

SUIVI BIOLOGIQUE PAR LES MACROPHYTES AQUATIQUES DE LA QUALITÉ DES COURS D'EAU DE LA RÉSERVE DE BIOSPHERE VOSGES DU NORD-PFÄLZERWALD

Gabrielle THIÉBAUT, Cendrine GARBÉY & Serge MULLER¹

SUMMARY

The streams of the Man and Transboundary Biosphere Reserve of the Northern Vosges-Pfälzerwald were subjected to human activities. A monitoring of the water courses and of aquatic plants in 1995 and in 2000 showed an increase of the water trophic level and a decrease of rare protected species. The abundance of populations of the two *Elodea* species introduced in XIXth and XXth centuries increased in 2000. These two species have a high ability to store phosphorus, which alters ecosystem processes. A new monitoring of the streamwater will be set up to measure the biodiversity loss and the maintenance of our life-support system.

RÉSUMÉ

Les cours d'eau de la Réserve de Biosphère des Vosges du Nord-Pfälzerwald sont très sensibles aux perturbations. Un suivi de la qualité de l'eau et des espèces végétales en 1995 et 2000 a montré une amélioration du niveau trophique des cours d'eau, mais une régression des espèces protégées suite à la dégradation de la qualité de l'habitat. La surface de recouvrement des herbiers d'élodées, espèces introduites aux XIX^e et XX^e siècles, tend à augmenter en 2000. Ces espèces sont capables de mobiliser/relarguer des quantités élevées de phosphore dans leurs tissus, ce qui modifie le fonctionnement des cours d'eau. Un observatoire de la qualité des cours d'eau sera constitué afin d'étudier les risques d'érosion de la biodiversité et ses conséquences sur le maintien des écosystèmes.

INTRODUCTION

Le Parc Naturel Régional des Vosges du Nord abrite un patrimoine biologique et écologique d'un grand intérêt qui a conduit au classement de cette zone en Réserve de Biosphère par le Comité M.A.B. de l'U.N.E.S.C.O. en 1989. De nombreux sites bénéficient de mesures de protection réglementaires.

Les ruisseaux des Vosges du Nord sont colonisés par une flore acidiphile ou eury-ionique, oligotrophe à mésotrophe, rattachée au *Callitrichetum hamulatae* (Muller, 1990 ; Haury & Muller, 1991). Ils constituent un habitat d'intérêt communautaire au titre de la Directive Habitat Faune-Flore n°24.4 « eaux courantes à végétation flottante de renoncules des rivières submontagnardes ou planitiaires ».

Ces cours d'eau apparaissent toutefois sensibles à l'ensablement (Thiébaud-Goerge *et al.*, 2001), à l'acidification et à l'eutrophisation des eaux (Thiébaud & Muller, 1995 a,b, 1996, 1999 ; Thiébaud *et al.*, 1995). Une échelle de bioindication

¹ Université de Metz, UFR Sci FA, Laboratoire Biodiversité, Fonctionnement des Ecosystèmes. Equipe de Phytoécologie, 2 Avenue du Général Delestraint, F-57070 Metz. E-mail : thiebaut@sciences.univ-metz.fr

de l'eutrophisation fondée sur quatre groupements de macrophytes aquatiques notés « A à D » a ainsi été proposée (Muller, 1990 ; Thiébaud & Muller, 1995b, 1999 ; Thiébaud, 1997). Quatre niveaux de tolérance à l'acidification des groupements végétaux ont également été distingués en fonction du pH et de l'alcalinité (Thiébaud, 1997).

Ces perturbations anthropiques se traduisent par une modification de la structure et de la composition floristique et entraînent généralement une érosion de la biodiversité et le remplacement des espèces remarquables par des espèces banales ou par des espèces exotiques invasives. Ainsi, deux espèces originaires d'Amérique du Nord *Elodea canadensis* et *Elodea nuttallii* ont été observées dans les cours d'eau des Vosges du Nord (Thiébaud & Muller, 1996).

Les études menées sur la période 1995-2000 se sont organisées autour de deux approches : (1) évaluation de la qualité des cours d'eau par des analyses d'eau et un suivi des macrophytes aquatiques ; (2) effets des perturbations anthropiques sur la biodiversité végétale.

SITE D'ÉTUDE ET MÉTHODES

LA RÉSERVE DE BIOSPHERE

Situées dans le Nord-Est de la France, à cheval entre la Lorraine et l'Alsace et à proximité de l'Allemagne, les Vosges du Nord constituent la partie septentrionale du massif Vosgien. D'importantes forêts abritent les milieux naturels les plus remarquables tels que les tourbières ou les pineraies sur tourbe. Côté allemand dans le Naturpark Pfälzerwald, on retrouve les mêmes richesses biologiques. Ces deux Parcs ont d'abord été reconnus individuellement Réserves de Biosphère par l'UNESCO. Ils ont entamé une coopération en 1985 et ont ensuite fusionné en Réserve Transfrontalière de Biosphère Vosges du Nord-Pfälzerwald. Notre étude porte sur la partie française de ce territoire : les Vosges du Nord.

