

Les lichens, bryophytes, ptéridophytes et phanérogames aquatiques

Jacques Haury ^a, Gabrielle Thiébaud ^b, Julie Coudreuse ^a et Serge Muller ^b

Les macrophytes comprennent l'ensemble des végétaux aquatiques visibles à l'œil nu et « aisément » identifiables (Symoens *et al.*, 1982 ; Afnor¹, 2003). Ils comprennent classiquement les algues filamenteuses (Lambert-Servien *et al.*, p. 9 à 21 de ce numéro), et des groupes plus évolués que sont les lichens, les bryophytes, les ptéridophytes et les phanérogames.

Les principales différences entre les groupes taxonomiques de macrophytes sont résumées dans le tableau 1.

Les **milieux** où l'on trouve des macrophytes inféodés à la vie aquatique vont depuis les mares temporaires, les zones de marnage d'étangs, de lacs ou de réservoirs, les canaux, bancs sédimentaires des cours d'eau, jusqu'aux zones relativement profondes des plans d'eau et cours d'eau, pour peu qu'une quantité suffisante de lumière atteigne le fond (zone euphotique) pour assurer un bilan énergétique positif entre respiration et photosynthèse.

Pour la suite du propos, nous distinguerons dans un premier temps les **hydrophytes** vrais

1. Association française de normalisation.

▼ Tableau 1 – Taxonomie très simplifiée des principaux groupes de macrophytes.

Groupes		Filaments	Axe différencié (tige)	Thalle ou assimilé	Feuilles	Fleurs
Algues		Oui	Rarement (characées)	En général	Non	Non
Lichens		Non	Non	Oui	Non	Non
Bryophytes	<i>Mousses</i>	Non	Oui	Non	Oui	Non
	<i>Hépatiques à thalle</i>	Non	Non	Oui	Non	Non
	<i>Hépatiques à feuilles</i>	Non	Oui	Non	Oui	Non
Ptéridophytes		Non	Oui	Non	Rameaux/ frondes	Non
Phanérogames Angiospermes		Non	En général	Lentilles	En général	Oui

Les contacts

a. UMR INRA-Agro-campus Rennes 985, Écologie et santé des écosystèmes, Laboratoire d'écologie et sciences phytosanitaires, 65 rue de Saint Briec, CS 84215, 35042 Rennes Cedex
 b. Laboratoire des interactions écotoxicologie, biodiversité, écosystèmes, Université Paul Verlaine, UMR CNRS 7146, Campus Bridoux, rue du général Delestraint, 57070 Metz Cedex

qui poussent totalement immergés ou flottent librement à la surface de l'eau, les **hélophytes** qui poussent les pieds dans l'eau mais développent l'essentiel de leur appareil aérien hors de l'eau, et les **plantes amphibies ou amphiphytes**, qui poussent soit dans l'eau soit seulement en milieu humide et différencient des formes aquatiques et terrestres. Un cas particulier correspond aux **plantes annuelles (ou thérophytes) des zones de marnage** qui sont souvent considérées comme des macrophytes.

Dans ce travail, il s'agit de présenter un panorama de la biologie et de la taxonomie des macrophytes évolués en montrant la diversité de ces végétaux, de donner quelques noms de taxons emblématiques, de présenter différents outils d'identification mettant en exergue et permettant de résoudre quelques difficultés taxonomiques, et enfin d'établir une typologie éco-morphologique montrant que la variabilité est une réponse adaptative aux niveaux d'eau notamment. Quelques orientations de recherche actuelles concluent le propos.

Lichens et bryophytes

Ces groupes, caractérisés par l'absence de racines, sont immédiatement inféodés à la qualité de l'eau dont ils tirent leurs nutriments.

Lichens aquatiques

Un lichen constitue une association symbiotique obligatoire entre un champignon et une algue ou une cyanobactérie. La détermination des lichens est très délicate (Ozenda et Clauzade, 1970), et l'inventaire des espèces aquatiques reste à parfaire.

Quelques lichens aquatiques sont à citer. Des lichens incrustants du genre *Verrucaria* forment des taches colorées dans les cours d'eau rapides. Deux lichens foliacés (avec une lame collée au substrat) se développent dans les cours d'eau acides avec une bonne qualité d'eau : *Collema fluviatile* et *Dermatocarpon weberi*.

Pour ce dernier, des travaux expérimentaux ont été menés sur la bio-indication de la qualité de l'eau et de l'air (Chatenet et Botineau, 2001), montrant son pouvoir bio-accumulateur des métaux lourds.

De façon très générale, les relevés des macrophytes excluent les lichens, mais *D. weberi* et *C. fluviatile* étant des taxons très indicateurs, ils sont retenus dans la liste de la norme IBMR² (Afnor, 2003).

Bryophytes aquatiques

UNE GRANDE DIVERSITÉ MORPHOLOGIQUE

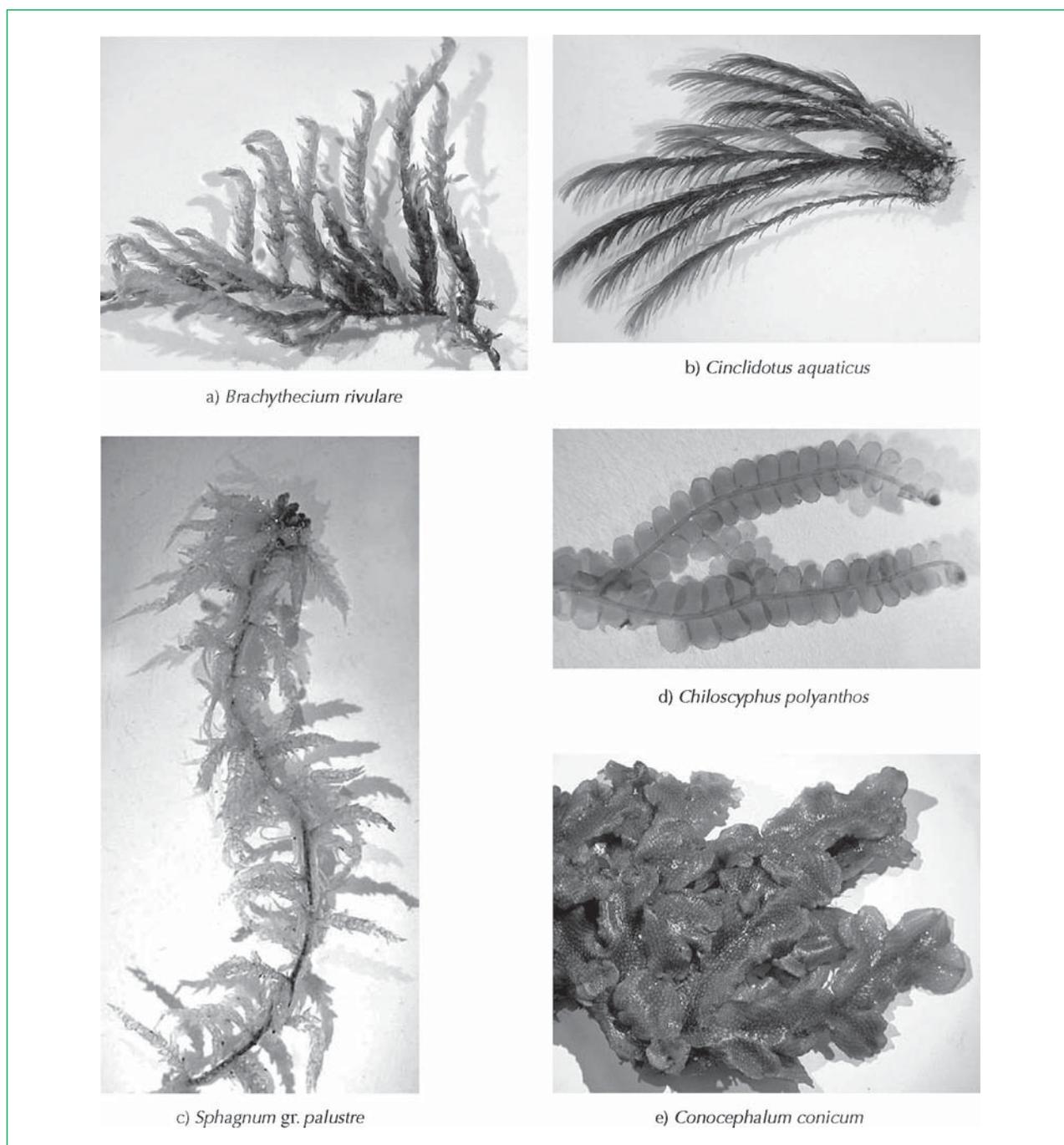
Les bryophytes rencontrées classiquement en plans d'eau ou en rivières appartiennent aux groupes des mousses et des hépatiques, auxquels sont parfois associées des sphaignes. On peut succinctement les différencier par la présence d'axes bien différenciés et de feuilles généralement disposées en situation non distique (mousses) – figure 1a, soit par la différenciation de deux types de cellules pour les sphaignes (figure 1b), ou des feuilles en position distique (hépatiques à feuilles) – figure 1c, soit par la différenciation d'un thalle (hépatiques à thalle) – figure 1d. Conformément aux caractéristiques du groupe, les bryophytes aquatiques présentent une taille réduite variant de quelques millimètres (entre 2 et 5 mm pour les petits individus de *Fissidens pusillus*) à quelques dizaines de centimètres (en général moins de 30 cm de longueur pour les plus grandes touffes de *Fontinalis antipyretica*).

