

Université de Metz
Centre de Recherches Ecologiques
Laboratoire de Phytoécologie
Ile du Saulcy
57045 Metz Cedex 01

ENSA Ecologie et
INRA Ecologie Aquatique

65, route de St Briec
35042- Rennes Cedex



29933-2 RM



**Les macrophytes aquatiques
bioindicateurs des systèmes lotiques.
Intérêts et limites des indices
macrophytiques**

**Synthèse bibliographique des principales approches
européennes
pour le diagnostic biologique des cours d'eau.**

Rapport de la phase II

*Travail réalisé dans le cadre du
G.I.S.*

« Macrophytes des eaux continentales »

Octobre 2000

A la demande de l'INTER- AGENCES DE L'EAU
Coordination AGENCE DE L'EAU ARTOIS-PICARDIE
Centre Tertiaire de l'Arsenal, 200 rue Marceline,
BP 818, 59508 – Douai Cedex

**LES MACROPHYTES AQUATIQUES BIOINDICATEURS DES SYSTEMES
LOTIQUES
INTERETS ET LIMITES DES INDICES BIOTIQUES
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE DES PRINCIPALES APPROCHES EUROPEENNES
POUR LE DIAGNOSTIC BIOLOGIQUE DES COURS D'EAU**

Rapport de la phase II

**Travail réalisé dans le cadre du G.I.S.
« Macrophytes des eaux continentales »**

Responsables scientifiques :

ENSA de Rennes
Université de Metz

Jacques HAURY
Serge MULLER

Coordination de l'étude :

Université de Metz

Marie-Christine PELTRE

Rédaction :

Université de Metz

Marie-Christine PELTRE
Serge MULLER
Gabrielle THIEBAUT
Benoît DEMARS

ENSA de Rennes

Jacques HAURY
Hervé DANIEL
Ivan BERNEZ

Relecture :

Université de Metz

Marie-Christine PELTRE
Serge MULLER

ENSA de Rennes
Université de Strasbourg

Jacques HAURY
Michèle TREMOLIERES

Université Catholique de l'Ouest (Angers)

Micheline GUERLESQUIN
Elisabeth LAMBERT

Cemagref Lyon
Cemagref Bordeaux

Jacques BARBE
Alain DUTARTRE

INTER – AGENCES DE L'EAU :

Coordination : Jean Prygiel, Agence de l'Eau Artois Picardie

PREAMBULE

OBJECTIF ET PRESENTATION DE L'ETUDE

Cette étude est la seconde phase d'un travail dont l'objectif est d'approfondir et d'améliorer la notion d'indice biologique basé sur les macrophytes, ou indice « Macrophytes » en tant qu'outil d'évaluation de la qualité des cours d'eau français. Un tel indice a déjà été présenté sous une forme provisoire par les membres du G.I.S. Macrophytes des Eaux Continentales (HAURY *et al.*, 1996a, **Annexe 1**).

Avant de devenir opérationnel dans un cadre d'application plus large, cet indice a besoin d'être resitué dans la démarche de diagnostic biologique et d'évaluation de la qualité des cours d'eau, réalisée au cours de ces dernières années à l'aide des végétaux aquatiques, tant aux niveaux français qu'euro péen. C'est l'objet de cette étude bibliographique.

Ce travail fait notamment la synthèse des travaux de thèses et d'habilitation à diriger des recherches, réalisés en France depuis 1992, sur la bioindication des cours d'eau avec les macrophytes (EGLIN & ROBACH, 1992 ; GRASMÜCK, 1994 ; HAURY, 1996b ; THIEBAUT, 1997 ; DANIEL, 1998 ; BERNEZ, 1999 ; CHATENET, 2000).

Dans un deuxième temps, cet indice est amendé au niveau des cotes spécifiques des taxons bioindicateurs, par un travail de traitement de données approprié, et par l'examen plus approfondi de l'écologie spécifique (ce qui suppose de constituer une banque de données rivières) des végétaux.

Ces deux volets du travail doivent permettre d'affiner le domaine de validité de cet indice, de préciser ses limites d'opérationnalité, et de progresser sur les connaissances nécessaires à acquérir pour l'améliorer ou pour réorienter la démarche de bioindication avec les macrophytes.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les collègues des Agences de l'Eau qui ont soutenu leur démarche depuis la naissance du GIS Macrophytes des Eaux continentales, et financé cette recherche.