Le milieu physique

Le point culminant dans le Parc Naturel des Vosges du Nord atteint 581 m. L'altitude des interfluves est comprise entre 200 et 300 mètres. Les Vosges du Nord correspondent à la vaste zone d'affleurement des grès du Buntsandstein qui se prolonge dans le Palatinat et en Lorraine. Leur extension d'est en ouest ne dépasse guère 20 km. Vers l'ouest, les grès s'ennoient sous les formations plus récentes du Muschelkalk, tandis que leur terminaison orientale forme un escarpement au niveau de la faille vosgienne. Le grès vosgien est couronné par la dalle du Conglomérat principal.

Les ruisseaux de tête de bassin versant, traversant des tourbières, correspondent à des eaux à vitesse de courant faible. A mi-parcours, le débit augmente (0,3 à 0,4 m³/s) pour atteindre 0,5 à 0,6 m³/s au débouché dans la plaine.

Les mesures des précipitations et des températures indiquent une pluviométrie moyenne annuelle de 950 mm et une température moyenne annuelle de 8,7 °C. Le climat est continental à tendance océanique.

Valeur patrimoniale des ruisseaux

La liste des espèces végétales légalement protégées recense cinq espèces de macrophytes des eaux courantes (Muller, 1995). Parmi elles, présentes dans le ter-

ritoire des Vosges du Nord, *Potamogeton polygonifolius*, *Potamogeton alpinus*, *Myriophyllum alterniflorum* et *Oenanthe fluviatilis* figurent sur les listes d'espèces protégées en Alsace (arrêté du 28 juin 1993) et en Lorraine (arrêté du 3 janvier 1994). *Potamogeton x variifolius* était inscrit sur la liste des plantes protégées au niveau national de l'arrêté du 20 janvier 1982. Du fait de son caractère hybride, ce taxon n'a pas été retenu sur la nouvelle liste de 1995 (arrêté du 31 août 1995), mais le site où il est présent fait l'objet d'un Arrêté de Protection du Biotope.

EVALUATION DE LA QUALITÉ DES COURS D'EAU

Des campagnes physico-chimiques annuelles ont été réalisées au printemps, en été et en automne 1995 et 2000. Les principaux paramètres physico-chimiques mesurés sont :

- le pH, la conductivité, l'alcalinité
- les anions principaux (chlorures, sulfates, nitrates par chromatographie ionique à l'aide d'un chromatographe Dionex)
- l'azote ammoniacal $N-NH_4^+$ (AFNOR : NF 90-015) et les orthophosphates (AFNOR : NF T 90-023)
- l'aluminium total par torche à plasma.

50 sites ont été étudiés en 1995. 26 stations supplémentaires ont été retenues en 2000.

Une analyse en composantes principales (ACP) a été effectuée sur les valeurs moyennes des variables physico-chimiques analysées en 2000. Une analyse de variance (test ANOVA) a été réalisée sur les valeurs moyennes des variables physico-chimiques des 50 sites afin de tester l'effet année.

EFFETS DES PERTURBATIONS SUR LA BIODIVERSITÉ

Suivi des espèces rares et protégées

Les cours d'eau des Vosges du Nord ont été prospectés en 1995 et 2000. Les espèces végétales protégées y ont été recherchées.

Suivi des espèces invasives

Les effets des changements de la biodiversité, suite à l'eutrophisation des eaux et à l'introduction d'espèces exotiques, sur le fonctionnement des cours d'eau ont été recherchés. L'étude a porté sur l'analyse de l'influence de la végétation (exotique et indigène) sur la charge en phosphore dans l'eau et le sédiment. La première étape a consisté à suivre la dynamique de colonisation des espèces introduites *Elodea nuttallii* et *E. canadensis* en 1995 et en 2000. La seconde étape eut pour objectif de mesurer la capacité à stocker du P des espèces exotiques par rapport aux espèces indigènes. Deux espèces d'élodées et trois espèces de callitriches (*Callitriche platycarpa*, *C. hamulata*, *C. obtusangula*) ont été prélevées sur 12 sites, au printemps, en été et en automne 1995 et 2000. En parallèle, des échantillons d'eau et de sédiment ont été récoltés. Le Phosphore Total a été dosé dans les sédiments et dans les plantes entières sur des échantillons secs, après une étape de digestion acide (AFNOR : NF T 90-023). Les orthophosphates ont été analysés dans l'eau (AFNOR : NF T 90-023). Des analyses de variance (tests non paramétriques de Kruskal-Wallis) ont été utilisés pour vérifier si l'accumulation du phosphore dans les tissus des plantes varie en fonction des années et/ou selon les espèces de macrophytes aquatiques.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

EVALUATION DE LA QUALITÉ DES EAUX

Les cours d'eau se répartissent en fonction de l'axe 1 ($\lambda_1 = 41,2\%$) qui correspond à un axe de minéralisation (conductivité et alcalinité) et de l'axe 2 ($\lambda_2 = 16,8\%$) défini par l'aluminium (Fig. 1).