RÉPARTITION

Classiquement, on distingue des taxons aquatiques et supra-aquatiques (présents dans la zone de balancement des eaux pouvant se retrouver ponctuellement immergés – Holmes et Whitton, 1977). Néanmoins, la répartition des bryophytes vis-à-vis de l'eau étant plus dépendante de la saturation en eau atmosphérique que d'un degré d'immersion, le classement des espèces selon ce critère strict est très délicat, et l'intrusion dans les relevés d'espèces supra-aquatiques est parfois importante (par exemple, Vandenpoorten *et al.*, 2000).

Nettement inféodés aux substrats stables et présentant une forte tolérance à l'ombrage, les bryophytes sont dominants en systèmes courants et en tête de bassins versants. Ils sont surtout abondants en rivières acides (Grasmück *et al.*, 1995), et plus spécialement dans les zones oligotrophes (Thiébaud *et al.*, 1998 ; Vandenpoorten *et al.*, 2000 ; Daniel et Hauray, 1996a). Dans les rivières basiques, ils sont surtout dominants en montagne, dans les faciès courants des cours d'eau planitiaires et dans les systèmes oligotrophes (Hauray *et al.*, 2001a ; Adam, 2000). Seules quelques espèces semblent à la fois relativement indifférentes au courant, à la trophie et à la minéralisation comme *Fontinalis antipyretica*. Ceci s'expliquerait notamment par l'impossibilité pour la majorité des bryophytes aquatiques d'utiliser la forme bicarbonate, qui est prédominante dans les

2. Indice biologique macrophytique en rivière.



rivières calcaires, le dioxyde de carbone dissous y étant toujours en quantité réduite.

Dans les eaux stagnantes, les bryophytes sont plus rares. On y retrouve notamment *F. antipyretica* qui se développe sur substrats stables jusqu'à

des profondeurs conséquentes – plusieurs mètres dans le lac Léman (Dussart, 1960). Par ailleurs, des populations de *Riccia fluitans* peuvent être localement bien développées dans les tapis flottants de macrophytes, souvent associées aux lentilles d'eau. Dans les eaux stagnantes acides

▲ Figure 1 – Illustration de quelques espèces de bryophytes (photos : Julie Coudreuse).

se développent des tapis de sphaignes (*Sphagnum cuspidatum*, *S. obesum*, *S. palustre*, etc), à l'origine de la formation de tourbières à sphaignes.

SYSTÉMATIQUE ET DÉTERMINATION

Les bryophytes présentent de nombreux taxons aquatiques (environ cinquante espèces) et une vingtaine d'espèces supra-aquatiques pouvant différencier des formes aquatiques (Haury, 2002).

Du fait d'adaptations morphologiques en fonction des degrés de submersion, mais aussi du courant (par exemple pour les *Fontinalis*), mais également d'un examen pour identification alourdi par l'indispensable observation microscopique et une terminologie particulière associée, ils peuvent poser de nombreux problèmes d'identification aux opérateurs de terrain. Aussi, des clés d'identification illustrées ont été établies pour la centaine de taxons classiquement retrouvés (Bailly *et al.*, 2004 ; Coudreuse *et al.*, 2005). Les ouvrages de détermination recommandés pour les déterminations comme Augier (1966), Smith (1980 et 1990) et Paton (1999) sont recensés dans la norme Afnor (2003).

Il n'existe pas de liste exhaustive des bryophytes aquatiques de France. Le GIS³ « Macrophytes des eaux continentales » s'attache donc à essayer de compléter les listes existantes établies par le croisement des travaux de recherche menés sur différentes régions françaises.

ÉCOLOGIE POPULATIONNELLE

POUR LA BIO-INDICATION ET RÔLES FONCTIONNELS

Les bryophytes sont à la fois indicateurs des conditions de substrat physique (Daniel et Haury, 1996a), de minéralisation et d'acidification (Thiébaud *et al.*, 1998), ainsi que de trophie (Daniel et Haury, 1995). Des profils écologiques ont été établis pour de nombreuses espèces, notamment par Haury (1985, 1989, 1990, 1995), puis Grasmück (1994).

Les bryophytes sont également des bio-accumulateurs de métaux lourds (Mouvet, 1985 ; Mouvet *et al.*, 1986 ; Mersch *et al.*, 1993 ; Claveri *et al.*, 1994 ; Claveri, 1995), particularité qui a été utilisée par les agences de l'eau pour mettre en place des réseaux de surveillance de la pollution des cours d'eau. Ils sont également utilisés pour le suivi des contaminations radioactives (Empain *et al.*, 1980 ; Mersch et Kass, 1994), ainsi que comme traceurs hydrologiques des relations rivières-nappe (Roeck *et al.*, 1991). Une synthèse

sur le caractère bio-indicateur des bryophytes par rapport aux métaux lourds et toxiques a d'ailleurs été récemment publiée (Ah-Peng et Rausch de Traubenberg, 2004).

Enfin, et malgré leur petite taille, ils participent comme les autres macrophytes au fonctionnement des hydrosystèmes. Du fait de leur pérennité, ils forment des peuplements stables et physiologiquement actifs toute l'année, permettant leur utilisation d'une part, en tant que bio-indicateurs intégrateurs temporels des conditions du milieu, et d'autre part, en tant que zones refuges pour de nombreux invertébrés. En effet, ils piègent des sédiments fins dans les touffes et offrent des abris aux invertébrés reconnus dans la norme d'échantillonnage des invertébrés benthiques (IBGN⁴ selon les normes Afnor) ; ils constituent le premier substrat biogène (c'est-à-dire source d'habitat).

Ptérédiphytes

Les ptérédiphytes possèdent typiquement un axe différencié, et les feuilles sont qualifiées de « frondes » par les biologistes végétalistes. Plusieurs groupes sont à citer et correspondent à des formes très différentes (figure 2).