Leur gratitude va aussi aux étudiants et collègues qui ont contribué de façon diverse à ce travail, soit pour l'acquisition de données, soit pour une relecture, une réflexion critique, ...

SOMMAIRE

INTRODUCTION	P.6
1. DÉFINITIONS	P.7
2. - CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DE DISTRIBUTION DES MACROPHYTES DANS LES COURS D'EAU ET MÉTHODES D'ÉTUDE INDUITES	
2.1. - GÉNÉRALITÉS.....	P.8
2.2. - MÉTHODES D'ÉTUDE STATIONNELLE.....	P.9
2.3. - PROPOSITIONS D'ÉCHANTILLONNAGE : LA MÉTHODE MEV.....	P.9
3. - CONCEPT ET NIVEAUX DE BIOINDICATION	P.11
3.1. - CONCEPTS.....	P.11
3.2. - APPLICATION AUX MACROPHYTES.....	P.12
4. - CHAMPS D'INVESTIGATION DE L'ÉTUDE	P.14
CHAPITRE 1 – FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX DE DISTRIBUTION ET POTENTIEL DE BIOINDICATION DES MACROPHYTES	P.15
1.1. - FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX DE DISTRIBUTION DES MACROPHYTES	P.15
1.1.1. - LES FACTEURS ABIOTIQUES.....	P.15
1.1.2. - LES FACTEURS BIOTIQUES.....	P.16
1.1.3. - MODIFICATIONS DES FACTEURS PAR L'HOMME.....	P.17
1.2. - LE CADRE FONCTIONNEL DE L'ÉCOSYSTÈME COURS D'EAU ET LA PLACE DU COMPARTIMENT MACROPHYTES	P.20
1.2.1. - UNE VISION GÉNÉRALE DU COURS D'EAU.....	P.20
1.2.2. - APPROCHE STRUCTURALE DE LA VÉGÉTATION.....	P.20
1.3. - POTENTIEL DE BIOINDICATION DES MACROPHYTES	P.20
1.4. - OBJECTIFS DE LA BIOINDICATION AVEC LES MACROPHYTES ?	P.21
CHAPITRE 2 - MÉTHODES D'ÉTUDE DE LA VÉGÉTATION DANS LES SYSTÈMES D'EAU COURANTE, EN RELATION AVEC LA BIOINDICATION : ANALYSE HISTORIQUE	P.23
2.1. - TRAVAUX ALLEMANDS ET AUTRICHIENS	P.23
2.1.1. - KOHLER.....	P.23
2.1.2. - AUTRES AUTEURS.....	P.24
2.1.3. - WIEGLEB.....	P.26
2.2. - TRAVAUX ANGLO-SAXONS	P.28
2.2.1. - RODWELL.....	P.28
2.2.2. - HASLAM.....	P.29
2.2.3. - HOLMES.....	P.30
2.2.4. - APPROCHE FONCTIONNELLE.....	P.31
2.3. - TRAVAUX ESPAGNOLS ET PORTUGAIS	P.31
2.4. - TRAVAUX BELGES	P.32
2.5. - TRAVAUX LUXEMBOURGEOIS	P.34
2.6. - TRAVAUX FRANÇAIS	P.34
2.6.1. - DÉMARCHES PHYTOSOCIOLOGIQUES.....	P.34
2.6.2. - DÉMARCHE FLORISTIQUE : ENSEMBLES FLORISTIQUES ET QUALITÉ DE L'EAU.....	P.38
2.6.3. - DÉMARCHE FONCTIONNELLE.....	p.39
CHAPITRE 3 - LE DÉVELOPPEMENT DES INDICES MACROPHYTIQUES	P.41
3.1. - LES INDICES STRUCTURELS	P.41
3.2. - LES INDICES BIOCÉNOTIQUES	P.42