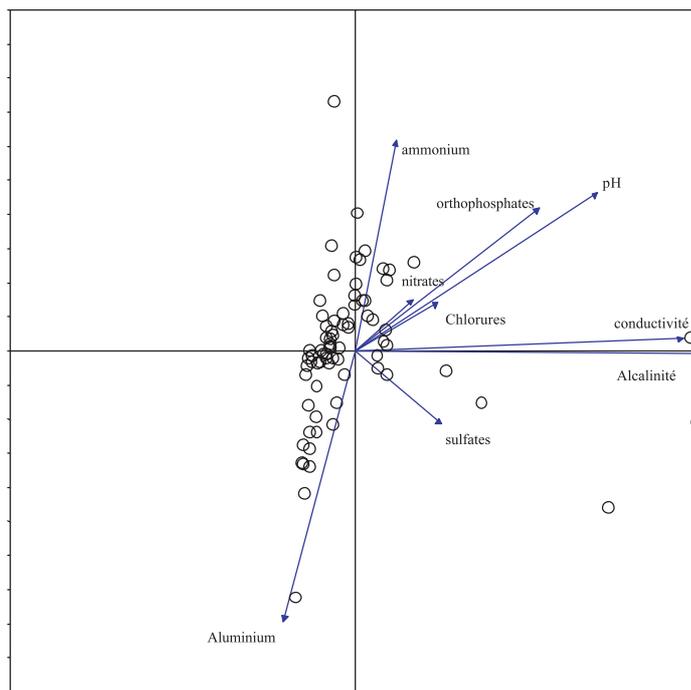


Figure 1. — Analyse en Composantes Principales des cours d'eau de la Réserve de Biosphère Vosges du Nord-Pfälzerwald (n = 76 stations).

Les cours d'eau des Vosges du Nord sont acides (pH = 4,5) à neutres (pH = 7,9), faiblement minéralisés (conductivité moyenne = 85 $\mu\text{S}/\text{cm}$), peu tamponnés à tamponnés (alcalinité comprise entre 0 et 300 $\mu\text{éq}/\text{l}$), oligotrophes à eutrophes ($[\text{P-PO}_4^{3-}]$: 6 à 345 $\mu\text{g}/\text{l}$; $[\text{N-NH}_4^+]$: 9 à 389 $\mu\text{g}/\text{l}$). Les stations de tête de bassin versant sont faiblement minéralisées et caractérisées par des faibles teneurs en nutriments. A l'aval, les eaux se chargent en minéraux et en nutriments et deviennent minéralisées et mésotrophes à eutrophes. Des stations acides, ayant perdu leur pouvoir tampon et avec des teneurs élevées en aluminium, ont été mises en évidence sur des secteurs amont.

Un effet année a été mis en évidence (test ANOVA, $p < 0.001$). Les teneurs en azote ammoniacal et en orthophosphates sont significativement plus faibles en 2000 (test ANOVA, $p < 0.05$). Les résultats, présentés dans le tableau I, indiquent que les teneurs en nutriments ont diminué en 2000 (2000 : $[\text{P-PO}_4^{3-}]$: 43 $\mu\text{g}/\text{l}$; $[\text{NNH}_4^+]$: 53 $\mu\text{g}/\text{l}$; 1995 : $[\text{P-PO}_4^{3-}]$: 64 $\mu\text{g}/\text{l}$; $[\text{NNH}_4^+]$: 96 $\mu\text{g}/\text{l}$).

TABLEAU I

Valeurs moyennes des variables physico-chimiques mesurées en 1995 et en 2000
(n = 50 sites, 3 campagnes par année)

	pH	Conductivité μS/cm	Alcalinité μéq/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	NNO ₃ ⁻ mg/l	NNH ₄ ⁺ μg/l	PPO ₄ ³⁻ μg/l	Al μg/l
1995	6,5	65	250	10,42	4,62	0,53	96	64	105
2000	6,4	69	249	9,66	5,23	0,39	53	43	90

EFFETS DES PERTURBATIONS SUR LA BIODIVERSITÉ

Suivi des espèces rares et protégées

Le suivi des espèces végétales aquatiques protégées montre une diminution du nombre de stations à *M. alterniflorum*, à *P. alpinus* et à *O. fluviatilis* depuis 1995. Les populations de *P. polygonifolius* et de *P. x variifolius* se maintiennent (Tab. II).