Les fougères flottantes du genre *Azolla* sont caractérisées par des tiges portant des écailles. Les « frondes » portent à la face inférieure des sporanges dans lesquels une cyanobactérie du genre *Anabaena* vivant en symbiote est capable de fixer l'azote atmosphérique. Elles sont considérées comme introduites, leurs populations autochtones ayant disparu lors de la dernière glaciation (Dutartre *et al.*, 1997). Deux taxons sont cités en France : *Azolla filiculoides* et *A. caroliniana*.

Les fougères aquatiques à quatre feuilles du genre *Marsilea* (*M. quadrifolia*, *M. strigosa*) sont protégées ; elles se développent dans des milieux peu profonds oligotrophes pour la première et en milieux perturbés temporaires pour la seconde (Cahiers d'habitats n° 6).

Les isoetes sont localisés aux lacs d'une part (*Isoetes lacustris*, *I. echinospora*, *I. boryana*), et aux formations herbacées humides d'autre part (prairies humides et mares temporaires en milieu méditerranéen : Grillas *et al.*, 2002 ; pelouses hygrophiles du littoral : *Isoetes histrix*). Dans le premier cas, ils forment des pelouses submergées peu élevées en zone relativement profonde ; dans les seconds cas, ils s'intègrent à la flore

3. Groupement d'intérêt scientifique.

4. Indice biologique global normalisé.

graminéenne et il faut une habitude certaine pour les repérer.

Les pilulaires (*Pilularia globulifera*) forment également des pelouses très rases, en eaux peu profondes ou en zones de marnage.

Les prêles (*Equisetum limosum*, *E. palustre*, etc.) correspondent à des plantes à axe dressé et articles emboîtés présentant un enracinement profond dans des substrats meubles, et donc en eaux peu profondes.

Les fougères plus « classiques », avec une fronde feuillée dressée, colonisent les marais et bords de cours d'eau. Deux taxons sont principalement à citer : *Thelypteris palustris* et *Osmunda regalis*, la plus grande de nos fougères, toutes deux caractéristiques des zones plus ou moins tourbeuses.

Les azollas sont localement très envahissantes et posent alors des problèmes de gestion des plans d'eau et surtout des réseaux de fossés. À l'inverse, quasiment toutes les petites ptéridophytes des gazons, pelouses et prairies infra-aquatiques font l'objet de mesures de protection plus ou moins importantes et renforcent l'intérêt patrimonial des milieux où on les rencontre (Cahiers d'habitats milieux côtiers et milieux humides – Muller et Haury, p. 125 de ce numéro).

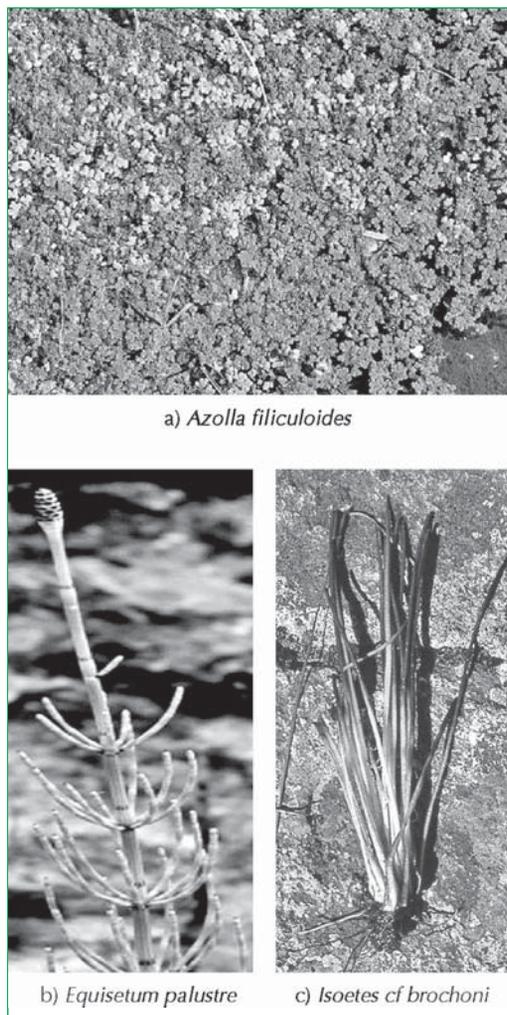
Phanérogames

Les phanérogames représentent la diversité maximale des macrophytes, au moins lorsqu'on s'arrête à une détermination au genre des algues comme dans l'IBMR. Au total, ce sont plus de trois cents taxons phanérogamiques qu'on peut qualifier de macrophytes en distinguant les hydrophytes, les amphiphytes et les héliophytes, ainsi que les thérophytes et vivaces des zones marnantes, les familles et groupes morphologiques étant très différents selon les groupes.

A priori, tous les types de milieux aquatiques et palustres sont colonisés par des phanérogames, y compris les eaux saumâtres.

Adaptation des macrophytes phanérogames et écologie spécifique

En raison des facteurs déterminants et des adaptations des taxons qui résultent des contraintes du milieu (Haslam, 1978), les macrophytes sont inégalement répartis dans l'espace. Il a donc été possible, à l'instar de ce qui a été fait pour les bryophytes, de déterminer l'écologie des espèces,



▲ Figure 2 – Trois ptéridophytes fréquentes (photos : Jacques Haury).

voire de définir des groupes écologiques par la méthode des profils écologiques (Haslam, 1978 ; Haury, 1985, 1989, 1990, 1995 ; Grasmück, 1994). Des exemples d'écologie spécifique seront développés en relation avec les adaptations aux facteurs.

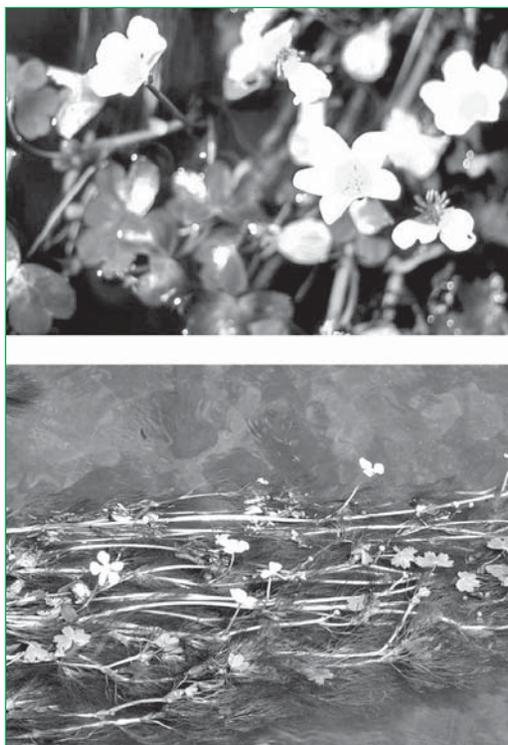
Les populations d'hydrophytes ont diverses particularités par rapport aux espèces terrestres, correspondant aux facteurs écologiques caractéristiques des milieux aquatiques courants ou stagnants.

Pour l'agitation mécanique, les réponses adaptatives sont une forte résistance à la traction (par exemple, pour *Ranunculus fluitans*), le dévelop-

pement des systèmes d'ancrage pour les espèces croissant en milieu courant (*R. penicillatus*, dont un ratio maximum appareil souterrain/appareil

aérien de l'ordre de 0,4 a été observé sur substrat sableux en ruisseau, la moyenne étant plutôt de l'ordre de 0,1 ; Haury, données non publiées), et réduction des tissus de soutien) – figure 3.

