service spécial de suivi de la préfecture de Serres devrait notamment coordonner les activités de suivi actuellement menées par les différents services de la préfecture.



publié, Dimalaxis non publié). Données suffisantes sur certaines espèces de mammifères, comme la loutre (MacDonald & Mason 1982, Gourvelou 1993). Données insuffisantes sur d'autres vertébrés et invertébrés.

■ Activités humaines

Données insuffisantes sur le pâturage. Données suffisantes sur les rendements halieutiques (Direction de l'agriculture/préfecture de Serres), données insuffisantes sur les effectifs des espèces non commerciales.

Identification des problèmes (actuels et potentiels)

Compte tenu des résultats d'un projet précédent portant sur le suivi de menaces pesant sur les zones humides grecques, entrepris par l'EKBY (Kazantzidis *et al.* 1995) sur la base d'autres rapports, de visites sur le terrain et d'entretiens, les principaux problèmes auxquels la zone doit faire face sont les suivants:

- changements de superficie de la zone humide;
- changements du régime hydrologique et de la sédimentation;
- mauvaise utilisation des ressources naturelles du fait de la non-intégration de la gestion de la zone humide et de ses alentours.

Identification des paramètres devant faire l'objet d'un suivi

Les paramètres suivants méritent d'être suivis:

- superficie de certains habitats humides jugés gravement menacés de dégradation ou de destruction, tels que la ripisylve, les prairies humides, les roselières et les herbiers de plantes aquatiques;
- niveau d'eau du lac, durée des inondations et sédimentation;
- pression de pâturage et production halieutique.

Etablissement d'hypothèses

Avant d'examiner comment il sera possible de suivre les paramètres ci-dessus, il convient d'établir des limites que la dégradation du système en entier ne devrait pas dépasser:

- la superficie des habitats de zone humide ne devrait pas baisser de manière significative par rapport aux niveaux actuels;
- le niveau du lac ne devrait pas dépasser la limite de 36 m au-dessus du niveau moyen de la mer, ce qui correspond au maximum moyen des 10 dernières années. Les inondations maximales ne

Photo 7.3.3 Zone temporairement inondée sur le rivage du lac Kerkini. (Tasos Dimalaxis)





devraient pas durer plus de 2 mois chaque année. Les taux de sédimentation ne devraient pas dépasser le maximum moyen des 10 dernières années;

- le niveau d'eutrophisation et de pollution chimique ne dépassera pas la moyenne des 10 dernières années;
- la pression du pâturage et la pêche ne devraient pas dépasser la moyenne des 10 dernières années.

Conception d'un programme intégré de suivi

Le meilleur programme de suivi pour le site peut être esquissé de la manière suivante:

■ *Suivi des changements de superficie de la zone humide*

A effectuer tous les 5 ans au moyen des cartes numérisées de l'EKBY et de travaux de terrain (vérification).

■ *Suivi des changements du régime hydrologique*

Il convient d'inclure ici des mesures quotidiennes du niveau du lac (fournies par les services du barrage) et des mesures bimensuelles de la hauteur et de la durée des inondations à des sites choisis de la ripisylve et des prairies humides pendant la période de croissance. Comme l'envasement du lac constitue un problème, il

faudra effectuer des sondages bathymétriques (topographie du fond) et des mesures de l'épaisseur des sédiments du lac; on déterminera ainsi la profondeur d'eau avec un bathymètre et l'épaisseur des sédiments non consolidés (lâches) en sondant le fond avec une tringle d'acier à divers endroits du lac.

■ *Suivi de l'état de la ripisylve*

Des mesures de l'état des arbres seront effectuées une fois par an sur le terrain (pendant la période de faible inondation); on calculera le pourcentage d'arbres morts dans chacune des trois parcelles d'échantillonnage mises en place en différents endroits de la forêt (figure 7.3.2). On notera les densités d'arbres, la régénération, la hauteur et la durée des inondations.

■ *Suivi de l'état des prairies humides*

Des mesures seront effectuées deux fois par mois pendant la période de croissance pour déterminer la hauteur d'eau et la durée de l'inondation.

■ *Suivi des populations d'oiseaux d'eau*

Les recensements seront effectués deux fois pendant l'hiver (début décembre et fin février) puis une fois par mois pendant la migration de printemps et la période de reproduction (mars-juin) et pendant la période

Photo 7.3.4 L'augmentation du niveau de l'eau du lac a provoqué une réduction de la surface de la forêt inondée.





d'envol des jeunes et la migration d'automne (juillet-novembre). On recensera les populations d'oiseaux d'eau, de limicoles, de rapaces et, pendant la saison de reproduction, les couples reproducteurs.

■ *Suivi de la pression de pâturage*

Utilisation des chiffres annuels enregistrés par la Direction de l'agriculture/préfecture de Serres conjointement avec des comptages directs du nombre d'animaux présents sur le site. La Direction devrait pouvoir fournir des données de capacité de charge.

■ *Suivi de la production halieutique*

Suivi mensuel des prises.

Faisabilité, rentabilité et collecte des données

La mise en oeuvre du programme de suivi défini ci-dessus exigera un certain financement et une organisation efficace. Dans un premier temps, la structure organisationnelle s'appuiera sur deux organes: le Centre d'information de Kerkini et un Service spécial de suivi qu'il convient de créer au niveau de la préfecture de Serres et dont la fonction consistera à coordonner les activités de suivi actuellement menées par les divers services de la préfecture. On trouvera ci-dessous une proposition de division des tâches:

Centre d'information de Kerkini:

- fournit le bateau et le véhicule pour le suivi du lac;
- participe aux autres tâches de suivi, y compris les enquêtes sur les oiseaux d'eau, les poissons et la végétation;
- fournit (ou obtient auprès d'autres services publics) les données d'occupation des sols nécessaires à l'étude;
- coordonne les échanges de données provenant des services publics de la préfecture de Serres;
- analyse et interprète les données de suivi;
- prépare le rapport final.

Service spécial de suivi de la préfecture de Serres:

- fournit des données sur le niveau d'eau du lac;
- fournit des données sur le débit du Strymon;
- fournit des données sur les pêcheries, les cultures et l'élevage;
- fournit des données sur la qualité de l'eau du Strymon.

Analyse des données et interprétation des résultats

Les résultats du suivi doivent être comparés avec les données de référence (par exemple la valeur moyenne des 10 dernières années).

Il faudra donc veiller à: a) la fiabilité scientifique des informations recueillies, b) la validité des procédures statistiques de traitement des données et c) l'interprétation des données.

Les compétences du personnel local et le matériel et le temps dont il disposera ne permettront pas de résoudre tous les problèmes scientifiques auxquels sera confronté le programme de suivi, certains n'étant pas du ressort du Centre d'information et de la préfecture de Serres.

Pour surmonter ces problèmes il est nécessaire d'encourager une étroite collaboration entre le Centre d'information et l'EKBY. Celle-ci serait bénéfique pour l'équipe travaillant au niveau local en termes d'expérience et de compétences.

Utilisation des résultats

L'évaluation des paramètres mentionnés ci-dessus donnera des indications intéressantes sur les problèmes auxquels le lac est actuellement confronté et fournira par conséquent un cadre pour préparer des propositions bien documentées de gestion du lac et de son bassin versant. Elle permettra également de mieux anticiper les changements pouvant affecter la qualité des habitats dans la zone d'étude.

RÉFÉRENCES

- Albanakis, K., S. Sklavounos and A. Psilovikos. 1992. *Preliminary assessment of the distribution and quality of suspended materials in the Strymon and Kerkini hydrological system*. Paper presented at the 6th Conference of the Greek Geological Society, Athens, Greece. [In Greek]
- Arianoutsou, M., H. Vlahos, B. Hallmann, I. Kapetagiannis, A. Kokkinakis, S. Kokkini, E. Letsios and G. Balasis. 1986. *Delineation of the Kerkini wetland*. Ministry of Environment, Athens, Greece. [In Greek]
- Babalonas, D. and E. Papastergiadou. 1989. The waterfern *Salvinia natans* in Lake Kerkini. *Arch. Hydrobiol.* 116: 487-498.
- Crivelli, A.J., P. Grillas and B. Lacaze. 1995. Responses of vegetation to a rise in water level at the Kerkini reservoir (1982-1991), a Ramsar site in Northern Greece. *Environmental Management* 19: 417-430.
- Crivelli, A.J., P. Grillas, H. Jerrentrup and T. Nazirides. 1995. Effects on fisheries and waterbirds of raising water levels at Kerkini reservoir, a Ramsar site in northern Greece. *Environmental Management* 19: 431-443.
- Dimalaxis, A. and M. Pyrovetsi. 1995 (in press). Effect of water level fluctuations on herons foraging habitats, at lake Kerkini. In: *Proceedings of the conference of GEOTEE concerning the sustainable development of Lake Kerkini and the River Strymon*. Serres, Greece.



- Economidis, P.S. 1991. *Greek list of freshwater fishes. Recent status of threats and protection*. Hellenic Society for the Protection of Nature, Athens, Greece. 46 pp.
- Fytianos, K., V. Samanidou and T. Agelidis. 1986. Comparative study of heavy metals pollution in various rivers and lakes of Northern Greece. *Ambio* 15: 42–44.
- Gerakis, P.A. 1990. Observations on crop and livestock farming in the area of Lake Kerkini. pp: 295–318, in: P.A. Gerakis (ed.). *Conservation and management of Greek Wetlands*. Proceedings of a Greek Wetlands Workshop, held in Thessaloniki, Greece, 17–21 April 1989, IUCN, Gland, Switzerland. xii + 493 pp.
- Gourvelou, E. 1993. *The feeding habits of the otter (Lutra lutra) and its population status in Lake Kerkini*. MSc Thesis, MAICH, Crete, Greece.
- Hellenic Ornithological Society. 1983–1995. *Midwinter waterfowl counts in Greece*. Hellenic Ornithological Society, Athens, Greece.
- Jerrentrup, H. 1990. The fauna of Lake Kerkini. pp 317–328, in: P.A. Gerakis (ed.). *Conservation and management of Greek Wetlands*. Proceedings of a Greek Wetlands Workshop, held in Thessaloniki, Greece, 17–21 April 1989, IUCN, Gland, Switzerland. xii + 493 pp.
- Kazantzidis, S., M Anagnostopolous and P.A. Gerakis. 1995. *Problems in 35 Greek wetlands: Wetlands Monitoring Project 1992–94*. EKBY, Greece. 249 pp. [in Greek, English summary]
- Kilikidis, S., A. Kamarianos, G. Fotis, X. Karamanlis and T. Kousouris. 1989. *Ecological study at Lake Kerkini, aiming at the improvement of fish productivity*. Department of Veterinary Science, Aristotle University of Thessaloniki, Greece. 74 pp. [In Greek]
- Klossas, A. 1975. *Hydrobiological study of Lake Kerkini*. Institute of Forest Research, Ministry of Agriculture, Athens, Greece. 61 pp. [In Greek]
- MacDonald, S.M. and C.F. Mason. 1982. Otters in Greece. *Oryx* 16 :240–244.
- Papastergiadou, E. 1990. *Phytosociological and ecological study of aquatic macrophytes in Northern Greece*. PhD Thesis, Department of Biology, Aristotle University of Thessaloniki, Greece. 226 pp. [In Greek, English summary]
- Papastergiadou, E. and D. Babalonas. 1992. Ecological studies on aquatic macrophytes of a dam lake, Lake Kerkini, Greece. *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 90: 187–206.
- Pyrovetsi, M. and E. Papastergiadou. 1992. Biological conservation implications of water level fluctuations in a wetland of international importance, Lake Kerkini, Macedonia, Greece. *Environ. Conserv.* 19: 235–244.
- Psilovikos, A. 1992. *Study on the sedimentation problems of Strymon river and possible solutions*. Research Project, Aristotle University of Thessaloniki, Greece. [In Greek]
- Psilovikos, A. 1994. *Environmental Impact Assessment of the project on anti-flooding protection of the River Strymon and Lake Kerkini*. [In Greek]
- Tatarakis, E. 1995. Fisheries management in Lake Kerkini. pp 95–108, in: Skordas, K. and M. Anagnostopoulou (eds.). *Sustainable management of the water of Lake Kerkini. Proceedings of a training course, Serres 25–29 September 1995*. EKBY, Ministry of Environment, Physical Planning and Public Works, Ministry of Macedonia-Thrace & MedWet, Greece. 144 pp. [In Greek]
- Zalidis, C.G., and A. Mantzavelas. 1995. *Inventory of Greek wetlands as natural resources (First Approximation)*. EKBY, Greece. xvi + 450 pp. [English edition]
- Zalidis, C.G., A. Mantzavelas and E. Fytoka (eds.). 1995a. *Guidelines for topological identification of Mediterranean wetland habitats*. EKBY & MedWet, Greece. 48 pp.
- Zalidis, C.G., A.L. Mantzavelas and E. Fytoka (eds.). 1995b. *Wetland habitat description map of Lake Kerkini (1:25000 scale)*. EKBY and Laboratory of Forest Management. EKBY & MedWet, Greece.

7.4 Étang de l'Or et Marais de Candillargues, France



Aura Penloup



Photo 7.4.1 Vue du Petit Marais. (Nathalie Vazzoler)

7.4.1 Description du site

Localisation, taille, physiographie

Situé dans le sud de la France, 43°35'N 4°0'E, dans la région administrative du Languedoc-Roussillon, département de l'Hérault, à proximité de Montpellier (figure 7.4.1), ce site fait partie du complexe lagunaire du Languedoc. Les principales municipalités concernées par le site sont Mauguio et la Grande Motte et, aux alentours, on trouve Candillargues, Lansargues, Marsillargues et Pérols.