TABLEAU II

Nombre de sites à *M. alterniflorum*, *O. fluviatilis*, *P. polygonifolius*, *P. alpinus* et *P. x variifolius* dans les cours d'eau des Vosges du Nord, inventoriés en 1995 et en 2000

	1995	2000
<i>M. alterniflorum</i>	3	1
<i>O. fluviatilis</i>	6	3
<i>P. polygonifolius</i>	32	30
<i>P. alpinus</i>	1	0
<i>P. x variifolius</i>	3	3

Suivi de la dynamique de colonisation des élodées

Dans les eaux courantes des Vosges du Nord, les deux espèces d'élodées se développent habituellement en compagnie de callitriches (*C. hamulata*, *C. platycarpa*, *C. obtusangula*), de renoncules aquatiques *Ranunculus peltatus*, ainsi que d'espèces rares (*Oenanthe fluviatilis* et *P. x variifolius*). Sur les 50 sites prospectés en 1995 et en 2000, *E. nuttallii* et *E. canadensis* sont présents sur 8 stations. En 2000, *E. canadensis* n'a pas été retrouvé sur une station colonisée par des herbiers denses de *R. peltatus*, mais il a été observé sur une autre station. Les deux espèces d'élodées *E. canadensis* et *E. nuttallii* n'ont été relevées ensemble que sur trois stations en 1995 et en 2000.

La distribution des deux espèces d'élodées en fonction de la trophie montre qu'*Elodea nuttallii* se trouve davantage dans les eaux mésotrophes qu'eutrophes, alors qu'*E. canadensis* est davantage représenté dans les eaux eutrophes (Fig. 2).

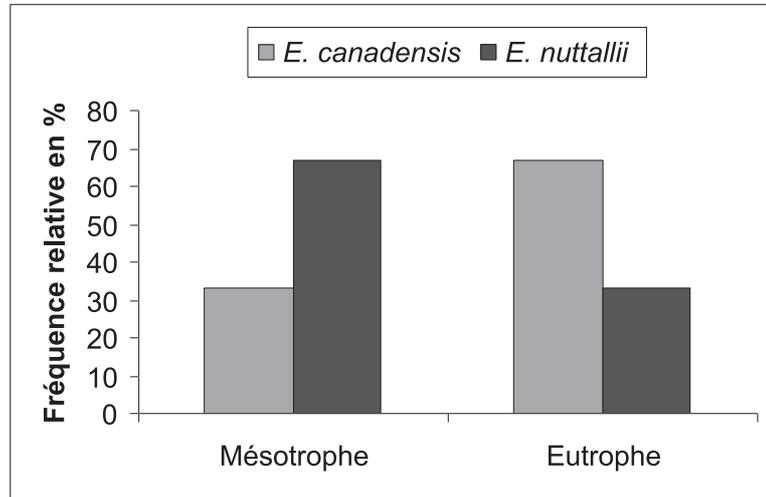


Figure 2. — Répartition des élodées en fonction du niveau trophique des 8 stations. (Résultats campagne 2000). Mésotrophe : $[P-PO_4^{3-}] : 40 < x < 60 \mu\text{g/l}$; $[NNH_4^+] : 40 < x < 60 \mu\text{g/l}$; Eutrophe : $[P-PO_4^{3-}] > 60 \mu\text{g/l}$; $[NNH_4^+] > 60 \mu\text{g/l}$.

Depuis 1995, les populations se maintiennent. Toutefois, la surface de recouvrement des herbiers à *E. nuttallii* a tendance à augmenter, alors que celle des peuplements à *E. canadensis* semble diminuer.

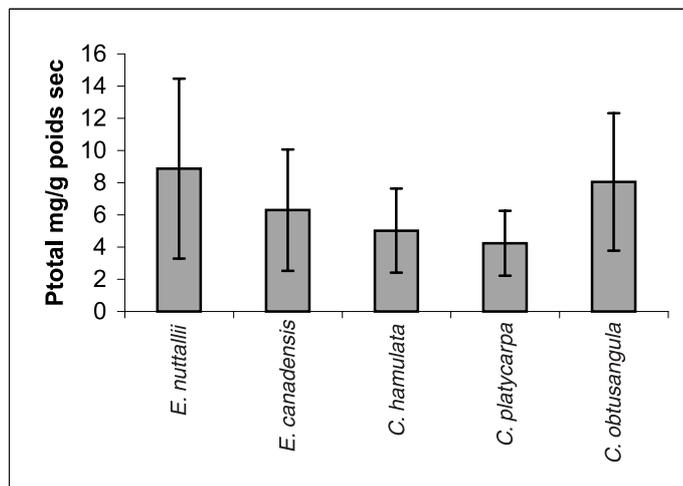


Figure 3. — Phosphore total dans 5 espèces de macrophytes aquatiques (valeurs moyennes calculées sur 6 campagnes).