► Figure 3 – Dimorphisme foliaire chez les renoncules (photos : Jacques Haury).

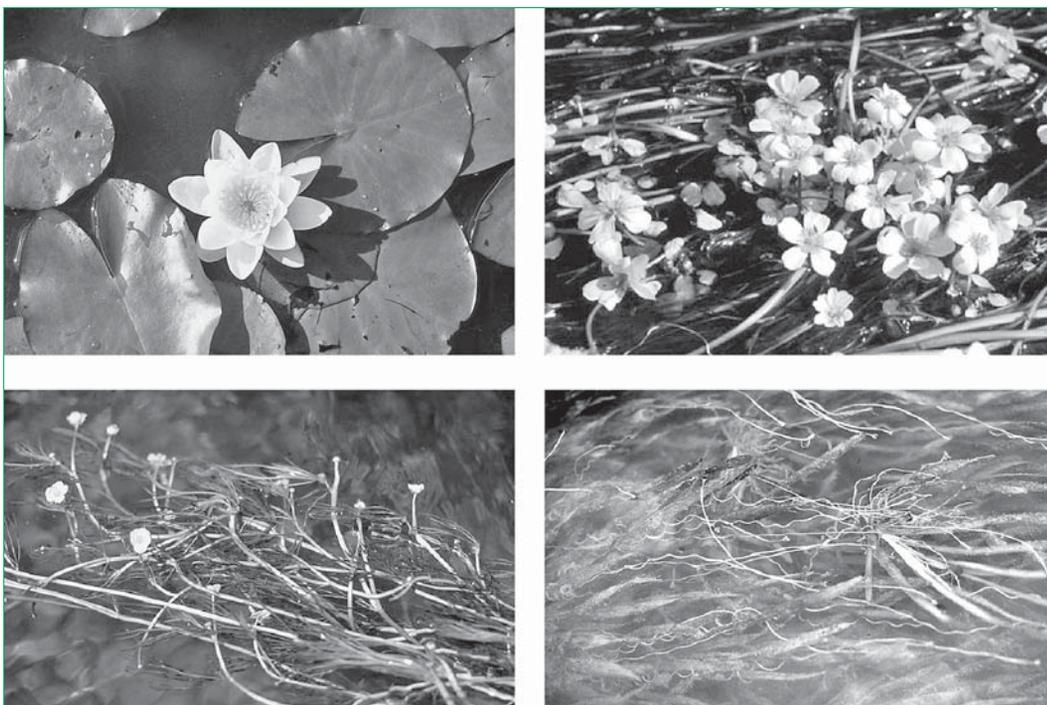


La faible teneur en dioxyde de carbone dissous a entraîné l'augmentation des surfaces d'échange par rapport au volume (feuilles submergées divisées comme chez les myriophylles et feuilles nageantes aplaties, par exemple chez les nénuphars, *R. penicillatus* ssp. *penicillatus* possédant les deux types de feuilles submergées capillaires et flottantes aplaties ; il faut par ailleurs souligner la possibilité d'utiliser des hydrogénocarbonates pour beaucoup de phanérogames.

L'omniprésence des nutriments autour de la plante permet une absorption par différents organes (tiges, feuilles, racines...) et se traduit également par une réduction du système racinaire, inexistant par exemple chez *Wolffia arrhiza*, la lentille sans racines.

Les difficultés de la reproduction sexuée au sein de la masse d'eau cantonnent cette dernière à quelques taxons comme *Callitriche hamulata* et *C. brutia*. Cette reproduction sexuée est souvent effectuée hors de l'eau, les organes de la reproduction se développant à la surface de l'eau (renoncules, *Nymphaea alba*), par exemple grâce à des pédoncules floraux spiralés (*Vallisneria spiralis*) – figure 4.

► Figure 4 – Reproduction hors de l'eau pour le nénuphar blanc, la renoncule en pinceau et la renoncule flottante : noter les pédoncules stigmatiques spiralés de la vallisnérie (photos : Jacques Haury).



Aussi, on note un fort développement de la multiplication végétative, stratégie alternative de la reproduction sexuée difficile. Pour certaines plantes exotiques envahissantes, cette multiplication végétative est exclusive, par exemple pour le myriophylle du Brésil.

Pour les héliophytes, les adaptations sont de deux ordres :

- capacité de survie des appareils racinaires dans des sédiments réduits et anoxiques, le système racinaire ayant pour particularité d'aérer les sédiments par leur respiration grâce au système d'atmosphère interne développé chez beaucoup d'entre eux ;

- forte flexibilité pour certains héliophytes sociaux comme le roseau (*Phragmites australis*), le jonc des chaisiers (*Schoenoplectus lacustris*) et les massettes (*Typha latifolia*).

L'ensemble des adaptations détermine des types éco-morphologiques qui seront détaillés ultérieurement.

Taxonomie

Toutes les familles ne sont pas également représentées chez les hydrophytes, et certaines sont quasiment exclusivement représentées en milieu aquatique :

- pour les monocotylédones, ce sont notamment les lemnacées, les potamogetonacées, les zannichelliacées et les hydrocharitacées, et, en milieu saumâtre, les ruppiaacées ;

- pour les dicotylédones, les callitrichacées, les nymphéacées, les haloragacées, les céraphyllacées et les hippuridacées sont les plus caractéristiques.

D'autres familles comprennent beaucoup de représentants aquatiques, notamment les renonculacées avec le sous-genre *Batrachium*.

Les amphiphytes sont notamment bien représentées par la famille des alismatacées à polymorphisme foliaire regroupant le flûteau nageant (*Luronium natans*) et la sagittaire (*Sagittaria sagittifolia*). Les cressonnières à cresson officinal (*Nasturtium officinale* – brassicacées) comprennent de nombreuses apiacées : ache aquatique (*Apium inundatum*), ache à fleurs nodales (*Apium nodiflorum*), berle (*Berula erecta*). Enfin les sparganiacées comprennent des amphiphytes vraies (*Sparganium emersum*, *S. affine*) et des amphihéliophytes (*S. erectum*).

Parmi les familles regroupant essentiellement voire exclusivement des héliophytes, on trouve les typhacées et les cypéracées.

Les héliophytes les plus fréquentes appartenant à d'autres familles comprennent de nombreuses poacées (*Phragmites australis*, *Phalaris arundinacea*, *Glyceria aquatica*), des apiacées (*Oenanthe crocata*), des lythracées (*Lythrum salicaria*), des scrophulariacées dont les véroniques (*Veronica beccabunga* et *V. anagallis-aquatica*)...

La bonne identification des macrophytes est une étape indispensable pour toute étude de peuplement et l'élaboration d'un diagnostic stationnel, par exemple en appliquant l'indice biologique macrophytique en rivière. Outre les flores générales, certains ouvrages spécifiques permettent d'identifier les macrophytes (Schotsman, 1967 ; Cook, 1974 ; Haslam *et al.*, 1975 ; Barbe, 1984 ; Anonyme, 1988 ; Fare *et al.*, 2001 ; Mériaux, 2003). Enfin, divers inventaires régionaux sur les macrophytes (phanérogames et ptéridophytes) existent, malheureusement pas toujours publiés (par exemple, Corillion, 1994 ; Muller, 1990).

Souvent uniquement présents à l'état stérile (ou recensés dans cet état, compte tenu de la courte période de floraison pour certains taxons comme les renoncules, de l'ordre de deux à trois semaines), les macrophytes sont souvent difficiles à identifier, et les difficultés taxonomiques signalées par diverses flores (par exemple, Abbayes (des) *et al.*, 1971). Par ailleurs, assez fréquemment, ils forment des mélanges plurispécifiques dans lesquels les taxons dominés peuvent rester inaperçus. Outre les transgressives des berges (notamment les graminées) ou les germinations, les taxons d'identification délicate correspondent à des familles ou groupes particuliers.

