

UNIVERSITE LOUIS PASTEUR de STRASBOURG

DOCUMENT



19727

**DIPLOME d'ETUDES APPROFONDIES
de
TOXICOLOGIE de l'ENVIRONNEMENT**

ETUDE DU TRANSFERT DU PHOSPHORE ENTRE LES TROIS
COMPARTIMENTS DE L'ECOSYSTEME AQUATIQUE :
EAU - PLANTE - SEDIMENT
EN CONDITIONS CONTROLEES DE LABORATOIRE.

Présenté par Stéphanie MERLIN

**INSTITUT DE BOTANIQUE
LABORATOIRE D'ÉCOLOGIE VÉGÉTALE**

1995

SOMMAIRE

INTRODUCTION

PROBLEMATIQUE

ETAT DES CONNAISSANCES

1 - L'élément phosphore

2- Le compartiment sédiment

3- Le compartiment eau

4- Les macrophytes

MATERIEL ET METHODES 9

1- Conditions expérimentales 9

1.1- Température 9

1.2- Eclairage 9

1.3- Aération 10

2- Matériel végétal utilisé	10
2.1- Description	10
2.2- Ecologie	10
2.3- Site de prélèvement	11
2.4- Acclimatation	11
3- Méthodes d'analyses	11
3.1- Dosage des ortho-phosphates solubles	11
3.2- Minéralisation des Elodées et du sédiment	12
3.3- Extraction du Phosphore adsorbé au sédiment	12
4- Protocole expérimental	12
4.1- Système sans renouvellement du milieu	12
4.1.1- Etablissement des durées d'expérimentation	12
4.1.2- Doses de Phosphore appliquées	13
4.1.3- Expériences sans sédiment	13
4.1.4- Expériences avec sédiment	14
4.2- Système avec renouvellement du milieu en continu	15
4.2.1- Expériences sans sédiment	15
4.2.2- Expériences avec sédiment	15

RESULTATS	16
1- Système sans renouvellement du milieu	16
1.1- Cinétique d'absorption des P-PO_4^{3-} dans l'eau	16
1.2- Phosphore total dans les tissus <i>d'Elodea nuttallii</i>	
1.3- Phosphore total et Phosphore extractible du sédiment	19
2- Système avec renouvellement du milieu en continu	19
DISCUSSION	21
1- Système sans renouvellement du milieu	21
1.1- Cinétique d'absorption des P-PO_4^{3-} de l'eau	21
1.2- Phosphore total dans les tissus <i>d'Elodea nuttallii</i>	22
1.3- Phosphore total et extractible du sédiment	23
2- Système avec renouvellement du milieu	23
CONCLUSION	25

INTRODUCTION

Dans les systèmes **lotiques** et lénitiques, il existe un lien privilégié entre la composition des communautés de macrophytes aquatiques et la trophie de l'eau - et en particulier la teneur en P-PO_4^{3-} dans l'eau -. Ainsi, une échelle de bioindication du degré trophique de l'eau par la végétation aquatique a été établie dans le réseau hydrographique phréatique de la plaine d'Alsace (Carbiener & Ortscheit 1987 ; Carbiener *et al* 1990 ; Robach *et al* 1991 ; Trémolières *et al* 1991 ; Eglin *et al* 1993). Cette échelle exprime un degré trophique croissant et correspond à une séquence phytosociologique de végétaux supérieurs composée de 6 communautés. On peut ainsi suivre les modifications trophiques d'un cours d'eau en établissant son diagnostic phytosociologique. Des études similaires ont été menées par Kohler (1971, 1975, **1982**), et Konold *et al* (1990) en Allemagne dans des eaux de géochimie neutre à carbonatée comme en Plaine d'Alsace, et en France dans des cours d'eau faiblement minéralisés (Basses Vosges) (Miller 1990).

De plus des études récentes (Shardendu & Ambasht 1991 ; Robach & Trémolières 1994) montrent qu'il existe sur le terrain une corrélation entre la charge phosphorée dans l'eau et la teneur en Phosphore total dans les tissus de certains macrophytes. Ces différentes études soulignent l'existence d'une relation entre le degré trophique de l'eau et le comportement des macrophytes aussi bien à l'échelle des individus qu'à celle des communautés, et suggèrent l'importance de la nutrition foliaire.