Capacité des végétaux à stocker le P de l'eau et/ou du sédiment

Il existe des différences d'accumulation du phosphore selon les espèces (test ANOVA, $p < 0,001$). Aucune différence d'absorption du phosphore n'a été mise en évidence entre les 2 espèces d'élodées, ni entre les deux espèces de callitriches *C. platycarpa* et *C. hamulata* (Fig. 3). Les deux espèces exotiques d'élodées ont la même capacité à stocker du phosphore que *C. obtusangula*. En revanche, les 3 espèces de callitriches n'ont pas la même capacité à accumuler le phosphore (ANOVA Kruskal-Wallis, $p < 0,001$). *C. obtusangula* est celle qui en stocke le plus (ANOVA Kruskal-Wallis, $p < 0,001$).

Les concentrations en phosphore total mesurées dans les tissus des végétaux aquatiques sont significativement supérieures en 2000 (ANOVA Kruskal-Wallis, $p < 0,001$). Aucune différence significative des teneurs en phosphore total dans le sédiment n'a été mesurée entre 1995 et 2000 (test ANOVA Kruskal-Wallis).

DISCUSSION

EVALUATION DE LA QUALITÉ DES COURS D'EAU

Les cours d'eau se répartissent, en 2000, principalement en fonction de la minéralisation et secondairement en fonction des teneurs en aluminium. Ces paramètres demeurent constants au cours du temps.

Depuis 1995, la qualité trophique des cours d'eau a évolué. Les teneurs en azote ammoniacal et les concentrations en orthophosphates ont significativement diminué. Cette amélioration de la qualité trophique demande à être confirmée. En effet, les concentrations en minéraux dans les eaux sont liées aux conditions climatiques lors des prélèvements. Les paramètres hydrologiques peuvent expliquer l'importance des variations inter-annuelles. D'autres hypothèses peuvent également être proposées pour expliquer cette évolution de la qualité chimique des eaux :

- diminution des rejets domestiques et des piscicultures installées sur le secteur,
- mise en place de stations de lagunage efficaces,
- prélèvement de nutriments par les végétaux.

Les relations entre les végétaux et la qualité des eaux ont fait l'objet de nombreux travaux dans les Vosges du Nord (Muller, 1990 ; Thiébaud *et al.*, 1995 ; Thiébaud, 1997 ; Thiébaud & Muller, 1999). L'impact de cette évolution trophique des cours d'eau sur les communautés végétales, et sur les espèces protégées en particulier, mérite d'être étudiée de manière plus approfondie. Plusieurs questions se posent : (1) Cette amélioration de la qualité des eaux va-t-elle se maintenir ? Si oui, (2) Quelles sont les conséquences sur la biodiversité de ces changements trophiques ? (3) Ces derniers sont-ils favorables au maintien des espèces rares et protégées ? (4) Comment vont réagir les phytocénoses aquatiques à ces modifications des conditions trophiques ? Par des modifications dans leur structure et leur composition ? (5) Le phosphore ne risque-t-il pas de devenir le facteur limitant pour plusieurs espèces ? (6) Quels peuvent être les impacts sur le développement des espèces invasives ou sur les végétaux qui ont des exigences trophiques élevées ?

Suivi des espèces rares et protégées

Les stations de *Potamogeton polygonifolius*

Potamogeton polygonifolius est une espèce acidiphile oligotrophe, dont la distribution est encore assez étendue dans les Vosges du Nord et le Palatinat, où elle atteint la limite orientale de son aire de distribution.

Une prospection des ruisseaux a permis de retrouver la plupart des stations indiquées par Engel & Kapp (1964). Une station inédite a été découverte dans des ruisseaux faiblement acides oligotrophes en 2000. Sur la période étudiée, les stations à *P. polygonifolius* se sont maintenues (Tab. II). *Potamogeton polygonifolius* n'a pas été observé sur grès vosgien supérieur ou sur grès d'Annweiler, ni dans les eaux acides. Son absence pourrait être la conséquence de la faible alcalinité suite à l'acidification des eaux. Aux Pays-Bas, ce potamot serait incapable de survivre dans des eaux acidifiées (Arts *et al.*, 1990). La disparition de cette espèce pourrait être due à une toxicité de l'aluminium ou lié au pH bas (Thiébaud *et al.*, 2002). Cette espèce, caractéristique des cours d'eau oligotrophes ou oligo-mésotrophes, serait également sensible à l'eutrophisation des eaux (Thiébaud *et al.*, 2002).

La station de *Potamogeton alpinus* de la Zinsel du Nord

En 1964, Engel & Kapp signalaient plusieurs stations à *Potamogeton alpinus*. Malgré de nombreuses recherches, aucune de ces stations n'a pu être retrouvée ces dernières années. Présent sur une nouvelle station en 1995, il en a disparu en 2000, suite à des travaux sur la berge qui ont provoqué l'envasement du lit (Tab. II).