Les callitrichacées ont des critères de détermination fiables d'observation difficile : la taille et la forme des grains de pollen, et la morphologie des poils caulinaires pluricellulaires (Schostman, 1967 ; Lambinon *et al.*, 1992 ; Rich et Jermy, 1998). Par ailleurs, pour les formes hivernales et les formes terrestres stériles, nous ne disposons pas de clés adaptées. Comme ce groupe était réputé de détermination délicate, on trouve dans de nombreux relevés phytosociologiques ou inventaires floristiques « *Callitriche* sp. », ce qui rend les observations partiellement inutilisables. Enfin, la convergence morphologique entre les formes rhéophiles de *Callitriche brutia* Pet. et *C. hamulata* Kütz. a probablement amené à une

sous-évaluation de la répartition de la première, notamment dans les milieux acides, mais aussi à sa non-prise en considération dans l'IBMR dans sa version actuelle.

Les renoncules aquatiques sont aussi un groupe difficile en raison de leur forte polymorphie et de la possibilité d'hybrides (Géhu et Mériaux, 1981 ; Lambinon *et al.*, 1992 ; Rich et Jermy, 1998 ; Webster, 1998). Ainsi, pour le complexe de *Ranunculus penicillatus* (Dumort.) Bab., les évolutions récentes de la taxonomie compliquent le recours à la bibliographie ancienne, avec les changements de noms pour *Ranunculus pseudofluitans* (Syme) Neub., qui est devenu *Ranunculus penicillatus* subsp. *penicillatus*, notamment suite aux travaux de Webster (1988), alors que *Ranunculus penicillatus* (Dum.) Bab. var. *calcareus* (R.-W. Butcher) C.D.K. Cook est devenu *Ranunculus penicillatus* subsp. *pseudofluitans* (Syme) S.D. Webster. Il s'avère que les flores anciennes (dont Fournier, 1947) qui ne distinguaient pas *R. peltatus* Schrank et *R. aquatilis* L., et dont les critères diagnostiques étaient erronés (par exemple, feuilles submergées plus longues que les entre-nœuds pour *R. aquatilis* dans Fournier, *op. cit.*) ont amené à de nombreuses imprécisions et confusions dans les relevés.

Les potamots sont également difficiles à identifier, en raison de fortes variabilités morphologiques et de la présence d'hybrides fixés (Preston, 1995) comme le *Potamogeton x variifolius* Thore, ou de possibles confusions entre la forme rhéophile de *P. gramineus* L. et *P. alpinus* Balb.

Ces difficultés de détermination et la présence d'hybrides plaident pour des prises en considération de niveaux taxonomiques adaptés (« opérationnels »). Pour les hybrides, il a été choisi dans l'IBMR (Afnor, 2003) de se référer au type parental le plus proche. Dans les relevés, on utilise la mention « cf » pour signaler le doute, et la préconisation pour l'IBMR est de faire le calcul avec et sans le taxon douteux, pour ne pas perdre l'information.

Comme les caractéristiques structurales des herbiers sont très spécifiques et diversifiées (pelouses submergées à littorales, herbiers denses submergés d'élodées, de renoncules ou de potamots, tapis de nénuphars, végétations frangeantes des cressonnières, radeaux flottants des lentilles, ceintures de roseaux puis de carex), il est nécessaire de définir et de décrire ces structures grâce aux types éco-morphologiques.

Types structuraux et éco-morphologiques

Définitions et typologie

La prise en compte des types structuraux et éco-morphologiques est importante, dans la mesure où les macrophytes montrent une grande diversité de formes correspondant à une adaptation aux conditions particulières de la vie aquatique (Mériaux et Géhu, 1979). Ainsi, certains phytosociologues travaillant sur ces milieux utilisent ces accommodats dans la définition des syntaxons (Julve, 1993).

En rivière, à l'échelle stationnelle, les macrophytes sont distribués en herbiers, plus ou moins compacts, plurispécifiques et en mosaïque. La structure verticale des herbiers correspond au partage de l'espace entre les différents macrophytes. Les types structuraux permettent d'analyser les strates de végétation, entre les macrophytes submergés, flottants, émergés, sachant que certains taxons peuvent présenter des organes dans chacune des strates (par exemple, de nombreuses apiacées comme *Apium nodiflorum*, *A. inundatum* et *Oenanthe crocata*) ou la Sagittaire (*Sagittaria sagittifolia*), d'autres étant exclusives d'une strate (*Callitriche truncata*, *Lemna* sp., *Phragmites communis*), et qu'au cours du développement, l'appartenance à une strate végétale ou une autre peut changer.

La compétition interspécifique et la mise en place des communautés se traduisent par une sélection et une organisation des types éco-morphologiques entre eux. De nombreuses typologies ont été proposées depuis le XIX^e siècle et surtout le début du XX^e siècle, recoupant partiellement les types biologiques de Raunkiaer (adaptés par Muller [1990] dans sa liste des végétaux aquatiques du bassin Rhin-Meuse) : Sell, 1965 ; Den Hartog et Segal, 1964 ; Makirinta, 1978 ; Den Hartog et Van der Velde, 1988 ; Haury, 1992 ; Daniel et Haury, 1996b ; Daniel *et al.*, 2006. Elles sont reprises notamment pour l'analyse des peuplements lacustres par Lachavanne *et al.* (1995).

Le tableau 2 présente une synthèse hiérarchisée à partir des travaux précités, à partir des propositions de Haury (1985, 1992) et Gaudillat et Haury (2002).

Application sur un exemple

La prise en considération de ces types permet de comprendre l'organisation végétale à l'échelon local (stratification, mosaïques, ceintures) et de

▼ Tableau 2 – Synthèse hiérarchisée à partir des travaux précités, à partir des propositions de Haury (1985, 1992) et Gaudillat et Haury (2002).

Taxonomie et type éco-morphologique	Description	Exemple
ALGUES		
Charides	Characées : algues à axe principal différencié, rameaux et reproduction sexuée monoïque	<i>Chara globularis</i>
Cladophorides	Algues filamenteuses ramifiées	<i>Cladophora glomerata</i>
Hildenbrandides	Algues encroûtantes	<i>Hildenbrandia rivularis</i>
Lemanéides	Algues ancrées par un disque basal	<i>Lemanea gr. fluviatile</i>
Spirogyrides	Algues filamenteuses sans formes particulières flottant dans la masse d'eau	<i>Spirogyra</i> sp.
Vauchériides	Algues formant des coussinets	<i>Vaucheria</i> sp.
BRYOPHYTES		
Amblystegides	Mousses à port rampant	<i>Amblystegium riparium</i>
Aneurides	Hépatiques à thalle saxicoles	<i>Riccardia multifida</i>
Fissidentides	Touffes petites, ancrage basal, feuilles sur deux rangs	<i>Fissidens crassipes</i>
Fontinalides	Touffe dressée, grande, ancrage en un point (disque basal)	<i>Fontinalis antipyretica</i>
Pellides	Hépatiques à thalle terricoles	<i>Pellia epiphylla</i>
Ricciellides	Hépatiques à thalle libre flottant	<i>Riccia fluitans</i>
Sphagnides	Sphaignes : axe dressé, deux types de cellules, pas d'inféodation au substrat	<i>Sphagnum cuspidatum</i>
TRACHÉOPHYTES PLEUSTOPHYTES		
Ceratophyllides	Plantes ramifiées flottant librement dans la masse d'eau (ou fixées par la base, mais sans différenciation de racines)	<i>Ceratophyllum demersum</i>
Hydrocharides	Plantes flottant librement à la surface de l'eau	<i>Hydrocharis morsus-ranae</i>
Lemnides	Frondes à la surface de l'eau	<i>Lemna minor</i>
Stratiotides	Plantes libres flottantes dressées	<i>Stratiodes aloides</i>
Trisulcides	Petites frondes au sein de la masse d'eau	<i>Lemna trisulca</i>
Utricularides	Plantes carnivores flottant entre deux eaux	<i>Utricularia australis</i>
TRACHÉOPHYTES HYDROPHYTES FIXES		
Batrachiides	Plantes à feuilles submergées capillaires et feuilles nageantes aplaties	<i>Ranunculus peltatus</i>
Elodéides	Plantes enracinées à feuilles non découpées	<i>Elodea canadensis</i>
Isoetides	Plantes formant des gazons submergés	<i>Isoetes lacustris</i>
Magnopotamides	Plantes à feuilles submergées entières et feuilles nageantes aplaties	<i>Potamogeton natans</i>
Myriophyllides	Plantes submergées (sauf l'inflorescence) à feuilles très ramifiées	<i>Myriophyllum alterniflorum</i>
Nymphaéides	Plantes à long pétiole et limbe nageant large et arrondi	<i>Nymphaea alba</i>
Parvopotamides	Plantes à feuilles toutes submergées entières	<i>Potamogeton berchtoldii</i>