La lagune occupe 3.167 ha auxquels s'ajoutent 2.068 ha de marais. Longue de 22 km et large de 3 km, son volume est de 24 Hm³ pour une profondeur moyenne de 0,80 m et une profondeur

maximale de 1,30 m. La salinité annuelle moyenne est de 14 g/l (Perdieu 1992). Voir figure 7.4.2.

Types de zones humides présents dans le site

L'étang de l'Or est une lagune côtière saumâtre (type Ramsar J); les marais de Candillargues sont des marais d'eau douce et saumâtre saisonniers et permanents (types Ramsar Ss, Sp, Ts et Tp).

Principales valeurs du site

Les principales fonctions et valeurs de l'étang de l'Or et de ses alentours sont les suivantes: rétention d'éléments nutritifs, ressources halieutiques, diversité biologique, activités récréatives et tourisme.

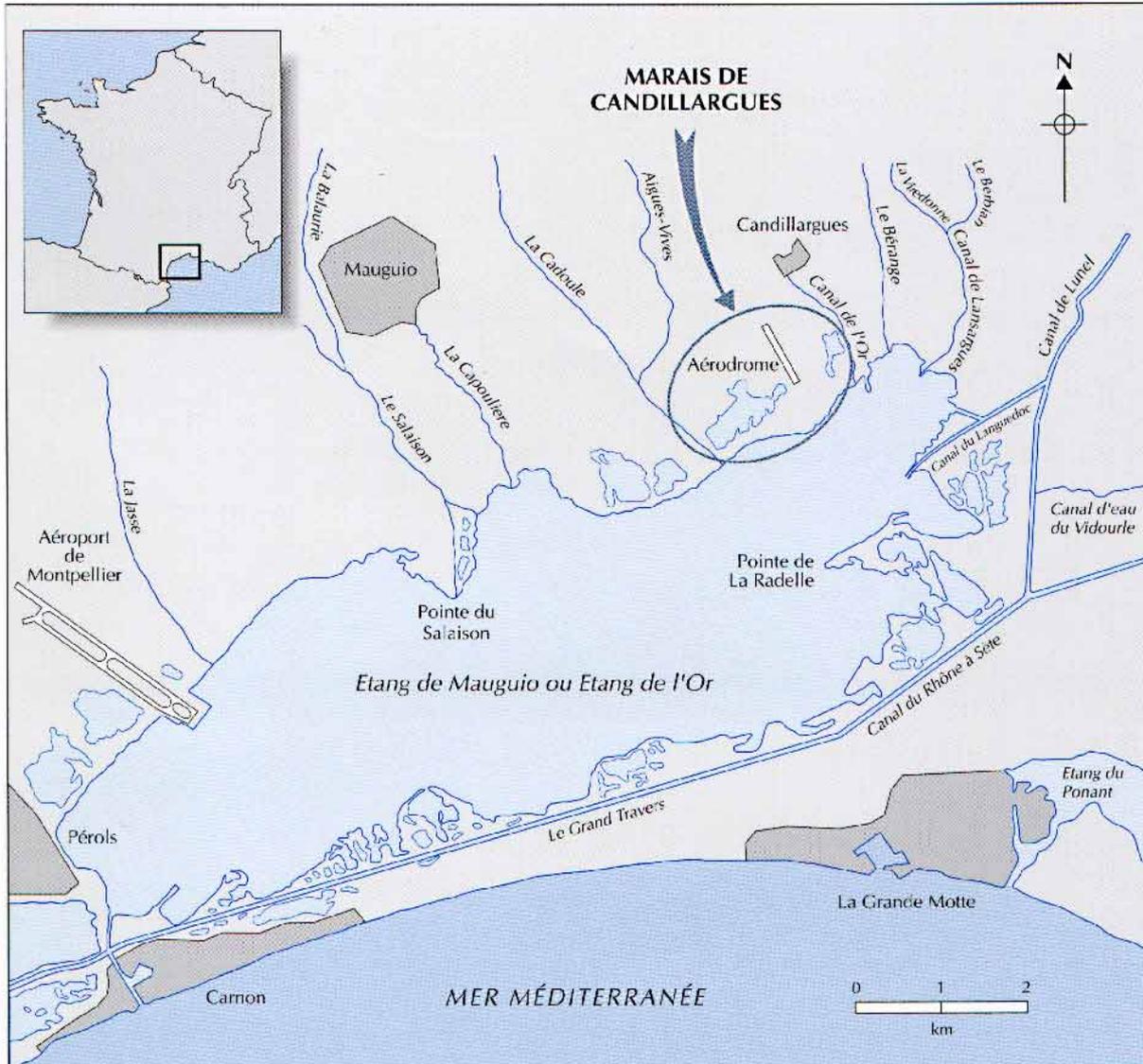


Figure 7.4.1 Étang de l'Or et Marais de Candillargues, France.

Occupation des sols et principales menaces

La lagune est utilisée pour la pêche; ses rives servent au pâturage, à l'agriculture et à la chasse. Pollution et eutrophisation sont les deux principales menaces pesant sur le site.

Propriété, statut légal et organisme de gestion

Les principaux propriétaires du site sont le *Domaine public maritime*, avec 3.100 ha (l'intégralité de la lagune) et le *Conservatoire du Littoral et des Rivages Lacustres*, avec 733 ha en bordure de la lagune.

L'ensemble de la lagune et de ses rives a été désigné comme *site classé*, ce qui lui confère une bonne protection contre tout projet de construction; certains

marais bénéficient d'un *Arrêté de biotope*, et l'ensemble de la zone est soumis à la *Loi littoral*.

La lagune forme à elle seule une ZNIEFF (Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique) et ses rivages sont en grande partie couverts par huit autres ZNIEFF. Si cette désignation ne confère aucun statut de protection, elle reflète l'importance écologique du site.

Le *Syndicat Mixte de Gestion de l'Etang de l'Or* (SMGEO), créé en 1991 et formé de 13 municipalités, est responsable de la gestion de la lagune et de ses rivages. Il regroupe des administrations locales, régionales et nationales, des professionnels (pêcheurs), des associations (chasseurs) et des scientifiques. Les principaux objectifs du *Syndicat* sont les suivants:



- lutte contre la pollution du bassin versant;
- restauration et protection de la zone humide;
- gestion des entrées d'eau dans la lagune.

7.4.2 Programmes de suivi proposés pour l'étang de l'Or et les marais de Candillargues

Suivi de l'état et de l'étendue des roselières et de la qualité des paysages des marais de Candillargues

Il est nécessaire de mieux connaître les roselières avant de pouvoir entreprendre un programme de suivi (voir tableau 7.4.1), ce qui suppose une étude préliminaire. Celle-ci comprendra:

1. L'évaluation de l'état général des roselières;
2. L'identification des éventuelles causes de réduction de superficie des roselières, comme l'augmentation de la salinité, l'excès ou

l'insuffisance d'eau pendant certaines parties du cycle annuel ou les problèmes de qualité de l'eau;

3. L'évaluation de la superficie antérieure des roselières, ce qui peut être fait de deux manières:

- a) En utilisant des images satellitaires. Les techniques d'identification des roselières et de calcul des superficies sont connues (voir par exemple Sandoz 1996). Les avantages de cette technique tiennent à l'automatisation du calcul des superficies de roselières et à la disponibilité d'images satellitaires pour l'étang de l'Or et ses rivages depuis les cinq dernières années;
- b) par photo-interprétation de photographies en noir et blanc et/ou aux infrarouges (disponibles auprès de l'Institut géographique national). Les techniques photographiques sont mieux adaptées à cette échelle mais le calcul des superficies n'est pas automatique et les photographies sont coûteuses.

Tableau 7.4.1 Suivi de l'état et de l'étendue des roselières et de la qualité des paysages des marais de Candillargues.

Problème/question globale	Diminution de la superficie des roselières.
Problème/question spécifique	L'état actuel des roselières, en termes de superficie et de qualité (densité, hauteur) n'est pas quantifié; certaines études ont mentionné une diminution de la superficie des roselières depuis les années 1950, notamment au cours des dix dernières années, mais il n'y a jamais eu de suivi régulier à long terme.
Objectif	Quantifier la réduction de la superficie des roselières. Quantifier l'occurrence des différents habitats. Évaluer l'état général des roselières et son évolution dans le temps.
Hypothèse	Hypothèse nulle: 1. La superficie des roselières ne diminuera pas. 2. La structure des roselières ne changera pas (hauteur, densité). 3. La composition en espèces des roselières ne changera pas.
Méthodes et variables	Série de quadrats de 1 x 1 m le long de transects de 150 m. Un exclos (25 x 25 m) sera construit pour empêcher le pâturage; des quadrats de 1 m de côté seront choisis de manière aléatoire à l'intérieur et à l'extérieur de l'exclos pour évaluer l'impact du pâturage sur la végétation. Listes des espèces végétales, classes d'abondance pour les espèces principales. Description des roselières: mesure de la densité des tiges et de la hauteur des cinq plus grandes tiges dans les quadrats le long des transects. Continuer le suivi photographique (quatre fois par an à partir de points fixes) en utilisant des repères pour obtenir des mesures qualitatives de l'évolution des paysages.
Faisabilité/rentabilité	Transects: trois jours/ans. Photographies: 800 FF; quatre jours/ans.
Étude pilote	Transects: études d'abondance et de description: pas plus de 1 à 2 mois pour tester la méthodologie, etc. Photographies: étude pilote inutile parce que le travail a déjà commencé (1995); installation de repères.
Échantillonnage	Transects: trois fois/an: avril, juin et août. Photographies: quatre fois/an, aux diverses saisons.
Analyse des échantillons	Analyse statistique des données de transect: moyenne, variance (sur EXCEL); comparaison des transects pour établir des variations saisonnières et annuelles; représentation graphique.
Préparation du rapport	Rapport annuel avec conclusions et recommandations en termes de mesures de gestion et de suivi.



Tableau 7.4.2 Suivi du niveau d'eau dans les marais de Candillargues.

Problème/question global(e)	Diminution de la superficie des roselières.
Problème/question spécifique	On a montré que la mauvaise gestion des niveaux d'eau était un des facteurs potentiels de la réduction de la superficie des roselières.
Objectif	Confirmer l'ensemble du cycle annuel des niveaux d'eau dans les marais, afin d'identifier les périodes clés d'entrées et de sorties d'eau pour l'écosystème. Utiliser, à partir de la fin de la première année, les informations disponibles comme système d'alerte rapide et pour orienter les décisions de gestion vers le maintien ou la restauration de l'équilibre des roselières.
Hypothèse	Les niveaux d'eau ne varieront pas de manière significative (intervalle de confiance de 95%) par rapport à la moyenne à long terme ($x \pm y$ cm, valeurs de x et y établies lors de l'étude de référence et tenant compte des variations saisonnières).
Méthodes et variables	Installation d'échelles limnimétriques pour mesurer le niveau d'eau.
Faisabilité/rentabilité	Investissement: 600 FF pour trois échelles. Nécessitera 24 demi-journées par an.
Etude pilote	1 à 2 mois pour élaborer les méthodes, etc.
Echantillonnage	Deux mesures mensuelles des niveaux d'eau en trois points fixes (un par marais). Les échelles devront être installées dans la partie la plus profonde de chaque marais, mais rester lisibles de loin à partir d'un endroit accessible.
Analyse des échantillons	Moyenne, variance (sur EXCEL); variations saisonnières et annuelles; représentation graphique. Problèmes statistiques: la première année permettra d'établir une référence en termes de profil annuel des niveaux d'eau et d'évaluer l'impact de la gestion de l'eau au moyen des vannes. Lors de la vérification de l'hypothèse, il faudra cependant tenir compte de la possibilité de niveaux d'eau exceptionnellement hauts ou bas (ce qui ne se produit pas plus d'une fois tous les cinq ans), attribuables au seul climat méditerranéen, caractérisé par de fortes variations, à condition que leur impact sur l'écosystème soit réversible.
Préparation du rapport	Rapport annuel avec des conclusions et recommandations en termes de mesures de gestion et de suivi. Si les mesures des niveaux d'eau montrent que la gestion est incompatible avec l'équilibre des roselières, on recommandera des mesures pour modifier le régime hydrologique.

Tableau 7.4.3 Suivi de la salinité de l'eau dans les marais de Candillargues.