3.3. - L'INDICE D'ABONDANCE SPÉCIFIQUE.....	P.43
3.4. - LES INDICES DE SAPROBIE	P.44
3.5. LES INDICES SPÉCIFIQUES	P.44
3.5.1. - LE DIAGNOSTIC PHYTO-ÉCOLOGIQUE DE ELLENBERG	P.44
3.5.2. - LES INDICES ANGLO-SAXONS	
a) HOLMES & NEWBOLD	P.45
b) HARDING	P.46
c) le M.T.R.	P.47
3.5.3. - LES INDICES DU GIS MACROPHYTES	P.48
3.6. - LES INDICES DE PERTURBATION.....	P.50
3.7. - AUTRES INDICES	P.52
3.7.1. L'INDICE DE TOXIPHOBIE BRYOPHYTIQUE	P.52
3.7.2. L'INDICE MIS	P.53
3.7.3. L'INDICE DU NIVEAU TROPHIQUE DES RIVIÈRES OU RTSI	P.53
CHAPITRE 4 - LIMITES DES SYSTÈMES DE BIOINDICATION ET DES INDICES	
.....	P.54
4.1. - LIMITES DES INDICES ET DES SYSTÈMES TYPOLOGIQUES UTILISÉS EN DIAGNOSTIC	
DE LA QUALITÉ DE L'EAU	P.54
4.1.1. - LES INDICES FLORISTIQUES (SPÉCIFIQUES)	P.55
A) ANALYSE DU M.T.R.	P.55
B) ANALYSE DES INDICES GIS	P.57
C) COMMENTAIRES GÉNÉRAUX	P.59
4.1.2. - LES INDICES PHYTOCÉNOTIQUES (OU DE PERTURBATION)	P.60
4.1.3. - LES INDICES DE COMMUNAUTES ET LES SYSTEMES TYPOLOGIQUES.....	P.60
4.2. - DISCUSSION GÉNÉRALE.....	P.62
4.2.1. - ANALYSE CRITIQUE DU CONCEPT DE BIOINDICATION	P.62
4.2.2. - PROBLÈMES CONCEPTUELS DE L'UTILISATION DES MACROPHYTES COMME BIOINDICATEURS	P.62
CHAPITRE 5 - PERSPECTIVES ET PROPOSITIONS D'ÉVOLUTION DES	
INDICES MACROPHYTES POUR LEUR MISE EN ŒUVRE EN FRANCE.....	P.67
5.1. - AMÉLIORATION DE L'INDICE GIS : L'INDICE I.B.M.	P.67
5.1.1. - PRÉCISIONS SUR LES MODALITÉS D'INVENTAIRE ET DE RELEVÉS	P.68
5.1.2. - MODIFICATION DES COTES SPÉCIFIQUES	P.70
5.1.3. - PROPOSITIONS DE CALCUL DE L'I.B.M.	P.72
5.1.4. - LIMITES ACTUELLES D'APPLICATION DE L'I.B.M.	P.73
5.1.5. - PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION DE L'I.B.M.	P.75
5.2. - ÉVOLUTION DE LA DÉMARCHÉ POUR UNE INTÉGRATION SYSTEMIQUE EXIGÉE PAR	
LA DIRECTIVE CADRE SUR L'EAU	P.75
5.2.1. - PASSER DE LA LISTE FLORISTIQUE A L'INVENTAIRE DES COMMUNAUTES	P.76
5.2.2. - DÉFINIR DES PHYTOCÉNOSES DE RÉFÉRENCE	P.76
5.2.3. - LA MESURE DE L'ÉCART A LA RÉFÉRENCE	P.77
CONCLUSION GÉNÉRALE	P.82
1. - LES MACROPHYTES, DES BIOINDICATEURS PROMETTEURS	P.82
2. - PASSER DE L'INVENTAIRE FLORISTIQUE A L'ANALYSE DÉTAILLÉE DES COMMUNAUTES	P.83
3. - INTÉGRER LES MACROPHYTES DANS UN SYSTÈME GÉNÉRAL D'ESTIMATION DE LA	
QUALITÉ DES COURS D'EAU	P.84
4. - UTILISER LES MACROPHYTES DANS DES OPTIQUES DE BIOÉVALUATION PLUS LARGES	P.84
BIBLIOGRAPHIE	P.85
LISTE DES FIGURES	P.103
ANNEXES	P.104

INTRODUCTION

Lorsque les gestionnaires analysent les cours d'eau, la notion de qualité est traditionnellement envisagée sous le seul aspect de celle de l'eau.

Or, depuis la loi sur l'Eau de 1992, et dans la perspective européenne de la Directive Cadre sur l'Eau, c'est bien l'ensemble de l'hydrosystème qui fait l'objet d'une recherche sur la qualité, avec une reconnaissance des compartiments biotiques. Il est ainsi prévu de prendre en considération les végétaux microphytes (diatomées benthiques essentiellement) et macrophytes (objets du présent travail).