Les stations de *Potamogeton x variifolius* du Falkensteinbach

Cet hybride avait été mentionné, sous des noms différents, en plusieurs stations sur un seul cours d'eau, souvent en compagnie d'*Oenanthe fluviatilis* (Engel & Kapp, 1964 ; Kapp, 1967 ; Wolff, 1990). En 2000, ces petites populations se sont stabilisées sur la zone aval d'un cours d'eau (Tab. II). Il s'agit de la seule localisation connue de ce potamot en Europe centrale. Ce potamot se rencontre en compagnie d'herbiers denses de *C. platycarpa*, de *R. peltatus* et d'*E. nuttallii*.

Les stations de *Myriophyllum alterniflorum*

Cette espèce à aire subatlantique est très rare dans le massif Vosgien. Outre quelques localités dans les lacs des Hautes-Vosges (Gérardmer, Longemer, Retournermer), elle n'est mentionnée que dans le réseau hydrographique des Vosges du Nord, où elle est connue depuis Schultz (1846). Depuis 1990, *M. alterniflorum* a disparu de deux stations (Tab. II). Cette disparition s'explique certainement par la dégradation de l'habitat sur un site et par le développement d'herbiers très denses de *R. peltatus* et de *E. nuttallii* sur l'autre site. Considérée comme proliférante dans un étang de baignade, cette espèce y est faucardée.

Les stations d'*Oenanthe fluviatilis*

Cette espèce subatlantique, longtemps méconnue en Alsace, y a été découverte, aussi bien dans des eaux fortement carbonatées des rivières phréatiques du Ried que dans des eaux acides des rivières sur grès des Vosges du Nord (Issler & Walter, 1928). Cette espèce sensible à la pollution de l'eau a fortement régressé depuis 50 ans en plaine d'Alsace (Geissert *et al.*, 1985). En 2000, *O. fluviatilis* est présente sur moins de stations qu'en 1995 (Tab. II). Ces résultats demandent à être confirmés car cette espèce est difficilement observable lorsqu'elle ne fleurit pas. Toutefois, son abondance a diminué depuis 1995 dans les Vosges du Nord.

Les espèces rares malgré leur statut d'espèces protégées, ont tendance à régresser suite à la dégradation de l'habitat.

Suivi de la dynamique de colonisation des élodées

Entre 1995 et 2000, les populations d'élodées se sont maintenues dans les Vosges du Nord. Toutefois l'introduction de ces espèces invasives n'est pas sans conséquence sur les phytocénoses aquatiques. En effet, *Elodea nuttallii* entre en compétition avec des espèces indigènes (Thiébaud *et al.*, 1997) ou avec *Elodea canadensis* (Mériaux & Géhu, 1979 ; Thiébaud *et al.* 1997 ; Barrat-Segretain 2001, Tremp 2001). Ainsi, dans la Réserve Transfrontalière de Biosphère des Vosges du Nord-Pfälzerwald, quelques pieds d'*Elodea nuttallii* y étaient mélangés à des peuplements importants d' *E. canadensis* en 1993 sur un site. Fin 1995, la situation s'est pratiquement inversée (Thiébaud *et al.*, 1997) et persiste en 2000.

Capacité des végétaux à stocker le P de l'eau et/ou du sédiment

Les végétaux aquatiques stockent des minéraux, et en particulier du phosphore, dans leurs tissus afin d'assurer leur croissance végétative. Ce phosphore est prélevé dans l'eau ou/et dans les sédiments. Par conséquent, les développements importants de végétaux induisent une diminution temporaire des teneurs en nutriments dans les eaux et/ou le sédiment. Ceci est conforme à nos observations. En effet, les végétaux en 2000 ont stocké des teneurs de phosphore total nettement plus élevées qu'en 1995 dans leurs tissus. Parallèlement, les teneurs en nutriments dans les eaux ont diminué en 2000 par rapport à 1995. Cette capacité d'accumulation des nutriments et d'épuration des eaux est utilisée dans les stations de lagunage. La capacité épuratrice moyenne d'un écosystème aquatique est la résultante de paramètres biologiques (fixation du phosphore dans la biomasse végétale), physico-chimiques (adsorption, précipitation du P dans les sédiments) et hydrologiques (phénomènes de dilution du niveau trophique par apports d'eau de qualité supérieure). La capacité d'accumulation du phosphore présent dépend du type de plante, de son taux de croissance, de la charge en nutriments des eaux et enfin de l'environnement physico-chimique du végétal.

Les processus de réduction de la charge en phosphore dans un système aquatique ne sont pas des processus d'élimination du phosphore. Il s'agit plutôt de mécanismes de transfert du P d'un compartiment à l'autre (sédiment-eau, sédiment-plante, eau-plante) ou d'exportation vers l'aval, la charge totale du cours d'eau ne diminuant pas réellement. Cette réduction n'est donc que temporaire, le phosphore immobilisé dans la biomasse végétale étant massivement relargué à la fin de la saison de végétation, le phosphore adsorbé sur les colloïdes du sédiment étant susceptible d'être remobilisé. Les processus biologiques de réduction de la charge eutrophisante agissent en réalité davantage sur la disponibilité du phosphore dans le système que sur les quantités globales de phosphore (Barroin, 1991).