▼ Tableau 2 (suite)

Taxonomie et type éco-morphologique	Description	Exemple
TRACHÉOPHYTES AMPHIPHYTES		
Alismatides	Plantes à polymorphisme foliaire présentant des formes submergées, nageantes et émergées	<i>Sagittaria sagittifolia</i>
Glycérides	Prairies de graminées à dimorphisme foliaires : feuilles flottantes allongées, émergées plus courtes	<i>Glyceria fluitans</i>
Hippurides	Plantes immergées en début de cycle, à feuilles entières, différenciant des formes d'émergence au-dessus de l'eau	<i>Hippuris vulgaris</i>
Peplides	Plantes pouvant être émergées ou submergées, à feuilles toutes spatulées	<i>Lythrum portula</i>
TRACHÉOPHYTES HÉLOPHYTES		
Magnocaricides	Carex formant des touradons	<i>Carex paniculata</i>
Oenanthides	Dicotylédones ramifiées, présentant éventuellement des formes aquatiques	<i>Oenanthe crocata</i>
Parvocaricides	Carex formant des prairies plus ou moins hautes : cariçaias « en nappe »	<i>Carex rostrata</i>
Phragmitides	Roselières à hélophytes sociales	<i>Phragmites australis</i>

décrire son évolution temporelle (développement de lentilles d'eau sur les herbiers affleurants de renoncules ou de callitriches, par exemple). Des typologies éco-morphologiques sont alors utiles pour relier milieu physique et macrophytes (Daniel et Haury, 1996 a-b ; Daniel *et al.*, 2006).

Ainsi, par exemple, les communautés des radiers du cours médian du Scorff (Haury, 1994) sont dominés par les batrachiides (*Ranunculus penicillatus* ssp. *penicillatus*, *Callitriche hamulata*, *C. obtusangula*, *C. platycarpa*), des myriophyllides (*Myriophyllum alterniflorum*), une magnopotamide (*Potamogeton alpinus*), avec un tapis flottant de lemnides (*Lemna minor*), ainsi que des phragmitides (*Phalaris arundinacea*) et oenanthides (*Oenanthe crocata*) qui colonisent les haut-fonds ; en bordure, des éléments de cressonnières comme *Apium nodiflorum* appartiennent aussi aux oenanthides (Adam, 2000 ; Haury, 1985). Au vu des relevés des cryptogames (utilisés par Haury *et al.*, 2006), les algues filamenteuses des rochers appartiennent aux hildenbrandides (*Hildenbrandia* sp.) et aux lemanéides (*Lemna* gr. *fluviatile*), et celles qui se développent en périphyton sont des vauchérides (*Vaucheria* sp.). Pour les bryophytes assez nombreuses, on trouve

des fontinalides (*Fontinalis antipyretica* et *F. squamosa*), des amblystégides (*Amblystegium riparium*, *A. fluviatile*, *Rhynchostegium riparioides*), des scapanides (*Scapania undulata*, *Chiloscyphus polyanthus*, *Scapania undulata*, *Porella pinnata*) et même une aneuride (*Riccardia multifida*).

Conclusion : voies et questions de recherche, relations avec les autres approches sur les macrophytes

Pour tous les groupes de macrophytes évolués, il reste bien des questions de taxonomie, notamment en raison des hybrides, probablement beaucoup plus fréquents qu'en témoigne la littérature. Les inventaires sont encore souvent très incomplets, et il serait intéressant d'arriver à établir des listes commentées des macrophytes de France. Une flore synthétique, exhaustive et bien illustrée sur l'ensemble des macrophytes décrits au stade végétatif reste à établir pour la France. Par ailleurs, il persiste des doutes de détermination, soulignés par les auteurs locaux, par exemple sur les formes intermédiaires de renoncules, entre *Potamogeton alpinus* et *P. gramineus*... Il s'avère par ailleurs important de considérer les popula-

tions pour examiner la variabilité morphologique intra-spécifique. Les travaux sur les accommodats d'émergence ou d'immersion seraient à reprendre pour comprendre comment les individus s'adaptent aux variations de leur environnement.

Des précisions sur l'écologie des espèces sont à acquérir, ne serait-ce que pour faire évoluer les indices (cf. dans ce même numéro : Trémolières et al. [p. 63 à 77] ; Haury et al. [p. 79 à 90] ; Chauvin et al. [p. 91 à 108]), en complétant les listes d'espèces indicatrices et en essayant de mieux discriminer leurs caractères bio-indicateurs.

La description morpho-structurale, défendue tout spécialement par Den Hartog (Den Hartog et

Segal, 1964 ; Den Hartog et Van Der Velde, 1988) est désormais dominante dans la description des tapis végétaux dans le Nord de l'Europe, plus spécialement chez les scientifiques qui étudient les lacs. Cette approche est incontournable pour développer les rôles fonctionnels des macrophytes dans les hydrosystèmes.

Au-delà des typologies éco-morphologiques, la mesure des traits biologiques permet de passer d'une vision descriptive à une analyse de causalité et de fonctionnalité des peuplements végétaux. □

Résumé

Les principaux caractères biologiques, taxonomiques et écologiques des lichens, bryophytes, fougères et plantes à fleurs aquatiques sont succinctement synthétisés. Un aperçu des milieux colonisés par ces macrophytes évolués est présenté. Les types éco-morphologiques correspondant à ces végétaux sont résumés dans un tableau récapitulatif.

Abstract

Main biological and ecological features of aquatic lichens, bryophytes, ferns and flowering plants are shortly summarized. An overview of the habitats colonized by these macrophytes is given. The different eco-morphological types of these macrophytes are presented in a synthetic table.