Problème/question global(e)	Diminution de la superficie des roselières.
Problème/question spécifique	On a montré qu'une salinité excessive était un des facteurs potentiels de la réduction de la superficie des roselières. L'intrusion saline peut être due à une dégradation des digues, à l'ouverture des vannes ou à une mauvaise manipulation du barrage anti-sel. Ce programme de suivi devrait déboucher sur des recommandations pour la gestion des entrées et sorties d'eau.
Objectif	Confirmer l'ensemble du cycle annuel de la salinité de l'eau dans les marais, afin d'identifier les périodes clés d'intrusion saline. Utiliser, à partir de la fin de la première année, les informations disponibles comme système d'alerte rapide et pour orienter les décisions de gestion vers le maintien ou la restauration de l'équilibre des roselières.
Hypothèse	La salinité de l'eau ne variera pas de manière significative (intervalle de confiance de 95%) par rapport à la moyenne à long terme ($x \pm y$ g/l, établie lors de l'étude de référence et tenant compte des variations saisonnières).
Méthodes et variables	Mesures de la conductivité au moyen d'un conductimètre. Les données de conductivité seront converties en niveaux de salinité au moyen des tableaux existants.
Faisabilité/rentabilité	Les mesures seront effectuées en même temps que les mesures du niveau d'eau et le programme nécessitera 24 demi-journées par an.
Etude pilote	1 à 2 mois pour élaborer la méthodologie, les techniques d'échantillonnage, etc.
Echantillonnage	Deux mesures mensuelles en trois points fixes (un par marais).
Analyse des échantillons	Moyenne, variance (sur EXCEL); variations saisonnières et annuelles; représentation graphique. Problèmes statistiques: la première année permettra d'établir le profil d'un cycle annuel complet. Lors de la vérification de l'hypothèse, il faudra cependant tenir compte de la possibilité de niveaux d'eau exceptionnellement hauts ou bas (ce qui ne se produit pas plus d'une fois tous les cinq ans), attribuables au seul climat méditerranéen, caractérisé par de fortes variations, à condition que leur impact sur l'écosystème soit réversible.
Préparation du rapport	Rapport annuel avec des conclusions et recommandations en termes de mesures de gestion et de suivi.



Photo 7.4.2 Marais de Fauzière. (Nathalie Vazzoler)

L'étude suppose une recherche bibliographique des cartes de végétation afin de comprendre l'évolution des roselières (voir Corre 1989, 1992; Delplanque 1992) et des cartes du service de lutte contre les moustiques (EID).

Suivi du niveau d'eau dans les marais de Candillargues

Avant de lancer un programme de suivi, il est nécessaire d'entreprendre une étude préliminaire pour évaluer, à différentes époques de l'année, les moyennes et variances des niveaux d'eau indispensables au bon fonctionnement des roselières. Celles-ci sont présentes dans trois unités hydrauliques: Cros-Martin, Fauzière et le Petit Marais. Voir tableau 7.4.2.

Suivi de la salinité de l'eau dans les marais de Candillargues

Avant de lancer un programme de suivi, il est nécessaire d'entreprendre une étude préliminaire pour évaluer, à différentes époques de l'année, les moyennes et variances de la salinité de l'eau dans les roselières. L'analyse des fluctuations de la salinité suppose d'effectuer une série de mesures pour différentes saisons sur plusieurs années précédentes (voir plan de gestion SMGEO/IARE/Agence de l'Eau/MedWet 1995a et 1995b). Les roselières sont présentes dans trois unités hydrauliques: Cros-Martin, Fauzière et le Petit Marais. Voir tableau 7.4.3.

Suivi de la qualité de l'eau et des sédiments dans les marais de Candillargues

Il est nécessaire de connaître les roselières avant de lancer un programme de suivi, ce qui suppose une étude préliminaire (voir tableau 7.4.4). Il s'agira notamment d'effectuer une étude bibliographique, l'analyse des teneurs en P et N de l'eau et des sédiments (études à court terme de l'IARE disponibles) et une comparaison de ces valeurs avec les analyses faites dans d'autres marais méditerranéens (voir El-Habr 1987). On cherchera à obtenir les avis d'experts en ce qui concerne le choix des éléments nutritifs à suivre.

RÉFÉRENCES

- Aldebert, F. & C. Cazenave. 1994. *Etude préalable à la mise en oeuvre d'un plan de gestion. Berges nord de l'Étang de l'Or*. Rapport de DESS, "Activités et aménagements littoraux et maritimes", University of Montpellier, France. 40 pp + annexes.
- CEMAGREF. 1989a. *Suivi de la salinité et de l'état trophique de l'étang de l'Or*. Rapport de synthèse 1986-1988, SMLNR, l'Hérault, France. 25 pp.
- CEMAGREF. 1989b. *Suivi physico-chimique de la qualité des eaux*. Bilan du suivi scientifique de l'étang de l'Or (1986-1988), SMLNR, l'Hérault, France.
- CEMAGREF. 1990. *Suivi de la salinité et de l'état trophique de l'étang de l'Or*. Rapport du suivi de 1989. SMLNR, l'Hérault, France.



Tableau 7.4.4 Suivi de la qualité de l'eau et des sédiments dans les marais de Candillargues.

Problème/question globale(e)	L'étang de l'Or se caractérise par de hauts niveaux trophiques dus aux rejets urbains et agricoles.
Problème/question spécifique	L'amélioration des stations d'épuration d'eau est prévu ou en cours; d'autres mesures de gestion ont été planifiées: apports d'eau douce à faible teneur en éléments nutritifs (eau de la Vidourle), quelques dispositions législatives agro-environnementales et restauration de la fonction de filtre des éléments nutritifs des marais. On ne sait pas quelle sera l'efficacité de ces mesures. Il est fondamental d'évaluer le niveau trophique des marais, puisqu'ils remplissent une fonction de dénitrification pour l'ensemble de la lagune. Ces écosystèmes peu profonds sont caractérisés par ces interactions rapides et importantes entre l'eau, les végétaux et les sédiments (la colonne d'eau n'est pas stratifiée, comme dans le cas des eaux plus profondes). Il est donc essentiel d'effectuer des mesures des éléments nutritifs dans l'eau comme dans les sédiments.
Objectif	Vérifier les niveaux des phosphates, nitrates, nitrites, de l'ammoniac et de la chlorophylle a dans l'eau, et du phosphore total et de l'azote total dans les sédiments.
Hypothèse	Pas de variation annuelle significative des concentrations en éléments nutritifs (intervalle de confiance de 95%).
Méthodes et variables	En laboratoire: échantillons de sédiments pour mesurer les concentrations en phosphore total et en azote total. Échantillons d'eau pour les orthophosphates, l'ammoniac, les nitrates, les nitrites, la chlorophylle a. <i>In situ</i> : taux d'oxygène dissous, couleur de l'eau verte: présence de phytoplancton; brune: présence de sédiments en suspension; incolore ou jaunâtre: présence de colloïdes en suspension). transparence (avec un disque de Secchi), température, heure des mesures. Stockage des données sur EXCEL.
Faisabilité/rentabilité	Échantillonnage: deux demi-journées par mois. Coût des analyses: 10.000 à 20.000 FF par an pour les analyses chimiques (sauf pour la chlorophylle a. dont la mesure est très coûteuse).
Etude pilote	1 à 2 mois pour tester les procédures d'échantillonnage.
Échantillonnage	Deux fois par mois, dans chaque unité hydraulique: Cros-Martin, Fauguière, le Petit Marais. Conformément à l'objectif, l'échantillonnage sera entrepris: 1) tout au long de l'année, pour établir le cycle annuel et déterminer les pics et les périodes stables pour chaque élément nutritif; 2) pendant plusieurs années consécutives pour analyser l'évolution du niveau trophique, afin de modifier et d'adapter les décisions de gestion en ce qui concerne les sources et points d'entrée d'eau polluée (une période d'au moins 10 ans peut être nécessaire pour détecter une tendance à l'eutrophisation significative).
Analyse des échantillons	Échantillons de sédiments et d'eau analysés par des laboratoires d'analyses chimiques.
Préparation du rapport	Nitrates: moyenne annuelle, moyenne maximale, variance. Phosphates: moyenne annuelle, moyenne maximale, moyenne minimale, variance. Autres éléments nutritifs et chlorophylle a: moyenne et variance. Représentation graphique. Interprétation des résultats des analyses chimiques: par le responsable du site avec l'aide de spécialistes. Rapport annuel avec conclusions et recommandations en termes de mesures de gestion et de suivi.

Plate 7.4.3 Marais de Cros Martin. (Nathalie Vazzoler)





- CEMAGREF. 1991. *Suivi de la salinité et de l'état trophique de l'étang de l'Or*. Rapport d'étude 1990. SMLNR, l'Hérault, France.
- CEMAGREF-IARE. 1993. *Inventaire des moyens de mesure de la qualité des plans d'eau lagunaires*. Contribution de l'IARE, les indicateurs biologiques benthiques. CEMAGREF-IARE, l'Hérault, France. 133 pp.
- CEMAGREF-IARE. 1994. *Recherche d'indicateurs de niveaux trophiques dans les lagunes méditerranéennes. Analyse bibliographique*. Document de synthèse. Agence de l'Eau RMC, Lyon, France. 112 pp.
- Corre, J.-J. 1961. *Une zone de terrain salé en bordure de l'étang de Mauguio. Etude du milieu et de la végétation*. Thesis, University of Montpellier II, France.
- Corre, J.-J. 1984. *La végétation des berges de l'étang de Mauguio, ses relations avec les plans d'eau superficiels*. Table ronde scientifique sur la gestion de l'étang de l'Or, SMNLR, l'Hérault, France.
- Corre, J.-J. 1989. *Suivi de la végétation des berges*. Bilan du suivi scientifique de l'étang de l'Or (1986–1988), SMNLR, l'Hérault, France.
- Corre, J.-J. 1992. *Suivi de la végétation des berges de l'étang de Mauguio 1987–1991*. SMNLR, Conseil Général de l'Hérault, France. 5 pp + annexes.
- Delplanque, B. 1992. *Dynamique des paysages végétaux le long des rives Nord et Nord-est de l'étang de Mauguio*. Masters' dissertation, University of Montpellier II, France. 27 pp + maps.
- DIREN/SRAE. 1989. *Étude des apports du bassin versant*. Suivi scientifique de l'Étang de l'Or 1986–1988. Syndicat Mixte de Gestion de l'Étang de l'Or, l'Hérault, France.
- DRAE. 1984. *Table-ronde scientifique sur la gestion de l'Étang de l'Or, 8/6/1984*, Montpellier. Cahier des interventions, DRAE, Montpellier, France.
- El-Habr, H. 1987. *Les éléments nutritifs du Rhône; leur devenir dans les canaux d'irrigation et les marais en Camargue*. Thesis, Claude Bernard University, Lyon I, France.
- Guillemins, S. and S. Nguyen. 1993a. *Étude sur le fonctionnement hydraulique. Rives nord de l'Étang de l'Or*. Rapport de DESS SMGEO/University of Montpellier, France. 32 pp + annexes.
- Guillemin, S. and S. Nguyen. 1993b. *Étude sur le fonctionnement hydraulique. Rives nord de l'Étang de l'Or*. Note de synthèse, Rapport de DESS SMGEO/University of Montpellier, France. 7 pp.
- Perdieu, M.-A. 1992. *Étang de l'Or. Présentation, cadre administratif, problèmes à résoudre*. Rapport de D.E.S.S. "Activités et aménagements littoraux et maritimes", University of Montpellier, France. 71 pp + annexes.
- Sandoz, A. 1996. *Suivi par télédétection des zones humides aménagées: application au bassin du Fumemorte*. Thesis, Tour du Valat Biological Station/University of Marseille, France.
- SMGEO 1994. *Amélioration des performances des stations d'épuration du bassin versant*. Rapport du Syndicat Mixte de Gestion de l'Étang de l'Or/Conseil Général de l'Hérault, France. 22 pp.
- SMGEO/IARE/Agence de l'Eau/MedWet. 1995a. *Plan de gestion de Candillargues*. Syndicat Mixte de Gestion de l'Étang de l'Or, l'Hérault, France. 70 pp.
- SMGEO/IARE/Agence de l'Eau/MedWet. 1995b. *Plan de gestion de Candillargues*. Document de Synthèse. Syndicat Mixte de Gestion de l'Étang de l'Or, l'Hérault, France. 33 pp.

7.5 Aiguamolls de l'Empordà, Espagne

Sergio Romero de Tejada



Photo 7.5.1 Vue aérienne du système lagunaire côtier de la Réserve Intégrale n° 2 Les Llaunes. (Jordi Sargatal)

7.5.1 Description du site

Localisation, taille, physiographie

Aiguamolls de l'Empordà, 42°13'N 3°5'E, est une zone humide côtière de 4.824 ha au nord-est de la Catalogne, Espagne (figure 7.5.1). La zone est plate et juste au-dessus du niveau de la mer. Elle est limitée par la mer, des aménagements touristiques et des terrains agricoles. Un système de dunes de sable est présent en bordure de mer.

Le site fait partie de la plaine de l'Empordà, caractérisée par des sédiments quaternaires résultant de l'interaction entre les sédiments fluviaux et la dynamique de la mer. L'évolution de ce système deltaïque est responsable de l'existence de la zone humide.