Les concentrations en phosphore total mesurées dans les tissus des macrophytes étudiés sont largement au dessus du seuil de 1,3 mg/g de poids sec établi par Gerloff & Krombholz (1966). Une espèce se développant préférentiellement dans les milieux eutrophes comme *C. obtusangula*, est capable de stocker des quantités élevées de phosphore interne disponible pour la plante. Cette aptitude lui confère la capacité à résister aux fluctuations temporelles de la charge phosphatée des milieux eutrophes. Elle peut également représenter un avantage compétitif pour les plantes et expliquer le développement des élodées. Ces dernières apparaissent comme capables d'utiliser au mieux les ressources nutritives limitées dans les milieux mésotrophes et cela au détriment éventuel des végétaux indigènes tels que *C. platycarpa* ou *C. hamulata*.

CONCLUSIONS

Ainsi, le suivi de la qualité des cours d'eau de la partie française de la Réserve de Biosphère Vosges du Nord-Pfälzerwald a mis en évidence une amélioration du niveau trophique des cours d'eau en 2000 par rapport à 1995. Cependant, le monitoring des espèces rares et protégées des ruisseaux a aussi montré une tendance à la régression de ces espèces suite à des dégradations de l'habitat (envasement, travaux sur berges). Ainsi l'amélioration de la qualité chimique n'est pas suffisante pour garantir la conservation des espèces protégées. Les peuplements d'élodées se développent, leurs herbiers formant des peuplements denses qui perturbent le fonctionnement des cours d'eau. De plus, ces végétaux exotiques possèdent une capacité élevée à stocker du phosphore dans leurs tissus, mécanisme leur procurant un avantage compétitif par rapport aux espèces indigènes, exception faite de *C. obtusangula*. L'impact de cette évolution de la qualité de l'eau sur les communautés végétales, fera l'objet d'un nouveau biomonitoring sur la période 2002-2006 dans le cadre du Programme « Eaux et milieux humides dans les Vosges du Nord ». L'objectif de ce programme est de mettre en place un observatoire de la qualité des cours d'eau et un suivi à long terme de la qualité des ruisseaux et des espèces protégées. Pour cela, l'impact des modifications de la qualité des eaux sur la structure et la composition des phytocénoses aquatiques sera recherché. Le rôle des paramètres environnementaux sur le développement des espèces rares et/ou phares (*P. polygonifolius*, *E. nuttallii* et *E. canadensis*) sera analysé. Aussi, des transplantations de *P. polygonifolius* seront réalisées et des traits biologiques seront pris en compte afin de tester l'impact de la minéralisation sur le développement du potamo. La dynamique de colonisation des cours d'eau et les stratégies adaptatives des élodées seront analysées. En particulier, l'étude des relations entre *E. nuttallii* et les espèces remarquables telles *Potamogeton x variifolius* a été proposée.

REMERCIEMENTS

Tous nos remerciements s'adressent au Parc Naturel Régional des Vosges du Nord, à la DIREN Alsace et à l'Agence de l'Eau pour le co-financement des programmes de recherche.

RÉFÉRENCES

- ARTS, G.H.P., ROELOFS, J.G.M. & DE LYON, M.J.H., (1990). — Differential tolerance among soft-water macrophyte species to acidification. *Can. J. Bot.*, 68: 2127-2134.
- ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION (AFNOR), (1990). — *Recueil de normes françaises. Eaux. Méthodes d'essais*, 4^e édition, Paris.
- BARRAT-SEGRETAIN, M.-H., (2001). — Invasive species in the Rhône River floodplain (France): replacement of *Elodea canadensis* Michaux by *E. nuttallii* St. John in two former river channels. *Arch. Hydrobiol.*, 152: 237-251.
- BARROIN, G. (1991). — La réhabilitation des plans d'eau. *La Recherche*, 238: 1412-1422.
- ENGEL, R. & KAPP, E. (1964). — Contribution à l'étude de la flore des Vosges du Nord - II *Potamogeton*. *Bull. Ass. Phil. Als. Lorr.*, 11: 309-324.
- GEISSERT, F., SIMON, M. & WOLFF, P. (1985). — Investigations floristiques et faunistiques dans le Nord de l'Alsace et quelques secteurs limitrophes. *Bull. Ass. Phil. Als. Lorr.*, 21: 111-127.
- GERLOFF, G.C. & KROMBOLZ, P.H. (1966). — Tissue analysis as a measure of nutrient availability for the growth of angiosperm aquatic plants. *Limnology and Oceanography*, 11: 529-537.