Bibliographie

- ABBAYES, H. (DES), CLAUSTRES, G., CORILLION, R., DUPONT, P., 1971, *Flore et végétation du Massif armoricain, I - Flore vasculaire*, Pres. univ. Bretagne, Saint-Brieuc, 1226 p.
- ADAM, B., 2000, *Macrophytes et piscicultures – Comparaison de méthodes de mise en évidence de pollutions ponctuelles : biomasses, composition chimique des végétaux, indices français et anglais*, mémoire de DESS Ingénierie des hydrosystèmes continentaux en Europe, Université de Tours, 80 p. + annexes.
- AFNOR, 2003, Norme Française NF T90-395, Octobre 2003 : Qualité de l'eau. Détermination de l'indice biologique macrophytique en rivière (IBMR), Association Française de Normalisation, Saint-Denis La Plaine, 28 p.
- AH-PENG, C., RAUSCH DE TRAUBENBERG, C., 2004, Bryophytes aquatiques bio-accumulateurs de polluants et indicateurs écophysologiques de stress : synthèse bibliographique, *Cryptogamie, Bryol.*, vol. 25, n° 3, p. 205-248.
- ANONYME, (Collectif ACTA) 1988, *Les plantes aquatiques : milieu aquatique, entretien, désherbage*, 4 volumes, ACTA éd., Paris, 60 p., 60 p., 44 p., 40 p.
- AUGIER, J., 1966, *Flore des Bryophytes*, Lechevalier Ed., Paris, 702 p.
- BAILLY, G., VADAM, J.-C., VERGON, J.-P., 2004, *Guide pratique d'identification des Bryophytes aquatiques*, ministère de l'Écologie et du Développement durable, DIREN Franche-Comté, Besançon, 157 p.
- BARBE, J., 1984, Les végétaux aquatiques – Données biologiques et écologiques. Clés de détermination des macrophytes de France, *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, vol. 57, n° spécial, p. 1-42.

CHATENET, P., BOTINEAU, M., 2001, Utilisation des lichens dans la mise en évidence des éléments-traces présents dans les cours d'eau, *Cryptogamie, Bryol.*, vol. 22, n° 3, p. 225-237.

CLAVERI, B., 1995, *Les Bryophytes aquatiques comme traceurs de la contamination métallique des eaux continentales*, thèse de doctorat, Université de Metz, 235 p.

CLAVERI, B., MORHAIN, E., MOUVET, C., 1994, A methodology for the assessment of accidental copper pollution using the aquatic moss *Rhynchostegium riparoides*, *Chemosphere*, vol. 28, n° 11, p. 2001-2010.

COOK, C.-D.-K., 1974, *Water plants of the world*, Junk publ., The Hague, 477 p.

CORILLION, R., 1994, La flore aquatique du Massif armoricain (espèces vasculaires) – Description et caractères généraux, *E.R.I.C.A., Cons. Bot. Nat. Brest*, vol. 5, p. 1-103.

COUDREUSE, J., HAURY, J., BARDAT, J., REBILLARD, J.-P., 2005, *Les Bryophytes aquatiques et supra-aquatiques – Clé d'identification pour la mise en œuvre de l'Indice Biologique Macrophytique en Rivière*, Agence de l'Eau Adour-Garonne, Toulouse, 132 p.

DANIEL, H., BERNEZ, I., HAURY, J., 2006, Relationships between macrophytic vegetation and physical features of river habitats : the need for a morphological approach, *Hydrobiologia*, vol. 570, p. 11-17.

DANIEL, H., HAURY, J., 1995, Effects of fish farms on phytocenoses in acidic rivers, *Acta Botanica Gallica*, vol. 142, n° 6, p. 639-650.

DANIEL, H., HAURY, J., 1996a, Écologie des macrophytes aquatiques d'une rivière armoricaine (le Scorff, Bretagne sud, France), application à la bioindication, *Écologie*, vol. 27, n° 4, p. 245-256.

DANIEL, H., HAURY, J., 1996b, Les macrophytes aquatiques : une métrique de l'environnement en rivière, *Cybium*, vol. 20, n° 3, suppl., p. 123-136.

DEN HARTOG, C., SEGAL, S., 1964, A new classification of the water plant communities, *Acta Bot. Neerl.*, vol. 13, p. 367-393.

DEN HARTOG, C., VAN DER VELDE, G., 1988, Structural aspects of plant communities, in : *Vegetation of Inland Waters*, SYMOENS, J.-J., ed., Kluwer Ac. Publ., Dordrecht. p. 113-153.

DUSSART, B., 1960, *Limnologie*, Ed. Gauthier-Villars, Paris, 676 p.

DUTARTRE, A., HAURY, J., PLANTY-TABACCHI, A.-M., 1997, Introduction de macrophytes aquatiques et riverains dans les hydrosystèmes français métropolitains : essai de bilan, *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, vol. 344-345, p. 407-426.

EMPAIN, A., LAMBINON, J., MOUVET, C., KIRCHMAN, R., 1980, Utilisation des Bryophytes aquatiques et subaquatiques comme indicateurs biologiques de la qualité des eaux courantes, in : *La pollution des eaux continentales – Incidences sur les biocénoses aquatiques*, PESSON, P. (ed.), 2^e éd., p. 195-223, Gauthier-Villars, Paris.

FARE, A., DUTARTRE, A., REBILLARD, J.-P., 2001, *Les principaux végétaux aquatiques du Sud-Ouest de la France*, Agence de l'Eau Adour-Garonne, 190 p.

FOURNIER, P., 1947, *Les quatre flores de France*, Lechevalier, Paris, 1101 p.

GAUDILLAT, V., HAURY, J. (Eds.), coll. BARBIER, B., PESCHADOUR, F., 2002, *Cahiers d'habitats Natura 2000 – Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire. 3 : Habitats humides*, La Documentation Française, Paris, 457 p.

GÉHU, J.-M., MÉRIAUX, J.-L., 1981, Distribution et caractères phytosociologiques des Renoncules du sous-genre *Batrachium* dans le Nord de la France, *Bull. Soc. Bot. Fr., Lettres bot.*, vol. 130, n° 1, p. 57-67.

GRASMÜCK, N., 1994, *Les végétaux aquatiques des cours d'eau de Lorraine : typologie floristique et écologique - Contribution à l'étude de l'autoécologie des espèces de la flore aquatique lorraine*, thèse de doctorat Écologie, Université de Metz, 2 vol., 240 p. + 220 p.

GRASMÜCK, N., HAURY, J., LÉGLIZE, L., MULLER, S., 1995, Assessment of the bioindicator capacity of aquatic macrophytes using multivariate analysis, *Hydrobiologia*, vol. 300-301, p. 115-122.

GRILLAS, P., LE CLAINCHE, N., YAVERCOVSKI, N., 2002, 3170 : Mares temporaires méditerranéennes, in : *Cahiers d'habitats Natura 2000 – Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire. 3 : Habitats humides*, GAUDILLAT, V, HAURY, J., (Eds.), coll. BARBIER, B., PESCHADOUR, F., La Documentation Française, Paris, p. 139-154.

HASLAM, S.-M., 1978, *River plants*, Cambridge University Press, Cambridge, 396 p.

HASLAM, S.-M., SINKER, C.-A., WOLSELEY, P.-A., 1975, British water plants, *Field Stud.*, vol. 4 p. 243-351.

HAURY J., 1985, *Étude écologique des macrophytes du Scorff (Bretagne-Sud)*, thèse de doctorat Ingénierie et Écologie, Université de Rennes I, 243 p.

HAURY, J., 1989, Macrophytes du Trieux (Bretagne-Nord) : II : Analyse des relations espèces-milieu physique par la méthode des profils écologiques, *Bull. Soc. Sc. nat. Ouest de la France, Nouv. Sér.*, vol. 11, n° 4, p. 193-207.

HAURY, J., 1990, Macrophytes du Trieux (Bretagne-Nord) : III : Relations macrophytes-qualité des eaux, *Bull. Soc. Sc. nat. Ouest de la France, Nouv. Sér.*, vol. 12, n° 4, p. 141-154.

HAURY, J., 1992, Les types éco-morphologiques des macrophytes – Intérêt pour la description et la compréhension de la végétation des cours d'eau, in : *15^e Conf. Int. COLUMA – Ann. A.N.P.P.*, Versailles 2-4 Décembre 1992, III, p. 1039-1047.