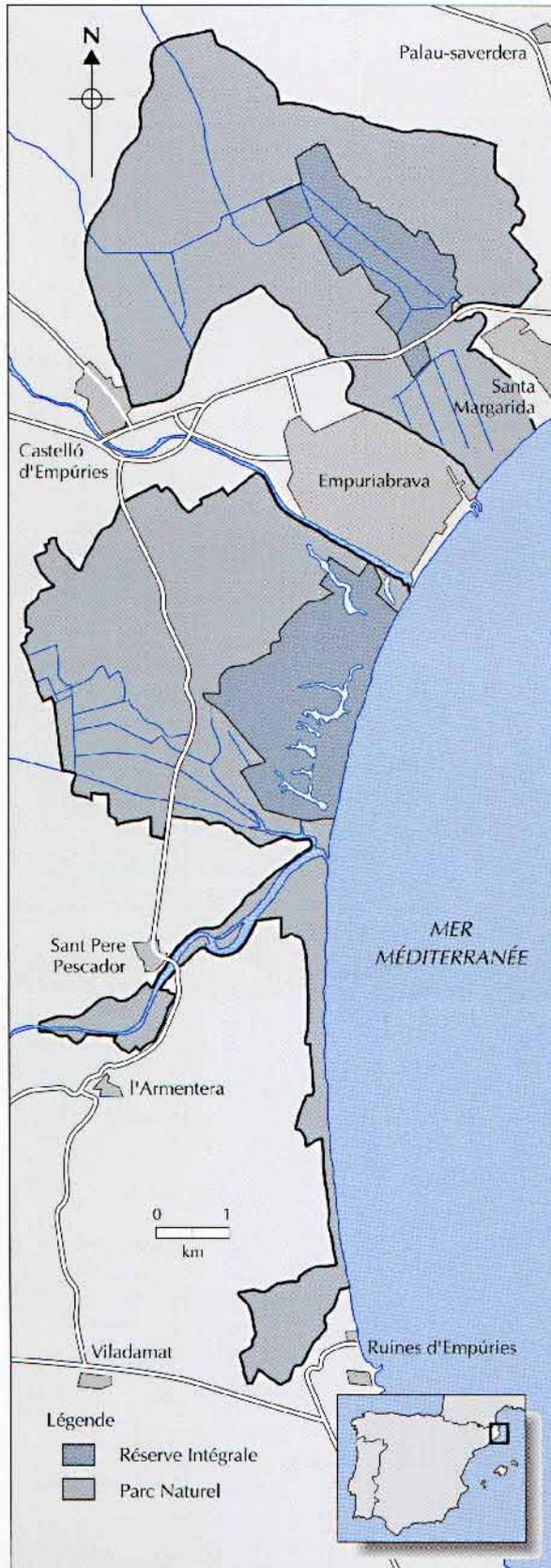
Le site bénéficie d'un climat méditerranéen typique et est marqué par de longues périodes de forts vents du N-NE en hiver et au printemps.

Types de zones humides présents dans le site

On trouve les types Ramsar suivants: plages de sable fin, grossier ou de galets (type Ramsar E); marais salés (H); lagunes côtières saumâtres/salées; lagunes côtières d'eau douce (K); rivières et cours d'eau permanents (M); rivières et cours d'eau saisonniers (N); lacs d'eau douce saisonniers (P); lacs salés/saumâtres permanents (Q); lacs salés/saumâtres saisonniers (R); marais salés/saumâtres permanents (Sp); marais salés/saumâtres saisonniers (Ss); marais/mars d'eau douce permanents (Tp); marais/mars d'eau douce saisonniers (Ts).



Figure 7.5.1 Aiguamolls de l'Empordà, Espagne.



Principales valeurs du site

Les principales valeurs du site sont les suivantes:

Habitat pour la faune sauvage: c'est une des fonctions les plus importantes du site, reflétant la position stratégique du Parc sur une des voies de migration entre l'Europe du Nord et l'Afrique.

Activités récréatives: le Parc reçoit des milliers de visiteurs tout au long de l'année et l'éducation environnementale fait partie de ses tâches principales.

Ressources de faune sauvage: chasse et pêche.

Ressources fourragères: une grande partie du Parc est constituée de prairies inondées qui accueillait autrefois d'importants troupeaux de bovins. Le pâturage a aujourd'hui diminué du fait de l'importance prise par l'élevage hors-sol mais il reste utilisé dans la Réserve comme outil de gestion.

Ressources agricoles: la majorité des anciennes prairies inondées ont été drainées et ont maintenant été

Photo 7.5.2 Échelle limnigraphique installée en 1993 pour mesurer les niveaux d'eau à proximité de la vanne permettant de contrôler les entrées d'eau dans la Réserve Intégrale n° 2 Les Llaunes. (Sergio Romero)





converties en terres arables, destinées essentiellement à la culture de tournesol et de maïs.

Diversité biologique: il s'agit là d'un des principaux attributs du Parc. La diversité des espèces et les effectifs par espèces ont beaucoup augmenté depuis que la zone est protégée.

Occupation des sols et principales menaces

Dans la Réserve intégrale, seules sont autorisées les activités jugées compatibles avec la conservation de nature, notamment le pâturage. Dans le Parc, l'urbanisation et les changements d'occupation des sols sont limités et la forêt ne doit donc pas être modifiée à des fins agricoles.

La principale menace tient à la qualité de l'eau pénétrant dans la zone humide. Les terres agricoles

des alentours sont fortement amendées et d'importantes quantités de P et N aboutissent ainsi dans l'eau.

Le développement du tourisme constitue une autre menace puisqu'il s'accompagne d'une forte pression anthropogène sur les zones côtières, et en particulier sur les systèmes dunaires bordant la plage qui sont déjà gravement érodés.

Une partie de la Réserve intégrale appartient à des particuliers, ce qui entraîne de sérieux problèmes de gestion pour cette zone, notamment en termes de maintien des niveaux d'eau.

Propriété, statut légal et organisme de gestion

Le Parc naturel d'Aiguamolls de l'Empordà couvre 4.842 ha (figure 7.5.1), dont 849 ha situés dans des

Tableau 7.5.1 Suivi des niveaux d'eau dans les marais de la Réserve intégrale n° 2.

Problème/question global(e)	L'augmentation du nombre et de la diversité des oiseaux d'eau dans la Réserve intégrale n° 2 (les Llaunes) semble liée en grande partie à la gestion des niveaux d'eau. C'est le seul endroit du Parc où l'on peut gérer les entrées et sorties d'eau grâce à une vanne entre un canal de drainage et les marais.
Problème/question spécifique	La gestion des niveaux d'eau n'est possible qu'en connaissant l'hydrologie de la Réserve intégrale n° 2, notamment les fluctuations annuelles du niveau d'eau et l'importance des relations entre chacune des unités hydrauliques (les différents marais).
Objectif	Suivre le niveau d'eau dans chaque unité hydraulique (chaque marais) de la Réserve intégrale n° 2: 1) pour mieux comprendre le fonctionnement hydraulique des marais (y compris pour savoir s'il existe des liens entre ces unités); 2) pour choisir le site le plus représentatif pour installer un limnographe.
Hypothèse	La différence de niveaux d'eau ne variera pas de manière significative (intervalle de confiance de 95%) entre les divers marais, pendant l'année de l'étude pilote.
Méthodes et variables	Durant la première année, des échelles limnimétriques seront placées dans chacun des six marais considérés comme des unités hydrauliques distinctes, afin de déterminer le meilleur emplacement pour positionner un limnographe. Les mesures seront hebdomadaires la première année, le limnographe fournissant un enregistrement continu par la suite.
Faisabilité/rentabilité	Investissement: fabrication ou achat de six autres échelles (une échelle étant déjà en place). Temps de personnel: une demi-journée par semaine pour enregistrer les niveaux d'eau aux sept sites; 2 à 3 jours par an pour l'analyse statistique et l'interprétation des résultats, avec l'aide d'un spécialiste.
Etude pilote	1) Analyse statistique (moyenne, variance) des données déjà disponibles, y compris les mesures effectuées pendant trois ans (1993-95) sur le seul site déjà équipé; comparaison avec les données pour l'ensemble de 1996 sur ce site afin d'établir la <u>variation temporelle</u> . 2) Mesure des niveaux d'eau sur les 7 sites tout au long de l'année, pour obtenir un cycle annuel complet; comparaison des données de 1996 pour les 7 sites, afin d'établir la <u>variation spatiale</u> . Le limnographe devra être installé dans une zone profonde mais accessible. En cas de différences importantes entre les marais, il conviendra de les évaluer ainsi que l'importance des liens entre chaque unité hydraulique. Si des résultats similaires sont obtenus pour les diverses échelles (une par marais), les données fournies par l'unique limnographe seront suffisantes pour atteindre les objectifs de l'étude. Dans le cas contraire, il faudra conserver certaines échelles et poursuivre leur lecture hebdomadaire.
Echantillonnage	Une fois par semaine en conditions "normales"; plus souvent en cas d'événement exceptionnel (fortes précipitations par exemple). Stockage informatique de données au moyen des logiciels EXCEL et SPSS.
Analyse des échantillons	Sans objet.
Préparation du rapport	Analyse statistique sur EXCEL et SPSS: moyennes et variances mensuelles, saisonnières et annuelles. Analyse des tendances par comparaison des moyennes périodiques pour chaque année et par analyse en régression. Représentation graphique. Rapport annuel avec conclusions et recommandations en termes de mesures de gestion et de suivi.



Tableau 7.5.2 Suivi de la qualité de l'eau dans la Réserve intégrale n° 2.

Problème/question global(e)	La Réserve est entourée de zones agricoles fortement amendées. Les eaux de ruissellement entraînent les excès d'engrais et pénètrent dans la Réserve par le biais d'un canal d'alimentation en eau douce. Il s'agit du seul canal desservant ces marais, et il est contrôlé par les responsables de la Réserve.
Problème/question spécifique	Les quantités d'éléments nutritifs pénétrant dans la Réserve intégrale n° 2 et présentes dans les marais sont inconnues mais pourraient être excessives et entraîner l'eutrophisation de l'écosystème, comme le suggère une récente thèse (Quintana i Pou 1995).
Objectif	Mener une étude préliminaire d'une année pour déterminer le risque d'eutrophisation des marais. Si ce risque est confirmé, suivre les concentrations en éléments nutritifs dans le canal pour: 1) établir le cycle annuel des éléments nutritifs; 2) mettre en place un système d'alerte rapide pour les années suivantes. L'étude mettra rapidement en évidence les meilleures périodes pour les apports d'eau ainsi que les périodes de fortes concentrations moyennes en éléments nutritifs, le contrôle des apports d'eau étant alors essentiel pour éviter l'entrée d'éléments nutritifs dans les marais.
Hypothèse	La quantité d'éléments nutritifs dans l'eau du canal ne dépassera pas (intervalle de confiance de 95%) les valeurs critiques $x \pm y$. Les valeurs de x et y seront établies a priori pour la première année conformément à l'étude bibliographique et plus précisément au cours des années suivantes, en fonction des résultats de l'étude pilote sur la qualité de l'eau du canal et des lagunes. Il est probable que les valeurs x et y pour les deux éléments principaux (N et P) varient selon l'époque de l'année.
Méthodes et variables	Mesurer les concentrations en éléments nutritifs dans l'eau du canal et des lagunes: nitrates, nitrites, ammoniac, orthophosphates, N total et P total, chlorophylle a et matières organiques. Mesurer l'azote total et le phosphore total, la chlorophylle a et les matières organiques dans les sédiments de la lagune.
Faisabilité/rentabilité	Coûts d'échantillonnage pris en charge par le Service de lutte contre les moustiques (<i>Servei de Control de Mosquits</i>); les analyses chimiques seront effectuées par l'université de Girona.
Etude pilote	Une étude pilote d'une année sera entreprise pour mesurer les concentrations en éléments nutritifs dans l'eau et les sédiments du canal et les lagunes, ce qui permettra: a) de déterminer le profil annuel des concentrations de chacun des éléments nutritifs, des matières organiques et de la chlorophylle a; b) de définir les périodes favorables et défavorables pour ouvrir la vanne reliant le canal aux marais.
Echantillonnage	Echantillonnage hebdomadaire d'eau du canal et dans trois zones du marais présentant des fréquences de crue différentes. Echantillonnage mensuel d'eau et de sédiment dans les zones déjà mentionnées et dans trois autres zones représentatives. On considère que six marais forment une seule unité hydraulique et que les trois autres forment des unités hydrauliques distinctes; les premiers seront échantillonnés une fois par mois, les autres une fois par semaine.
Analyse des échantillons	Analyses chimiques en laboratoire.
Préparation du rapport	Pour toutes les valeurs mesurées (éléments nutritifs, chlorophylle a et matières organiques): moyenne annuelle, moyenne maximale et variance. Evolution temporelle. Analyse statistique sur EXCEL et SPSS. Représentation graphique. Rapport annuel avec conclusions et recommandations en termes de mesures de gestion et de suivi.

réserves intégrales. Un total de 646 ha est du domaine public (détenu par le gouvernement régional de la *Generalitat de Catalunya*).

Le site a été déclaré Zone de Protection Spéciale (ZPS) dans le cadre de la Directive Oiseaux de la CE en 1988 et inscrit sur la Liste Ramsar le 15 Mars 1993. Le Parc est géré par le Service des parcs et espaces naturels (*Servei de Parcs i Espais Naturals*) du Département de l'agriculture et des pêches du gouvernement catalan. Le conseil d'administration du Parc (*Junta de Protecció*), qui réunit des représentants d'organismes gouvernementaux et non gouvernementaux s'intéressant au site, agit en tant qu'organe consultatif.

7.5.2 Programmes de suivi proposés pour Aiguamolls de l'Empordà

Suivi des niveaux d'eau dans les marais de la Réserve intégrale n° 2

Des informations de référence sont nécessaires avant de commencer un programme de suivi afin d'établir les niveaux d'eau "idéaux" (c'est-à-dire ceux qui reproduisent un système méditerranéen naturel) aux différentes saisons (par exemple pour déterminer la date optimale d'assèchement en été). Au début, la comparaison des données des trois années précédentes



permettra de voir où l'on en est par rapport à "l'idéal" (voir tableau 7.5.1).