Il s'agit alors de déterminer dans quelle mesure les macrophytes sont des bioindicateurs de la qualité des cours d'eau et de quels paramètres de cette qualité. Pour cela, une analyse générale du contexte de développement des macrophytes en cours d'eau est réalisée, ainsi qu'un panorama des méthodes utilisées en Europe, accompagné d'une présentation critique des concepts sous-jacents et des limites des différentes approches. Il s'agit alors de présenter des propositions d'amélioration de l'existant, pour promouvoir l'utilisation des macrophytes dans l'estimation de la qualité des cours d'eau, à court et moyen termes.

Le plan de cette synthèse bibliographique s'organise donc comme suit :

- L'entrée en matière introduit la notion de bioindication au sens large et plus spécifiquement celle obtenue à l'aide des végétaux aquatiques et les différents niveaux de bioindication qu'ils intègrent.
- Le premier chapitre recense les principaux facteurs dont le rôle est prépondérant dans la répartition et le développement des macrophytes, y compris les facteurs anthropiques; il en résulte des biotypologies descriptives de l'état des écosystèmes, ce qui permet de mettre en évidence le potentiel de bioindication des macrophytes.
- Une perspective historique sur les différentes approches de bioindication engagées sur les macrophytes dans les principaux pays européens ainsi que les concepts sous-jacents et leurs méthodologies est présentée dans le deuxième chapitre.
- Les différents indices biologiques « macrophytes » existants sont développés plus spécifiquement dans le chapitre trois.
- Le chapitre quatre aborde les limites des indices et des systèmes typologiques utilisés en diagnostic de la qualité de l'eau
- Enfin le chapitre cinq ouvre les perspectives et les propositions d'évolution des indices macrophytiques pour une mise en œuvre sur le territoire français, mais dans une perspective résolument européenne, compte tenu de la Directive Cadre sur l'Eau.

Pour chaque rubrique, une sélection significative des références a été opérée, afin d'être plus concis.

CONCLUSION GENERALE

1. - LES MACROPHYTES, DES BIOINDICATEURS PROMETTEURS

En conclusion, les macrophytes sont déterminés par et donc bioindicateurs :

- (i) des conditions mésologiques et physiques, essentiellement influencées par la zonation longitudinale, l'hydrodynamique et les conditions d'éclairement;
- (ii) de la qualité de l'eau, principalement minéralisation et trophie.

Ce sont donc des **bioindicateurs de la qualité des cours d'eau**.

Si les instances environnementales ne sont intéressées que par la qualité de l'eau, alors tout un chantier pluridisciplinaire d'étude doit être mis en place sinon pour s'abstraire des conditions mésologiques et historiques déterminant les peuplements, du moins pour intégrer leurs effets par rapport à ceux de la qualité de l'eau. C'est bien là l'enjeu de phytocénoses de référence intégrant la variabilité éco-régionale, physique et chimique des cours d'eau.

De façon simple, lorsque l'on veut évaluer les effets d'une pollution ponctuelle, on devra essayer de trouver des conditions physiques comparables, ou alors prendre en compte l'hétérogénéité constatée pour interpréter les résultats qui ne devront pas être imputés aux seuls changements de la qualité de l'eau.

2. - UN DEVELOPPEMENT NECESSAIRE DE LA BIOINDICATION AVEC LES MACROPHYTES : PASSER DE L'INVENTAIRE FLORISTIQUE A L'ANALYSE DETAILLEE DES COMMUNAUTES

Le cadre de la démarche, rappelé antérieurement, correspond au concept de végétation potentielle, **corollaire de celui de capacité de végétalisation**.

➤ **Une stratégie d'acquisition de données complémentaires**

Des acquisitions de données complémentaires sont donc absolument nécessaires. Celles-ci doivent être obtenues dans des conditions standard, et avec des observateurs spécialistes des macrophytes. On ne peut en effet mettre au point ou valider une méthode avec des données peu fiables.

Il semble que la multiplication d'initiatives locales et dispersées, avec des protocoles parfois non validés scientifiquement donne des résultats inexploitable pour l'accroissement des connaissances dans ce domaine et corresponde à autant de pertes d'énergie par rapport à un programme ambitieux et fédérateur tel que celui antérieurement proposé par le GIS.

A partir d'une base de données plus conséquente et couvrant le territoire national (pour information, les tests du Mean Trophic Rank on pris en considération plus de 5000 relevés répartis sur l'ensemble du Royaume-Uni - DAWSON *et al.*, 1999), il sera nécessaire de définir un échantillon de mise au point de l'indice amélioré, et un échantillon de test.