HAURY, J., 1994, Les associations macrophytiques vasculaires en tant que descripteurs des caractéristiques d'habitat des cours d'eau à saumons : exemple du Scorff, in : *La Syntaxonomie et la Synsystème européenne, comme Base Typologique des Habitats*, GEHU, J.-M. (Ed), Colloq. Phytosociol, vol. 22, Bailleul 1993, Cramer ed., Berlin Stuttgart, p. 31-34.

HAURY, J., 1995, Patterns of macrophyte distribution within a Breton brook compared to other study scales, *Landscape and Urban Planning*, vol. 30, p. 239-248.

HAURY, J., 2002, 3260 : Rivières des étages planitiaire à montagnard avec végétation du *Ranunculion fluitantis* et du *Callitricho-Batrachion*, in : *Cahiers d'habitats Natura 2000 – Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire. 3 : Habitats humides*, GAUDILLAT, V, HAURY, J., (Eds.), coll. BARBIER, B., PESCHADOUR, F., La Documentation Française, Paris, p. 191-222.

HAURY, J., DUTARTRE, A., BINESSE, F., CODHANT, H., VALKMAN, G., 2001, Macrophyte biotypologies of rivers in Lozère, France, *Verh. Int. Ver. Theor. Angew. Limnol.*, Dublin, 1998 (Stüttgart, sept. 2001), vol. 27, n° 6, p. 3510-3517.

HAURY, J., PELTRE, M.-C., TRÉMOLIÈRES, M., BARBE, J., THIÉBAUT, G., BERNEZ, I., DANIEL, H., CHATENET, P., HAAN-ARCHIPOF, G., MULLER, S., DUTARTRE, A., LAPLACE-TREYTURE, C., CAZAUBON, A., LAMBERT-SERVIEN, E., 2006, A new method to assess water trophy and organic pollution - The Macrophyte Biological Index for Rivers (IBMR) : its application to different types of river and pollution, *Hydrobiologia*, vol. 570, p. 153-158 + suppl.

HOLMES, N.-T.-H., WHITTON, B.-A., 1977, The macrophytic vegetation of the River Tees in 1975 : observed and predicted changes, *Freshwat. Biol.*, vol. 7, p. 43-60.

JULVE, P., 1993, Synopsis phytosociologique de la France (Communautés de plantes vasculaires), *Lejeunia* N.S., n° 140, p. 1-160.

LACHAVANNE, J.-B., JUGE, R., PERFETTA, J., 1995, Structure des peuplements de macrophytes, in : *Limnologie*, POURRIOT, R., MEYBECK, M. (eds.), coll. Écol. 25, Masson Ed., Paris, p. 473-493.

LAMBINON, J., LANGHE (DE), J.-E., DELVOSALLE, J., DUVIGNEAUD, J., 1992, *Nouvelle flore de la Belgique, du Grand-Duché de Luxembourg, du Nord de la France et des régions voisines (Ptéridophytes et Spermatophytes)*, 4^e éd., Ed. Patrimoine du Jardin botanique national de Belgique, Meise, 1092 p.

- MÄKIRINTA, U., 1978, Ein neues ökomorphologisches Lebensformen-System der aquatischen Makrophyten, *J. Phycol.*, vol. 4, p. 446-470.
- MÉRIAUX, J.-L., (coord.), 2003, *Guide pratique de détermination des plantes aquatiques à l'état végétatif du bassin Artois-Picardie*, Agence de l'Eau Artois-Picardie, Douai, 93 p.
- MÉRIAUX, J.-L., GÉHU, J.-M., 1979, Modifications épharmoniques dans les groupements aquatiques et subaquatiques, in : *Assoziationskomplexe (Sigmeten)*, TÜXEN, R. (Ed.), éd. J. Cramer, Vaduz, p. 97-116.
- MERSCH, J, GUÉROLD, F., ROUSSELLE, P., PIHAN, J-C, 1993, Transplanted aquatic mosses for monitoring trace metal mobilization in acidified streams of the Vosges Mountains – France, *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, vol. 51, p. 255-259.
- MERSCH, J., KASS, M., 1994, La mousse aquatique *Fontinalis antipyretica* comme traceur de la contamination radioactive de la Moselle en aval de la centrale nucléaire de Cattenom, *Bull. Soc. Nat. Luxemb.*, vol. 95, p. 109-117.
- MOUVET, C, PATTÉE, E., CORDEBAR, C., 1986, Utilisation des mousses aquatiques pour l'identification et la localisation précise de sources de pollution métallique multiforme, *Acta Oecologica Applicata*, vol. 7, n° 1, p. 77-91.
- MOUVET, C., 1985, The use of aquatic Bryophytes to monitor heavy metals pollution of freshwaters as illustrated by case studies, *Verh. Int. Verein. Limnol.*, vol. 22, p. 2420-2425.
- MULLER, S., 1990, *Les végétaux aquatiques du bassin hydrographique français « Rhin-Meuse ». Liste commentée (répartition – phytosociologie – écologie) des espèces vasculaires*, Lab. Géobotanique Institut National Agronomique Paris et Lab. Écologie Univ. Metz, 45 p.
- OZENDA, P., CLAUZADE, G., 1970, *Les lichens – Étude biologique et flore illustrée*, Masson Ed., Paris, 801 p.
- PATON, J.-A., 1999, *The Liverwort flora of the British Isles*, Edit. harley Books, London, 626 p.
- PRESTON, C.-D., 1995, *Pondweeds of Great Britain and Ireland*, B.S.B.I. Handbook n° 8, Botanical Society of the British Isles, London, 352 p.
- RICH, T.-C.-G., JERMY, A.-C., 1998, *Plant crib 1998*, Botanical Society of the British Isles, London, 391 p.
- ROEK, U., TRÉMOLIÈRES, M., EXINGER, A., CARBIENER, R, 1991, 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, *Bull. Hydroécologie*, vol. 12, p. 95-109.
- SCHOTSMAN, D.-H., 1967, *Les Callitriches, espèces et taxa nouveaux d'Europe*, Lechevalier, Paris, 142 p.
- SELL, Y., 1965, Les plantes aquatiques au sens large : mise au point d'une classification écomorphologique, *Bull. Assoc. Philomat. Als. Lorr.*, vol. 12, p. 58-65.
- SMITH, A.-J.-E., 1980, *The moss flora of Britain and Ireland*, (2^e éd.), Cambridge Univ. Press, Cambridge, 706 p.
- SMITH, A.-J.-E., 1990, *The Liverworts of Britain and Ireland*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 362 p.
- SYMOENS, J.-J., HOOPER, S.-S., COMPÈRE, P. (eds.), 1982, *Studies on aquatic vascular plants*, Société Royale de Botanique de Belgique, Bruxelles, 424 p.
- THIÉBAUT, G., VANDERPOORTEN, A., GUÉROLD, F., BOUDOT, J-P., MULLER, S., 1998, Bryological pattern and streamwater acidification in the Vosges mountains (N-E France) : An analysis tool for the survey of acidification processes, *Chemosphere*, vol. 36, n° 6, p. 1275-1289.
- VANDERPOORTEN, A, THIÉBAUT, G, TRÉMOLIÈRES, M, MULLER, S., 2000, A model for assessing water mineralization and trophic level by using aquatic bryophyte assemblages in Eastern France, *Verh. Int. Ver. Theor. Angew. Limnol.*, Dublin, 1998, vol. 27, p. 807-810.
- WEBSTER, S.-D., 1988, *Ranunculus penicillatus* (Dumort) Bab. in Great Britain and Ireland, *Watsonia*, vol. 17, p. 1-22.