Suivi de la qualité de l'eau dans la Réserve intégrale n° 2

Il est tout d'abord nécessaire d'entreprendre une étude préliminaire pour mesurer le niveau trophique du marais, et ce dans l'eau elle-même (nitrates, nitrites, ammonium et orthophosphates; chlorophylle *a*) et dans les sédiments (P total et N total). Il conviendra d'identifier les périodes critiques durant lesquelles les marais sont très sensibles aux apports d'éléments nutritifs.

Les résultats de l'étude préliminaire pourront alors être comparés avec les concentrations en éléments nutritifs mesurées dans le cadre de deux études post-supérieures pertinentes, à savoir:

- une thèse portant sur les recherches effectuées dans certains marais de la Réserve intégrale

n° 2, dans le Parc naturel d'Aiguamolls de l'Empordà (Quintana i Pou 1995);

- une thèse portant sur les recherches effectuées dans d'autres marais méditerranéens (El-Habr 1987).

Il sera nécessaire de s'adjoindre les conseils d'experts pour établir le niveau trophique de ces marais par comparaison avec d'autres exemples (voir tableau 7.5.2).

RÉFÉRENCES

El-Habr, H. 1987. *Les éléments nutritifs du Rhône; leur devenir dans les canaux d'irrigation et les marais en Camargue*. Claude Bernard University, Lyon I, France.

Quintana i Pou, X. 1995. *Fluctuacions a la maresma dels Aiguamolls de l'Empordà i estructura de la comunitat biològica*. PhD Thesis, University of Girona, Girona, Spain.



Synthèse

Pere Tomàs Vives

L'élaboration d'un programme de suivi suppose que l'on tienne compte, dès le début du processus, de toute une série de facteurs qui ont été présentés au cours des chapitres précédents. On trouvera ci-dessous une liste de contrôle des points clés qu'il faut toujours envisager lors de la conception d'un programme de suivi, ainsi que certaines considérations pratiques contribuant au succès de l'opération.

- Les questions ou problèmes ont-ils été clairement définis? Il peut s'agir de problèmes internes, relevant du site, comme l'impact des mesures de gestion; ou externes, comme les effets d'une pollution en amont.
- L'objectif du suivi est-il clair? Est-il réalisable dans un délai raisonnable? Les objectifs du suivi ne devraient pas être confondus avec les objectifs de la gestion, surtout lorsqu'il s'agit d'évaluer le succès de celle-ci.
- Avez-vous établi l'hypothèse? Pouvez-vous définir des limites de variation acceptable, permettant de vérifier l'hypothèse sur la base des données obtenues?
- Disposez-vous de données de référence correctes pour vos comparaisons? Avez-vous prévu d'examiner les diverses informations existantes (publications, rapports de gestion, documents de politiques, cartes, photographies aériennes, enquêtes auprès des populations locales, etc.)?
- D'autres scientifiques et experts locaux ont-ils été invités à commenter le programme de suivi et/ou à y participer? Avec de bonnes connaissances du site, ils peuvent fournir de précieux conseils. Les universités et centres de recherche locaux peuvent avoir entrepris des recherches sur le site et être en mesure de fournir du matériel de terrain ou de laboratoire, ou de participer au suivi.
- Quelles variables avez-vous prévu de mesurer? Apportent-elles les informations nécessaires pour vérifier l'hypothèse? Sont-elles adaptées à votre type de zone humide?
- Lors du choix d'indicateurs, avez-vous envisagé d'éventuels problèmes d'ordre taxonomique? Dans certains cas, il est recommandé d'utiliser une unité taxonomique supérieure (par exemple, famille ou ordre d'invertébrés).
- La méthode choisie permet-elle de détecter le changement au niveau de précision requis et sur la période de temps impartie? Permet-elle d'évaluer la signification du changement?
- Avez-vous défini l'emplacement des points d'échantillonnage? Sont-ils accessibles? L'échantillonnage aléatoire est souvent recommandé, sans qu'il soit toujours possible. Il faudra tenir compte d'éventuelles difficultés physiques d'accès au lieu d'échantillonnage (par exemple substrat mou), du transport vers ce lieu (bateau pour les lacs et lagunes par exemple), du régime foncier, des mesures de protection (accès limité durant la saison de reproduction par exemple), etc.
- Les points d'échantillonnage ont-ils été marqués et sont-ils faciles à retrouver par vous-même ou par d'autres personnes? La physionomie d'une zone humide peut changer avec le temps, pour des raisons naturelles et/ou d'origine humaine.
- Combien d'échantillons avez-vous prévu de prendre? Un statisticien serait ici de bon conseil.
- Avez-vous déterminé la fréquence d'échantillonnage? Avez-vous identifié la meilleure époque de l'année ou la meilleure saison pour l'échantillonnage? Il est essentiel qu'il ait lieu à la fréquence nécessaire et au bon moment afin d'obtenir des données intéressantes. Le(s) meilleur(s) moment(s) dépend des indicateurs ou variables que vous avez choisis.
- Devez-vous établir des sites témoin pour comparer vos données (exclus de pâturage par exemple)? Il convient de les prévoir assez rapidement, puisqu'ils peuvent augmenter les coûts et efforts nécessaires.



- Avez-vous estimé tous les coûts et déterminé s'ils sont couverts ou non par le budget disponible? S'ils sont trop élevés pour pouvoir garantir que l'on obtiendra des résultats valables, il vaut mieux revoir l'hypothèse et/ou les méthodes et variables.
- Tous les échantillons sont-ils correctement étiquetés? Les changements qu'il faut éventuellement introduire dans les protocoles de collecte et de traitement, ont-ils été correctement notés? Ceci est très important pour permettre des comparaisons de résultats.
- Avez-vous tout le matériel nécessaire pour recueillir, stocker et analyser les échantillons/données? Pour certains éléments, tels qu'équipements, matériel de manipulation (récipients spéciaux de prélèvement par exemple), produit chimiques, etc., il peut être nécessaire de commander à l'avance. Certains échantillons doivent être conservés dans des conditions spéciales (congelés, à l'obscurité, etc.) pendant le transport ou le stockage jusqu'à leur traitement.
- Avez-vous prévu ce qu'il faut pour garantir le stockage et/ou transport rapide des échantillons qui doivent être traités et analysés, notamment dans le cas des échantillons qui évoluent ou se dégradent rapidement (tissus biologiques par exemple). Si le traitement n'est pas suffisamment rapide, il peut être nécessaire de modifier les procédures.
- Le personnel nécessaire est-il disponible? Le personnel responsable de la collecte et du traitement des échantillons doit-il être formé? Il est indispensable que celui-ci connaisse parfaitement les méthodes, prélève les échantillons d'une manière reproductible, les manie correctement et les étiquette clairement.
- La méthodologie a-t-elle été clairement définie par écrit, sous une forme concise incluant une description détaillée des procédures de prélèvement et de traitement des échantillons? Ceci est très important en cas de changements de personnel, afin de permettre aux nouveaux éléments de reproduire facilement les procédures.
- Avez-vous prévu comment stocker vos données et résultats? Il est très important de classer vos données et informations dans des dossiers clairement étiquetés ou dans des bases de données informatisées dès qu'elles sont disponibles. Les données originales devront toujours être conservées comme références. Il faudra veiller à la disponibilité de matériel adéquat (ordinateurs, logiciels, etc.).
- Devez-vous entreprendre des analyses statistiques? Un statisticien pourrait vous conseiller sur les tests les mieux adaptés.
- Les moyens pour interpréter les données et communiquer les résultats sont-ils disponibles? Comment communiquerez-vous les résultats? Le rapport devra être concis et contenir des recommandations en termes de mesures de gestion. Il devra également être utilisé pour évaluer l'efficacité du suivi.
- Avez-vous inclus une étude pilote dans votre programme, afin de tester les méthodes et d'évaluer les facteurs mentionnés ci-dessus? L'étude pilote est très importante pour vérifier les procédures d'échantillonnage (nombre d'échantillons, fréquence, dimensions, etc.) et de traitement, et pour tester le matériel de terrain et les moyens d'analyse des données. C'est également le moment d'évaluer les besoins en formation du personnel. Il s'agit d'une étape essentielle pour économiser du temps et des ressources à l'avenir.
- L'étude pilote a-t-elle mis en évidence un besoin de réévaluation de l'hypothèse, et/ou des méthodes et variables? C'est le moment d'apporter des modifications aux procédures qui ont été choisies, et d'établir les protocoles standards définitifs.
- Quand le suivi s'arrêtera-t-il? Avez-vous fixé des critères pour en décider? Une fois que les objectifs du suivi ont été remplis, il convient de mettre en oeuvre des mesures de gestion et de décider s'il faut maintenir ou terminer le suivi.
- Le suivi est-il entrepris dans le cadre d'un système de réponse, tel que plan de gestion, planification rurale ou législation? Dans l'affirmative, qui sera responsable de la mise en oeuvre des mesures recommandées à la suite du suivi? Pour que ce dernier soit efficace, il est essentiel que des mesures soient prises à la suite de ses résultats.
- Le financement nécessaire pour le suivi est-il acquis à long terme? Dans la négative, il est conseillé de le maintenir à un niveau raisonnable.

Glossaire

Nick Riddiford

Ce glossaire contient un certain nombre de définitions relatives à la terminologie consacrée aux zones humides et au suivi; pour une liste plus complète des termes et définitions concernant les zones humides méditerranéennes, on se référera au Glossaire MedWet des zones humides (Montemaggiore & Pratesi Urquhart en prép.). On trouvera ici également les explications des sigles employés dans le texte du présent document.

Abiotique: se dit des composantes non vivantes d'un écosystème. Également utilisé pour caractériser les influences physiques et chimiques sur les organismes: humidité, température, pH et salinité par exemple. Un environnement abiotique est dépourvu de toute forme de vie. (Goudie 1985)

Abstraction: prélèvement d'eau de l'étendue d'eau ou de la nappe phréatique, généralement pour l'utilisation ou la consommation humaine.

ADN: acide désoxyribonucléique.

Aéré: exposé à l'action chimique de l'air. (Liebeck 1994)

Affluent: ruisseau ou fleuve affluent; terme également appliqué à un ruisseau approvisionnant la nappe phréatique. (Goudie 1985)

Anaérobie: manquant d'oxygène; les organismes anaérobies ont besoin d'un environnement sans oxygène. Se rapporte: a) aux formes de vie ou aux processus biologiques survenant en l'absence d'oxygène libre; b) à l'état caractérisé par l'absence d'oxygène libre (P.A. Gerakis *in verbis*). [Montemaggiore & Pratesi Urquhart en prép.]

Anoxie: totalement ou largement privé d'oxygène. Voir Anaérobie.

Anthropogène: artificiel ou dû à l'homme.

Aquaculture: élevage de ressources animales aquatiques naturelles. (Anon 1986). Élevage de poissons ou de fruits de mer (Davis 1994). [Montemaggiore & Pratesi Urquhart en prép.]

Aquifère: couche rocheuse poreuse contenant de l'eau (Pearce & Crivelli 1994). Couche rocheuse perméable permettant l'écoulement d'eau souterraine vers les puits et sources. Zone souterraine laissant transiter des quantités d'eau d'importance économique vers les puits (Anon 1986).

Couche souterraine rocheuse, sableuse ou graveleuse contenant et filtrant l'eau (Davis 1994). [Montemaggiore & Pratesi Urquhart en prép.]

Attributs d'une zone humide: ils comprennent la diversité biologique et les caractéristiques culturelles et patrimoniales uniques. De ces attributs peuvent dépendre certaines utilisations ou l'obtention de certains produits mais ils peuvent aussi avoir une importance intrinsèque non quantifiable. (Ramsar 1996, Brisbane)

Bassin de drainage: zone de collecte des eaux de ruissellement de surface et d'où elles sont évacuées par un système de drainage, comme un fleuve et ses affluents. Également connu sous les appellations de bassin versant, zone de drainage, bassin hydrographique (Anon 1986). [Montemaggiore & Pratesi Urquhart en prép.]

Bassin versant: région drainée par un fleuve et tout ses affluents; aussi dénommé bassin de drainage, bassin hydrographique ou bassin fluvial.

BEI: Banque européenne d'investissement.

Bio-indicateur: organismes biologiques utilisés comme indicateurs de l'état d'un écosystème.

Biodiversité: diversité de la vie; ensemble des organismes vivants dans un site ou un écosystème.

Biogène: production ou formation de substances par suite des activités d'organismes vivants. (Allaby 1985)

Biotope: au sens écologique strict, il s'agit de la partie structurelle non vivante d'un écosystème, comme le climat, la terre ou l'eau. Dans un sens plus large, c'est l'espace dans lequel vivent et se reproduisent les organismes d'une communauté biotique. (Note: le biotope est donc décrit soit par des facteurs abiotiques soit par des paramètres géométriques, en aucun cas par des facteurs biotiques. Il est donc faux de dire, par exemple, "les roselières constituent le biotope des sangues" – P.A. Gerakis *in verbis*). [Montemaggiore & Pratesi Urquhart en prép.]

BIROE: Bureau international de recherche sur les oiseaux d'eau et les zones humides (maintenant Wetlands International).

Bruit de fond environnemental: conditions et éléments de variation dans l'environnement local pouvant masquer des changements écologiques plus importants ou en entraver l'interprétation.