➤ Une recherche cognitive à poursuivre et approfondir

Une recherche cognitive sur la mise en place des peuplements reste alors à entreprendre. Celle-ci implique tout un travail conceptuel, statistique et de modélisation pour arriver à définir les phytocénoses de référence et à quantifier l'écart entre la phytocénose observée et la référence typologique, ainsi que la phytocénose optimale dans le contexte physique stationnel particulier. Bien évidemment, ces phytocénoses de référence devant intégrer les hétérogénéités stationnelles, ne pourront concerner seulement l'échelle des faciès, mais devront prendre en considération des séquences multi-faciès.

3. - INTEGRER LES MACROPHYTES DANS UN SYSTEME GENERAL D'ESTIMATION DE L'EAU

Enfin les macrophytes aquatiques pourraient être intégrées dans un système de bioévaluation plus large incluant :

- les **macroinvertébrés** (HELLAWELL 1986 ; AFNOR, 1997),
- les **algues microscopiques**, notamment les **diatomées** comme l'ont proposé DESCY (1979) COSTE (1988), KELLY & WHITTON (1994, 1995, 1998), KELLY (1998a, 1998b), KELLY *et al.* (1998), PRYGIEL *et al.* (1998), WHITTON & KELLY (1995), WHITTON & ROTT (1996), WHITTON *et al.* (1998).

Ce compartiment vient d'ailleurs de faire l'objet d'une norme AFNOR (AFNOR, 2000).

En Angleterre, le développement du Trophic Diatom Index (TDI) a démarré en même temps que celui du M.T.R.. Les deux indices ont été utilisés par l'Environmental Agency entre 1994 et 1997 comme aide à la décision de sélection de zones sensibles, notamment pour le traitement du phosphore (HARDING & KELLY, 1999). Le TDI a été utile alors que le MTR n'avait pas permis de conclure, grâce à la capacité du TDI à différencier les sites soumis à une pollution organique ou à un impact direct des nutriments.

De plus l'utilisation de ces deux indices a montré l'importance d'utiliser sur des mêmes sites des indices biocénotiques et des données chimiques (nutriments).

- les **ciliés** (*Protozoa, Ciliophora*),
- les **oligochètes**, qui sont en cours de normalisation en France
- les **poissons** (en utilisant par exemple l'indice d'intégrité biotique de KARR *et al.*, 1978) ; OBERDORFF & PORCHER, 1994), l'indice de détérioration de RAMM (1988), à comparer avec macrophytes, ces travaux étant actuellement tout-à-fait d'actualité et développant des méthodes multicritères d'évaluation.

Cette intégration permettrait de mieux caractériser différentes perturbations, notamment anthropiques, par les différentes réponses (en nature, vitesse, et degré de sensibilité) de ces groupes d'organismes (HAURY, 1997).

Un travail de comparaison intercompartiments (voir HAURY *et al.*, 1996) a déjà été amorcé en ce sens lors d'un colloque en 1994 sur les Variables biologiques comme indicateurs (CHARTIER-TOUZE *et al.*, 1997). Cette réflexion demande à être poursuivie pour une intégration plus efficace dans le projet du S.E.Q. Biologique proposé par les Agences de l'Eau.

Dans ce cadre, la nécessité de calibration des indices macrophytes par rapport aux métriques de l'environnement, aux paramètres de géomorphologie et aux autres communautés biologiques, supposerait notamment l'acquisition de données sur des sites communs d'études pluridisciplinaires.

4. - UTILISER LES MACROPHYTES DANS DES OPTIQUES DE BIOEVALUATION PLUS LARGES QUE CELLE DE LA TROPHIE DES EAUX

Il serait intéressant qu'en France les macrophytes soient aussi utilisés pour des objectifs d'évaluation du fonctionnement et de conservation des écosystèmes, où tout leur potentiel bioindicateur s'exprime. Dans cette hypothèse, la prise en compte de la zone supra-aquatique, à l'instar des travaux de HOLMES (1983), mais peut-être aussi de l'intégralité des berges, serait peut-être à réenvisager.

De même, en raison de leur grande sensibilité aux caractéristiques du milieu physique, les macrophytes sont des indicateurs de la qualité générale de l'habitat, et pourraient être utilisés dans ce sens, sachant que tous les autres organismes n'ont pas cette caractéristique de large intégration spatiale autorisant une cartographie des peuplements.