- HAURY, J. & MULLER, S. (1991). — Variations écologiques et chorologiques de la végétation macrophytique des rivières acides du massif Armoricaïn et des Vosges du Nord (France). *Revue des Sciences de l'eau*, 4: 463-482.
- ISSLER, E. & WALTER, E. (1928). — Une plante longtemps méconnue : *Oenanthe fluviatilis* (Babington) Coleman. *Bull. Soc. Bot. France*, 75: 68-73.
- KAPP, E. (1967). — Contributions à la connaissance de la flore d'Alsace et des Vosges. *Bull. Ass. Phil. Als. Lorr.*, 12: 237-255.
- MÉRIAUX, J.-L. & GÉHU, J.-M. (1979). — Réactions des groupements aquatiques et subaquatiques aux changements de l'environnement. Pp. 121-142, in: *Epharmonie 1979*. Tüxen, Cramer in der A.R Gantner Verlag Kommanditgesellschaft.
- MULLER, S. (1990). — Une séquence de groupements végétaux bioindicateurs d'eutrophisation croissante des cours d'eau faiblement minéralisés des Basses Vosges gréseuses du Nord. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 310: 509-514.
- MULLER, S. (1995). — Les espèces végétales légalement protégées dans la Réserve de la Biosphère des Vosges du Nord. *Ann. Sci. Rés. Biosph. Vosges du Nord*, 4: 33-43.
- SCHULTZ, F.W. (1846). — *Flora der Pfalz*. Speyer Reprint 1971, avec Préface du Dr N. Hailer, et Nachtrag. Pirmasens, Richter.
- THIÉBAUT, G. (1997). — *Effets des perturbations liées à l'eutrophisation et l'acidification des cours d'eau des Vosges du Nord sur les phytocénoses aquatiques. Approche spatio-temporelle et expérimentale*. Thèse de Doctorat de l'Université de Metz.
- THIÉBAUT, G. & MULLER, S. (1995a). — Nouvelles données relatives à la séquence de bioindication de l'eutrophisation dans les cours d'eau faiblement minéralisés des Vosges du Nord. *Acta Botanica Gallica*, 142: 627-638.
- THIÉBAUT, G. & MULLER, S. (1995b). — Apparition récente dans les Vosges du Nord de deux espèces proliférantes de macrophytes aquatiques : *Callitriche obtusangula* et *Elodea nuttallii*. XVI^e conférence du COLUMA « Journées Internationales de lutte contre les mauvaises herbes », Reims, 6-8 décembre 1995, *Actes du Colloque*, 3: 1411-1420.
- THIÉBAUT, G. & MULLER, S. (1996). — Répartition et écologie des macrophytes protégés *Potamogeton polygonifolius*, *P. alpinus*, *P. x variifolius*, *Myriophyllum alterniflorum*, *Oenanthe fluviatilis*, dans les ruisseaux de la Réserve de la Biosphère des Vosges du Nord. *Ann. Sci. de la Rés. Biosph. Vosges du Nord*, 5: 105-120.
- THIÉBAUT, G. & MULLER, S. (1999). — A macrophyte communities sequence as an indicator of eutrophication and acidification levels in weakly mineralised streams in North-Eastern France. *Hydrobiologia*, 410: 17-24.
- THIÉBAUT, G., GUÉROLD, F. & MULLER, S. (1995). — Impact de l'acidification des eaux sur les macrophytes aquatiques dans les eaux faiblement minéralisées des Vosges du Nord. Premiers résultats. *Acta Botanica Gallica*, 142: 617-626.
- THIÉBAUT, G., GIAMBERINI, L. & MULLER, S. (2002). — Can *Potamogeton polygonifolius* be considered as a bioindicator species of eutrophication and acidification in low mineral water? *Verh. Int. Verein. Theor. Angew. Limnol.* Sous presse.
- THIÉBAUT, G., ROLLAND, T., ROBACH, F., TRÉMOLIÈRES, M. & MULLER, S. (1997). — Quelques conséquences de l'introduction de deux espèces de macrophytes, *Elodea canadensis* Michaux et *Elodea nuttallii* St. John, dans les écosystèmes aquatiques continentaux : exemple de la Plaine d'Alsace et des Vosges du Nord (Nord-Est de la France). *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 344/345: 441-452.
- THIÉBAUT-GOERGE, F., LONJARET, E., SCHMITT, L. & TRAUTMANN, J. (2001). — *Etude du phénomène d'ensablement sur la Moder dans les Vosges du Nord*. Rapport ONF-CEREG.
- TREMP, H. (2001). — Standörtliche Differenzierung der Vorkommen von *Elodea canadensis* Michx. und *Elodea nuttallii* (Planch.) St. John in Gewässern der badischen Oberrheinebene. *Ber. Inst. Landschafts- Pflanzenökologie Univ. Hohenheim*, 10: 19-32.
- WOLFF, P. (1990). — *Potamogeton x variifolius* Thore dans les Vosges Septentrionales, plante nouvelle en Europe Centrale. *Bull. Ass. Phil. Als. Lorr.*, 25: 5-20.