- Campagne de collecte de données** (*survey* en anglais): exercice débouchant sur un ensemble d'observations qualitatives ou quantitatives, faisant généralement appel à une procédure standardisée pendant une période de temps restreinte, mais sans idées préconçues quant aux résultats qu'il faudrait obtenir (Goldsmith 1991).
- Canalisation:** modification du lit d'un cours d'eau aux fins de lutte contre les inondations, de drainage, de navigation et de réduction et prévention de l'érosion. Redressement des méandres d'un système fluvial pour créer des voies d'eau plus navigables, ou pour lutter contre les inondations lorsque l'on approfondit les canaux.
- Caractéristiques écologiques:** structure des éléments biologiques, chimiques et physiques de la zone humide et relations entre ces éléments. Découlent des interactions entre les processus, fonctions, attributs et valeurs de l'écosystème (ou des écosystèmes). (Ramsar 1996, Brisbane)
- CEMPA:** Centro de Estudos de Migrações e Protecção das Aves, Centre d'études des migrations et de protection des oiseaux (Portugal).
- Changement dans les caractéristiques écologiques:** par "changement" dans les caractéristiques écologiques d'une zone humide, on entend la perturbation ou le déséquilibre de tout processus et fonction dont dépendent la zone humide, ses produits, ses attributs et ses valeurs. (Ramsar 1996, Brisbane)
- Civelle:** alevin d'anguille. (Liebeck 1994)
- Comblement:** dépôt volontaire de matériaux ou de sédiments dans les zones humides, généralement afin de les assécher.
- Conductivité:** aptitude d'une solution aqueuse à conduire un courant électrique. L'eau pure a une conductance spécifique très faible, mais celle-ci augmente avec la concentration en ions chargés dans la solution. (Goudie 1985)
- CORINE:** programme pour la coordination des informations sur l'environnement en Europe. Programme de la Commission européenne visant à créer un système d'information sur l'état de l'environnement à travers l'ensemble de la Communauté européenne (Hecker & Tomás Vives 1995). A débuté en 1985.
- DDA:** Direction départementale de l'agriculture (France). Il s'agit, dans le texte, du département des Bouches du Rhône.
- Dénitrification:** conversion, par certains types de bactéries, des nitrates et nitrites en produits gazeux, azote essentiellement. (Allaby 1985)
- Dépression dunaire:** dépression ou cuvette, souvent humide, dans une zone de dunes de sable.
- DHKD:** Dogal Hayati Koruma Dernegi, Société pour la protection de la nature (Turquie).
- Digue:** mur ou remblai en bois, pierre, béton, fascines, ou autres matériaux, servant d'ouvrage directeur pour un cours d'eau, afin de contenir les flots dans des limites définies sur la longueur traitée. [Montemaggiore & Pratesi Urquhart en prép.]
- Drainage:** élimination d'eaux souterraines ou de surface, ou d'eau de structure, par gravité ou pompage (Anon 1986). [Montemaggiore & Pratesi Urquhart en prép.]
- Eau souterraine:** eau stockée dans une couche aquifère. Eau que l'on trouve dans la zone constamment saturée au-dessous du niveau de la nappe. Toute eau en dessous de la surface de la terre qui participe au cycle hydrologique. (Goudie 1985)
- Eclairement:** intensité de radiation. Quantité d'énergie lumineuse reçue par unités de superficie et de temps. (Lapedes 1976)
- Ecosystème:** communauté d'organismes, en interactions constantes, plus l'environnement dans lequel elles vivent et avec lequel elles entretiennent également des relations, par exemple un étang, une forêt. Système composé d'organismes autotrophes producteurs (plantes vertes essentiellement), d'organismes hétérotrophes consommateurs (animaux) et d'organismes hétérotrophes décomposeurs (saprophytes) (principalement des bactéries et des champignons) qui attaquent les organismes morts, absorbent des éléments nutritifs pour leur croissance et en libèrent dans l'environnement pour utilisation par les producteurs, toutes ces activités étant influencées par les conditions physiques de l'environnement (Abercrombie *et al.* 1980; Montemaggiore & Pratesi Urquhart en prép.)
- Efflorescence algale:** augmentation spectaculaire de la croissance des algues résultant de la forte concentration en éléments nutritifs ou polluants (Finlayson & Moser 1991). Augmentation drastique de la densité de population de micro-organismes (généralement des algues) dans une étendue d'eau due à la présence de conditions de croissance (température, éléments nutritifs, etc.) optimales (P.A. Gerakis *in verbis*). [Montemaggiore & Pratesi Urquhart en prép.]
- Efflorescence:** superficie colorée à la surface de l'eau due à une forte croissance planctonique. Voir efflorescence algale. (Lapedes 1976)
- EID:** Entente interdépartementale de démoustication (France).
- EKBY:** centre grec des biotopes/zones humides (Grèce). [version française du titre]
- Endorhéique:** qualifie un système de drainage n'ayant aucun débouché de surface. (Ramos *et al.* 1995)
- Epiphyte:** plantes ou animaux qui poussent sur d'autres plantes. Les végétaux hôtes ne servent que de support et non comme source d'éléments nutritifs (Finlayson & Moser 1991). [Montemaggiore & Pratesi Urquhart en prép.]
- Espèce endémique:** espèce inféodée à une seule région, c.à.d. que l'on ne trouve nulle part ailleurs dans le monde. [Montemaggiore & Pratesi Urquhart en prép.]



- Espèce exogène:** espèce introduite dans une région ou un environnement où elle n'est pas indigène.
- Espèces emblématiques:** espèces qui, en raison de leur rareté, de leur popularité ou de tout autre intérêt que peut leur porter le grand public, servent de symboles pour promouvoir la protection de l'environnement.
- Etat trophique:** trophique vient du mot grec signifiant alimenter. On distingue généralement trois classes: 1) eutrophe (bien alimenté) signifie riche en éléments nutritifs et est généralement associé avec de faibles teneurs en oxygène; 2) mésotrophe (moyen); 3) oligotrophe (peu alimenté), pauvre en éléments nutritifs sauf en ce qui concerne l'oxygène. L'état trophique d'une zone humide particulière est déterminé par le bassin versant, la topographie et la géologie des alentours (Finlayson & Moser 1991). [Montemaggiore & Pratesi Urquhart en prép.]
- Etude pilote:** étude préliminaire entreprise pour tester la faisabilité d'un programme de travail plus détaillé à venir et l'adéquation de la méthodologie choisie.
- Eutrophe:** qualifie un milieu enrichi en éléments nutritifs dont la production de grandes quantités de matière végétale consomme tout l'oxygène et conduit à la mort des animaux (Skinner & Zalewski 1995). Voir aussi Etat trophique.
- Eutrophisation:** enrichissement des eaux en éléments nutritifs (azote et phosphore essentiellement), pouvant entraîner des efflorescences algales. L'augmentation des concentrations en éléments nutritifs indispensables à la croissance des organismes peut être due à des processus naturels ou à des causes telles que le rejet d'eaux usées (Anon 1992). Parmi les changements biologiques qu'entraîne l'eutrophisation dans les lacs, on peut distinguer les conséquences directes de l'augmentation des apports d'éléments nutritifs, comme la stimulation de la croissance des algues, et des effets indirects, tels que les changements dans la communauté de poissons, dus à la baisse de la teneur en oxygène. Les effets directs surviennent lors de l'élimination du facteur limitant (la teneur en éléments nutritifs) de la croissance des organismes, algues planctoniques généralement. Les effets biologiques indirects sont dus à l'affranchissement d'une population des contraintes liées à un approvisionnement insuffisant de telle ou telle ressource, ou peuvent survenir quand l'augmentation de production de la population d'une espèce particulière a des conséquences sur l'environnement physicochimique dans lequel elle vit. Ceci affectera d'autres espèces partageant cet environnement, mais n'étant pas directement en concurrence avec elle pour ses ressources. [Montemaggiore & Pratesi Urquhart en prép.]
- Evapotranspiration:** diffusion de vapeur d'eau dans l'atmosphère à partir des zones végétales. Perte combinée d'eau par évaporation et transpiration. (Goudie 1985)
- Exigences autoécologiques:** exigences écologiques d'une espèce particulière (P. Grillas *in lit.*).
- Exotique:** espèce exogène dans l'environnement où elle a été introduite (voir espèce exogène).
- Facteur de stress:** force entraînant des conditions difficiles pour les organismes et conduisant à leur détresse physique.
- Facteur proximal:** facteur local ou immédiat affectant un site.
- Fèces:** excréments (crottes, fientes) expulsés par les intestins des animaux et oiseaux (Quirk 1987). Dans ce guide les accumulations de fèces se réfèrent à des animaux pâturant.
- Flux génétique:** mouvement de gènes au sein d'un groupe d'organismes se reproduisant entre eux, résultant de l'accouplement et de l'échange de gènes avec des individus immigrants. De tels échanges peuvent être uni- ou bidirectionnels. (Allaby 1985)
- Fonctions:** activités ou actions qui se produisent naturellement dans les zones humides du fait des interactions entre la structure et les processus de l'écosystème. Les fonctions sont notamment la maîtrise des eaux de crue; la rétention des matières nutritives, des sédiments et des polluants; l'entretien de la chaîne trophique; la stabilisation des littoraux et le contrôle de l'érosion; la protection contre les tempêtes et la stabilisation des conditions climatiques locales, notamment les pluies et la température. (Ramsar 1996, Brisbane)
- Frai:** jeunes poissons. (Liebeck 1994)
- GEST:** Groupe d'évaluation scientifique et technique de la Convention de Ramsar.
- HAP:** Hydrocarbures aromatiques polycycliques.
- Histopathologique:** relatif à l'étude des effets des maladies sur la structure microscopique des tissus. (Smith 1990)
- Hydraulique:** dû par l'action de l'eau ou d'un autre fluide de faible viscosité (Anon 1986). [Montemaggiore & Pratesi Urquhart en prép.]
- Hydrogéologie:** science traitant de la présence d'eau de surface et souterraine, de son utilisation et de ses fonctions de modification de l'écorce terrestre, principalement par érosion et accrétion (Anon 1986). [Montemaggiore & Pratesi Urquhart en prép.]
- Hydrologie:** étude du cycle des mouvements d'eau sur et sous la surface de la terre (Finlayson & Moser 1991). [Montemaggiore & Pratesi Urquhart en prép.]
- ICN:** Instituto da Conservação da Natureza, Institut de la conservation de la nature (Portugal).
- ICONA:** Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza, Institut national pour la conservation de la nature (Espagne), maintenant Dirección General de Conservación de la Naturaleza, Direction générale de la conservation de la nature.
- IDFM:** intoxication diarrhéique par fruits de mer.
- IGC:** cartes nationales portugaises.
- Immunologique:** relatif à l'étude scientifique de la résistance à l'infection.



- INAG:** Instituto Nacional da Agua, Institut national de l'eau (Portugal).
- Indigène:** originaire et présente, à l'état naturel, dans une région ou un environnement particulier. (Lapedes 1976)
- Intracellulaire:** en dessous du niveau cellulaire.
- Infraspécifique:** en dessous du niveau de l'espèce.
- Intrusion marine:** arrivée d'eau de mer dans des environnements terrestres ou d'eau douce.
- Ions:** électron ou positron isolé ou atome ou molécule ayant acquis une charge électrique nette par perte ou gain d'un ou plusieurs électron(s). (Lapedes 1976)
- IPFM:** intoxication paralytique par fruits de mer.
- IPIMAR:** Institut portugais de recherche marine. [version française du titre]
- Karstique:** typique des régions calcaires [Montemaggiore & Pratesi Urquhart en prép.]. Les régions karstiques sont caractérisées par la domination du processus d'érosion par dissolution, par le manque d'eau de surface et par la formation de dolines et d'avens, de systèmes de grottes et de résurgences ou sources.
- Lac:** étendue d'eau intérieure, petite à modérément grande, dont la surface est exposée à l'atmosphère (Anon 1986). Grande étendue d'eau intérieure naturelle, parfois saline (Burgis & Symoens 1987). [Montemaggiore & Pratesi Urquhart en prép.]
- Lacs eutrophes:** lacs "riches", bien dotés en éléments nutritifs fondamentaux indispensables à la production végétale et animale. Dans certains lacs, cet enrichissement devient nuisible et la pénétration de la lumière et la production d'oxygène sont insuffisantes pour entretenir la productivité. L'oxygène est alors consommé à mesure de sa production (Anon 1992). [Montemaggiore & Pratesi Urquhart en prép.]
- Lagune:** étendue d'eau séparée de la mer par des bancs de sable ou par des récifs coralliens [Montemaggiore & Pratesi Urquhart en prép.].
- Limon:** sédiments très fins déposés par l'eau dans un chenal, un port ou un delta. (Skinner & Zalewski 1995).
- Macroalgues:** littéralement grandes algues. Le terme est utilisé pour les différencier des petites algues dont l'étude suppose un microscope (Finlayson & Moser 1991). [Montemaggiore & Pratesi Urquhart en prép.]
- Macrophytes:** littéralement grandes plantes, terme utilisé pour décrire les plantes aquatiques autres que les algues microscopiques (Finlayson & Moser 1991). [Montemaggiore & Pratesi Urquhart en prép.]
- Marais:** zone de transition terre-eau, couverte temporairement au moins par des eaux estuariennes ou côtières, et caractérisée par une végétation aquatique de type herbacée, sans accumulation de tourbe (Anon 1986). Les marais diffèrent des marécages en ce sens qu'il y a très peu d'eau stagnante entre la végétation, voire pas du tout (Wetzel 1975). Les sédiments sont gorgés d'eau. La distinction entre les termes marais et fagnes (terme européen) est largement basée sur des différences phytosociologiques, avec des associations floristiques d'espèces ou de groupes d'espèces caractéristiques. Certains marais et fagnes pauvres en éléments nutritifs présentent une couche de bryophytes bien développée, notamment d'espèces du genre *Sphagnum*. Les mousses peuvent à terme dominer le système pour former des fondrières (Wetzel 1975, Burgis & Symoens 1987). [Montemaggiore & Pratesi Urquhart en prép.]
- Méiofaune:** petits invertébrés, mais non microscopiques, allant de 63 µm à 1 mm (R. Rufino in litt.).
- Morphogénétique:** caractérisé par un assemblage distinctif coïncidant avec le changement climatique. On pense que les formes résultent largement de l'action d'une combinaison exceptionnelle de processus contrôlés par le climat. (Allaby 1985)
- NCC:** Nature Conservancy Council, Conseil pour la conservation de la nature (Royaume-Uni).
- Nitrophile:** vivant dans des sols azotés. (Lapedes 1976)
- Niveau trophique:** niveau d'alimentation au sein d'un système biologique. Position dans la chaîne alimentaire. (Lapedes 1976)
- Non biogène:** ni essentiel ni nuisible à la vie. Non dû à l'action d'organismes vivants.
- Non biotique:** ne concernant ni la vie ni les organismes vivants. Non induit par des actions d'organismes vivants.
- Organismes benthiques:** organismes, sédentaires ou mobiles, vivant au fond de l'eau ou à proximité. Organismes attachés au substratum ou enracinés dans le substratum au fond d'une étendue d'eau (Fitter & Manuel 1986)
- Organochlorés:** produits chimiques à base d'hydrocarbures chlorés synthétiques présentant une forte toxicité persistante, connus essentiellement pour leur utilisation agricole comme pesticides.
- Oxydation:** réaction au cours de laquelle une substance acquiert de l'oxygène ou perd de l'hydrogène. (Allaby 1985)
- Pathogène:** tout micro-organisme pouvant entraîner une maladie. (Allaby 1985)
- PCB:** polychlorobiphényles.
- Pélagique:** en pleine eau (Skinner & Zalewski 1995).
- Périodicité:** caractère de ce qui est périodique, ayant tendance à se reproduire à intervalles réguliers; souvent en rapport avec les saisons.
- Périphyton:** plantes qui poussent attachées à un substrat solide, non vivant, rocher ou plastique par exemple (Finlayson & Moser 1991). [Montemaggiore & Pratesi Urquhart en prép.]



pH: mesure de l'acidité de l'eau; le pH 7 est neutre, les valeurs dépassant 7 témoignent d'une alcalinité et les valeurs en dessous de 7 d'une acidité (Finlayson & Moser 1991). [Montemaggiore & Pratesi Urquhart en prép.]

Photosynthèse: processus chimique, ayant lieu au sein des structures cellulaires des plantes vertes, des algues bleues, du phytoplancton et de certains autres organismes, transformant l'énergie solaire reçue en produits alimentaires stockés sous forme chimique par conversion de dioxyde de carbone et d'eau en hydrates de carbone avec la libération simultanée d'oxygène.

Phytoplancton: vie végétale planctonique (Anon 1986). [Montemaggiore & Pratesi Urquhart en prép.]

Piétinement: perturbation des sols meubles par les sabots des animaux, laissant une zone inégale, pleine de trous, et souvent avec une couverture végétale réduite ou un sol dénudé.

Plantes aquatiques: plantes émergentes, telles que laïches, roseaux et juncs, enracinées dans les sédiments et dépassant de la surface de l'eau; plantes flottantes, comme les nénuphars, enracinées dans les sédiments avec des feuilles flottant à la surface de l'eau; plantes submergées telles que les *Najas*, poussant au dessous de la surface d'eau (Finlayson & Moser 1991). [Montemaggiore & Pratesi Urquhart en prép.]

Potable: non saline, buvable.

Potentiel rédox: échelle indiquant la réduction (addition d'électrons) et l'oxydation (enlèvement d'électrons) pour un produit donné. La position sur l'échelle est exprimée sous forme de potentiel électrique en millivolts, normalement entre 0 et 1.300 ou 1.400 mV. Le pH de l'échantillon doit être connu puisqu'il peut modifier le résultat. (Allaby 1985)

Processus: changements ou réactions qui se produisent naturellement dans un écosystème de zone humide; ils peuvent être physiques, chimiques ou biologiques. (Ramsar 1996, Brisbane)

Produits: les produits fournis par les zones humides comprennent les espèces sauvages; les ressources forestières; les ressources fourragères; les ressources agricoles; et l'eau. Ces produits proviennent des interactions entre les éléments biologiques, chimiques et physiques d'une zone humide. (Ramsar 1996, Brisbane)

Protocole: calendrier de procédures ou ensemble de règles.

Quadrat: surface d'échantillonnage, souvent de 1 mètre carré, employée pour étudier la composition d'une superficie de végétation. La zone est généralement définie par un cadre, parfois subdivisé par une trame plus fine, posé sur le sol. (Allaby 1988)

Recensement: dénombrement complet de toute une population en fonction de variables spécifiques. Allaby (1988)

Référence: ensemble de données servant de base d'information, de base de référence ou de point de départ.

Région biogéographique: région caractérisée par une flore et une faune caractéristiques (Finlayson & Moser 1991). [Montemaggiore & Pratesi Urquhart en prép.]

Ruissellement: écoulement d'eau à la surface de la terre suite à des précipitations ou à de l'irrigation (Finlayson & Moser 1991). [Montemaggiore & Pratesi Urquhart en prép.]

Salinisation: augmentation de la concentration en sel. [Montemaggiore & Pratesi Urquhart en prép.]

Saumâtre: se dit de l'eau dont la salinité varie de 0,50 à 17,00 parties pour mille environ. Eau moins salée que l'eau de mer, mais impropre à la consommation (Anon 1986). Légèrement salée (Davis 1994). [Montemaggiore & Pratesi Urquhart en prép.]

Sédimentation: processus de dépôt des sédiments.

Sédiments: masse de matériaux organiques ou inorganiques solides fragmentés, ou les fragments solides eux-mêmes, provenant de l'effritement des roches et transportés, mis en suspension et déposés par l'air, l'eau ou la glace; ou masse accumulée par tout autre agent naturel et formant des couches à la surface terrestre, comme le sable, les graviers, le limon, la boue ou le loess (Anon 1986). [Montemaggiore & Pratesi Urquhart en prép.]

SIG: système d'information géographique.

SMGEO: Syndicat Mixte de Gestion de l'étang de l'Or (France).

Substance toxique: substance qui par son action physique et/ou chimique peut être néfaste pour un organisme, et même entraîner la mort. [Montemaggiore & Pratesi Urquhart en prép.]

Suivi biologique: utilisation d'organismes vivants pour la mesure périodique de différents paramètres de la qualité environnementale.

Suivi: basé sur la surveillance et consiste à recueillir systématiquement dans le temps des données et autres informations pour vérifier le niveau de conformité avec une norme ou position prédéterminée (Finlayson, chapitre 3 de ce guide).

Surveillance: programme de collecte de données, répété dans le temps, entrepris afin de fournir des séries temporelles, de confirmer la variabilité et/ou la gamme d'états ou de valeurs que l'on pourrait rencontrer, mais sans idées préconçues quant aux résultats qu'il faudrait obtenir (Goldsmith 1991).

Taux d'accrétion: taux d'accroissement de la superficie terrestre par suite de sédimentation. (Goudie 1985)

Tourbe: résidu brun foncé ou noir produit par la décomposition et désintégration partielles des mousses, laïches, arbres et autres plantes poussant dans les marais et autres zones gorgées d'eau (Anon 1986). [Montemaggiore & Pratesi Urquhart en prép.]

Toxine: substance toxique produite par certaines cellules végétales et animales; regroupe les toxines bactériennes, les phytotoxines et les zootoxines (Anon 1986). [Montemaggiore & Pratesi Urquhart en prép.]



Transfert entre bassins: méthode d'approvisionnement en eau supposant le transfert, généralement par pompage, des écoulements naturels ou régularisés d'un système fluvial à un autre. (Goudie 1985)

UIB: université des îles Baléares. [version française du titre]

UNL: Universidade Nova de Lisboa, nouvelle université de Lisbonne (Portugal).

UTO: Unité taxonomique opérationnelle.

Valeurs: avantages, directs ou indirects, perçus pour la société qui résultent des fonctions des zones humides. Ces valeurs comprennent le bien être de l'homme, la qualité de l'environnement et la survie des espèces sauvages. (Ramsar 1996, Brisbane)

Vallicoltura: aquaculture extensive dans des marais naturels (G.E. Hollis dans litt.). [dérivé de Valli: le système des valli, utilisé dans les 10.000 ha de lagunes du littoral italien de l'Adriatique, y compris dans le delta du Pô et la lagune de Venise, est l'une des techniques TRADITIONNELLES de pêche les plus efficaces et les plus durables. Bien qu'il soit appliqué depuis des centaines d'années, il se rapproche de nombreux systèmes modernes d'aquaculture extensive. (Pearce & Crivelli 1994)]

Vierge: dans sa condition originale; non dégradé.

WWF: Fonds mondial pour la nature.

ZNIEFF: Zone naturelle d'intérêt écologique, faunistique et floristique (France).

Zooplancton: animaux, dont beaucoup sont de taille microscopique, flottant ou nageant dans les eaux douce et salées. (Allaby 1988)

ZPS: Zone de Protection Spéciale dans le cadre de la Directive Oiseaux 79/409 de la Commission européenne.

RÉFÉRENCES

- Abercrombie, M., C.J. Hickman and M.L. Johnson. 1980. *The Penguin Dictionary of Biology*. Penguin Books, London, UK.
- Allaby, M. (ed.). 1985. *The Oxford Dictionary of Natural History*. Oxford University Press, Oxford, UK.
- Allaby, M. 1988. *Macmillan Dictionary of the Environment*. Third edition. Macmillan Press Ltd, London & Basingstoke, UK. 423 pp.
- Anonymous 1986. *Dizionario Enciclopedico Scientifico e Tecnico Inglese-Italiano, Italiano-Inglese*. McGraw-Hill - Zanichelli. Bologna, Italy.
- Burgis, M.J. and J.J. Symoens. 1987. *African wetlands and shallow water bodies. Zones humides et lacs d'eau profonds d'Afrique*. Editions de l'ORSTOM, Paris, France. 650 pp.
- Davis, T. J. (ed.). 1994. *The Ramsar Convention Manual: a guide to the Convention on Wetlands of International Importance especially as Waterfowl Habitat*. Ramsar Convention Bureau, Gland, Switzerland. 207 pp.
- Finlayson, M. and M. Moser. 1991. *Wetlands. Facts on File*, Oxford and IWRB, Slimbridge, UK. 224 pp.
- Fitter, R. and R. Manuel. 1986. *Collins Field Guide to Freshwater Life of Britain and North-west Europe*. Collins, London, UK.
- Goudie, A. (ed.). 1985. *The Encyclopaedic Dictionary of Physical Geography*. Blackwell, Oxford, UK.
- Hecker, N. and P. Toms Vives (eds.). 1995. *The Status of Wetland Inventories in the Mediterranean Region*. MedWet Publication/IWRB Publication 38, Slimbridge, UK. 146 pp.
- Lapedes, D.N. (ed.). 1976. *McGraw-Hill Dictionary of the Life Sciences*. McGraw-Hill, New York, USA.
- Liebeck, H. (ed.). 1994. *The Oxford Paperback Dictionary*. Oxford University Press, Oxford, UK.
- Montemaggiore, A. and Pratesi Urquhart, W. (in prep). *MedWet Wetlands Glossary*. MedWet Secretariat, Rome, Italy.
- Pearce, F. and A.J. Crivelli. 1994. *Characteristics of Mediterranean Wetlands*. MedWet publication series 1, Tour du Valat, Arles, France. 88 pp.
- Quirk, R. (ed.). 1987. *Dictionary of Contemporary English*. Second Edition. Longman, Harlow, Essex, UK.
- Ramos, A. P. Cifuentes, S. González and L. Maras. 1995. *Diccionario de la Naturaleza*. Espasa Calpe. Madrid, Spain. 728 pp.
- Ramsar. 1996. *Convention on Wetlands of International Importance especially as Waterfowl Habitat, 6th Meeting of the Conference of the Contracting Parties: Draft Resolution VI.1 (Rev. 2)*. Brisbane, Australia, 19-27 March 1996.
- Skinner, J. and S. Zalewski. 1995. *Functions and values of Mediterranean Wetlands*. MedWet publication series 2. Tour du Valat, Arles, France. 80 pp.
- Smith, T. (ed.). 1990. *The British Medical Association Complete Family Health Encyclopaedia*. Dorling Kindersley, London.
- Wetzel, R.G. 1975. *Limnology*. W B Saunders & Company. 743 pp.
- Whittow, J. 1984. *The Penguin Dictionary of Physical Geography*. Penguin, London, UK.

Index

- Abiotique 143
Abondance 40
Abstraction 143
Activités humaines 15–21, 124
Activités récréatives 54–55, 71
Aéré 143
Affluent 143
Agricoles 108
Agriculture 17, 18, 46, 108
Agrochimiques 13, 17
Aiguamolls de l'Empordà 3, 11, 135, 135–139
Albufeira des Grau, Portugal 19
Algues macroscopiques 45
Algues planctoniques 44
Aménagements touristiques 17
Anaérobie 143
Angiospermes 45
Anoxie 143
Anoxie critiques 13
Anthropogène 143
Aquaculture 16, 17, 19–20, 48–51, 68, 97, 143
Aqueduc trans-régional 12
Aquifère 143
Attributs 7, 143
Azote 13, 42, 43
- Baie de Portman, Espagne 14
Barrages 10
Barrages hydroélectriques 19
Bassin de drainage 143
Bassin versant 143
Béchage pour la récolte d'appâts 100
BEI 143
Benthiques 44
Bilan des éléments nutritifs 42
Bilan hydrologique 42
Bio-indicateurs 37, 42, 143
Bio-indicateurs accumulateurs 39, 48
Bio-indicateurs de présence 38
Biodiversité 16, 143
Biogène 143
Biomasse 43, 44, 45
Biotope 143
BIROE 9, 143
Bruit de fond environnemental 143
Bryophytes 48
- Camargue, France 12, 14, 19, 20, 41
Campagne de collecte de données 26, 144
Canalisation 10, 144
Caractéristiques écologiques 144
Carbamates 48
- CEMPA 93, 144
Changement écologique 9–16, 17–21
Changement dans les caractéristiques écologiques 144
Chasse 14, 16, 17, 20–21, 48, 53–54, 70, 100–101
Chimiques agricoles 13
Chironomides 45
Civelle 144
Comblement 144
Composition en espèces 39, 44
Conductivité électrique 42, 144
Contaminants organiques 94
Convention de Ramsar 3, 9, 26
CORINE 40, 144
CPUE (captures par unité d'effort) 49
Cycles des éléments nutritifs 37
- DDA 144
Dégradations environnementales 26
Delta de l'Arachthos, Grèce 13
Delta du Pô, Italie 13, 16
Dénitrification 144
Dépression dunaire 144
Détergent 46
DHKD 144
Digue 144
Diversité des espèces 40, 44
Doñana, Espagne 16, 19
Dragage 101
Drainage 18, 144
- Earthwatch Europe 107, 117
Eau souterraine 144
Eaux usées 13, 14
Échantillons 32–33
Éclairage 144
Écosystème 144
Éfflorescence algale 144
EID 144
EKBY 144
Éléments nutritifs 43–45, 95
Empoisonnement au plomb 20
Endorhénique 144
Enrichissement en éléments nutritifs 13
Épiphytes 44
Espèce endémique 144
Espèce exogène 145
Espèces emblématiques 145
Estuaire du Sado, Portugal 20, 91–93
Étang de Berre, France 13
Étang de l'Or, France 19, 128–134
Etat trophique 145
Étude pilote 32, 145
Eutrophisation 20, 42, 64, 145
- Eutrophisation anthropogène 43
Evapotranspiration 145
Exigences autoécologiques 145
Exotique 145
Exploitation des produits de la zone humide 48–55
Exploitation de l'eau 10
Exploitation non durable des produits de la 14
Extraction d'eau 10
Extraction minière 14
- Facteur de stress 145
Facteur proximal 145
Fèces 145
Fleuve Göksu 10
Fleuve Guadiana, Espagne 12
Fleuve Kizilirmak 10
Fleuve Marismas, Espagne 16
Fleuve Pinios, Grèce 12
Flux générique 145
Fonctions 7, 145
Frai 145
Fuente de Piedra, Espagne 16
- GEST 3, 145
Gibier d'eau 20
Golfe d'Amvrakikos, Grèce 10, 20
- HAP 94, 100, 145
Histopathologique 145
Hydraulique 145
Hydrocarbures aromatiques (HAP) 46, 48, 94
Hydrogéologie 145
Hydrologie 145
- ICN 95, 145
ICONA 145
IDFM 94, 145
IGC 98, 145
Images satellitaires 41
Immunologique 145
INAG 94, 146
Indicateurs biologiques 37–38, 51, 55
Indices biotiques 40
Indicateurs physiques 37
Indigène 146
Industrialisation 17, 18–19
Intracellulaire 146
Infraspécifique 146
Inondation 16
Intensification de l'agriculture 17–18
Introduction d'espèces exogènes 14–15, 55–56, 72

- Intrusion marine 146
 Invertébrés 40, 42
 Ions 146
 IPFM 94, 146
 IPIMAR 94, 146
 Irrigation 10, 12, 17, 18

 Karstique 146

 Lac 146
 Lac de Tunis, Tunisie 9
 Lac Fetzara, Algérie 16
 Lac Ichkeul, Tunisie 41
 Lac Karla, Grèce 12
 Lac Kerkini, Grèce 41, 119-127
 Lac Koronia, Grèce 19
 Lac Manzalla, Egypte 13
 Lac Oubeira, Algérie 12, 20
 Lac Tonga, Algérie 10, 20
 Lacs eutrophes 146
 Lacs Ichkeul, Tunisie 20
 Lacs karstiques 41
 Lagune 146
 Lagune de Venise, Italie 13
 Lagunes des deltas du Nestos 13
 Limon 146

 Macro-invertébrés 45, 48
 Macroalgues 45, 146
 Macrofaune 100
 Macrophytes 45, 48, 146
 Majorque 19
 Marais 146
 Marais de Mekhada, Algérie 10
 Marais de Santoña, Espagne 10
 Marais salants 94, 97
 Marais salés 97
 Megali Prespa, Grèce 41
 Méiofaune 100, 146
 Merja Zerga, Maroc 16
 Messolonghi, Grèce 18, 19
 Métaux lourds 46, 48, 94-95
 Méthodes de suivi 30-31
 Méthodes d'échantillonnage 112
 Microphytes 44-45
 Mollusques 45
 Morphogénétique 146
 Mouvements d'eau 37

 NCC 146
 Nitrophile 146
 Niveau d'eau 37
 Niveau trophique 146
 Non biogène 146
 Non biotique 146

 Oiseaux 12, 16, 20, 48, 50, 93, 98
 Organismes benthiques 146
 Organochloré 39, 48, 146

 Organohalogénés 46
 Organophosphorés 46, 48
 Ortho-P 43
 Oxydation 146

 Parc national de Las Tablas de Daimiel, Espagne 12
 Parc national de Prespa, Grèce 15
 Parc national d'El Kala, Grèce 12, 15
 Parc national d'Ichkeul, Tunisie 12
 Parc naturel des marais d'Odiel, Espagne 15
 Pathogène 146
 Pâturage 51-53, 69
 PCB 94, 100, 146
 Pêche 16, 17, 19, 48-51, 68, 100
 Pélagique 146
 Périodicité 146
 Périphyton 146
 Pesticides 20, 46, 94, 100
 pH 44, 147
 Phosphore 13, 42, 43
 Photographies aériennes 41
 Photosynthèse 147
 Phyllopoïdes 42
 Phytoplancton 13, 40, 43, 147
 Piétinement 147
 Plantes aquatiques 147
 Plomb 94
 Poisson 42
 Poissons 48
 Pollution 13, 37, 39, 46-47, 66, 101
 Pollution industrielle 13
 Polychlorobiphényles (PCB) 48, 94
 Potable 147
 Potentiel rédox 44, 147
 Processus 147
 Produits 7, 147
 Profils des éléments nutritifs 44
 Programme de suivi 26-28, 93-95, 95, 105-108, 121-122, 130, 138-139, 141-142
 Projet S'Albufera 106-118
 Proliférations d'algues 42
 Protocole 147

 Quadrat 147
 Qualité de l'eau 13-14, 42-43, 46-47, 64-65, 138

 Recensement 147
 Référence 147
 Régime hydrologique 10-13, 41-42, 63, 108
 Région biogéographique 147
 Réserve naturelle privée de la Tour du Valat, France 16
 Restauration des zones humides 16
 Rivière Strymon, Grèce 18

 Riziculture 12, 97
 Roselières 12
 Ruissellements agricoles 13, 147

 S'Albufera de Mallorca, Espagne 3, 19, 103-118
 Salinisation 147
 Salinité 37, 42, 101
 Saumâtre 147
 Sebket Kelbia, Tunisie 12
 Sédimentation 147
 Sédiments 37, 43, 147
 SIG 147
 SMGEO 147
 Souterraines 42
 Structure de raille 44
 Substances toxiques 46-47, 66, 147
 Suivi 26, 147
 Suivi biologique 48, 147
 Superficie de la zone humide 9-16, 37, 40-41, 62
 Surveillance 26, 147
 Système d'information géographique (SIG) 41

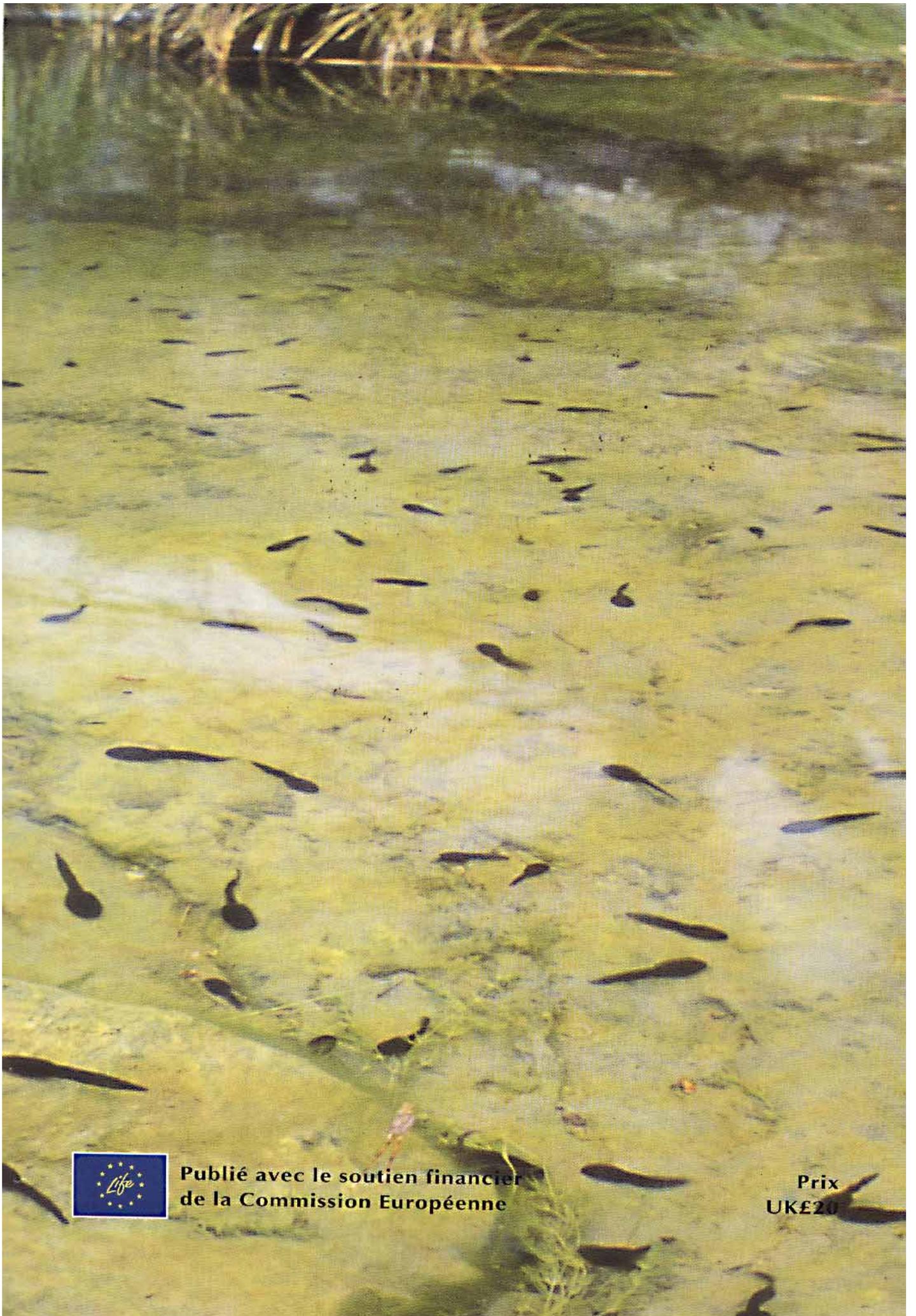
 Taux d'accrétion 147
 Télédétection 41
 Température de l'eau 42
 Teneur en oxygène 44
 Tourbe 147
 Tourbières 12
 Tourisme 17, 19, 48, 54-55, 71, 108, 137
 Toxine 147
 Transfert entre bassins 148
 Transparence de l'eau 44
 Types de zones humides 7, 91, 103-105, 119, 128-130, 135-138

 UIB 105, 148
 UIB. 107
 UNL 148
 Urbanisation 17, 18
 UTO 148

 Valeurs 148
 Valeurs des zones humides 6-8, 92, 104, 120, 128, 136
 Vallicultura 16, 148
 Venise, Italie 16
 Vertébrés 46
 Vierge 148

 WWF 148

 ZNIEFF 148
 Zones intertidales 97
 Zooplancton 42, 148
 ZPS 138, 148



Publié avec le soutien financier
de la Commission Européenne

Prix
UK£20