La littérature essentiellement anglo-saxonne met en évidence la prédominance de la nutrition racinaire sur la nutrition foliaire en milieu aquatique (Bole & Allan 1978 ; Barko & Smart 1980, 1981 ; Carignan & Kalff 1980 ; Gabrielson *et al* 1984). Cependant, ces résultats sont obtenus à partir d'expérimentations simplifiées de laboratoire et n'ont généralement pas fait l'objet de confrontation de terrain.

Au vu de ces différents résultats on peut se demander quelle est l'importance de l'absorption foliaire dans la nutrition phosphorée des macrophytes en milieu d'eau courante et d'une manière générale, comment s'effectuent les flux de Phosphore dans l'écosystème aquatique.

En nous inspirant des données de terrain recueillies dans le **réseau** hydrographique de la plaine d'Alsace, nous avons mis en place une expérimentation en conditions contrôlées de laboratoire permettant une reproduction de la compartimentation de l'écosystème. L'originalité de ce travail consiste à faire varier le degré trophique de l'eau dans un système comprenant les compartiments eau et sédiment isolés l'un de l'autre. Notre objectif est de vérifier qu'il y a absorption foliaire même lorsque la plante est enracinée et de tenter d'évaluer la part qui lui revient par rapport à l'absorption racinaire. Ce travail initie une approche écophysologique du principe de bioindication du degré trophique par les communautés végétales.

PROBLEMATIQUE

L'étude des flux de Phosphore dans l'écosystème aquatique passe par l'étude du compartiment "macrophyte" dont il est nécessaire d'évaluer les "entrées" et les "sorties".

* Concernant les "sorties", la principale source provient de la décomposition de la matière végétale elle-même, qui correspond plus à une dégradation du système qu'à une réelle "sortie". Les "sorties" sensu *stricto* sont les processus de relargage du Phosphore qui peuvent être observés notamment lors de blessure des tissus (De Marte & Hartman 1974), ou lors de phase d'excrétion, mais restent en quantité négligeables (Gentner 1977 ; Welsh & Benny 1979).

* Concernant les "entrées", elles dépendent du mode de nutrition phosphorée des macrophytes: foliaire **et/ou** racinaire.

Barko et Smart (1980, 1981) ont montré que 70 à 100 % du Phosphore prélevé provient du sédiment. Des études utilisant du Phosphore radiomarké (Bole & Allan 1978 ; Carignan & Kalff 1980 ; Gabrielson *et al* 1984) ont fourni des résultats similaires avec des durées d'exposition allant de quelques minutes (DeMarte & Hartman 1974) à plusieurs semaines (Carignan & Kalff 1980) et sur un grand éventail d'espèces mais la grande variabilité des conditions expérimentales limite grandement les possibilités de comparaisons inter-études. Ces travaux tendent d'une manière générale à montrer l'importance de l'absorption racinaire sur l'absorption foliaire mais les protocoles proposés sont essentiellement axés sur les relations entre macrophytes et sédiment. En effet, la charge trophique de l'eau dans ces expériences est fixée à des concentrations ne dépassant pas le niveau "**mésotrophe**" (0 à 50 **mg/l**). Ces études constituent donc une première étape dans la **compréhension** des flux de Phosphore au sein de **l'écosystème** mais ne peuvent pas **prétendre** les expliquer dans leur globalité.

Très peu d'études ont **été** consacrées à la nutrition foliaire des macrophytes. Les échelles de bioindication du niveau trophique de l'eau pour les plantes aquatiques mises au point par l'équipe de Carbiener dans les eaux alcalines (Carbiener & Ortscheit 1987 ; Carbiener *et al* 1990 ; Robach *et al* 1991 ; Trémolières *et al* 1991 ; Eglin *et al* 1993) et par Müller (1990) dans les eaux acides, nous conduisent à penser que l'absorption foliaire joue un rôle plus important que ne le suggèrent certains auteurs (Bole & Allan 1978 ; Barko & Smart 1980...). En effet, **DeMarte** et Hartman (1974), bien qu'ils étudient la prédominance de l'absorption

racinaire à l'aide de *Myriophyllum exalbescens*, utilisent *Elodea canadensis* non enracinée comme témoin du Phosphore contenu dans l'eau. Shardendu et Ambasht (1991) montrent, à l'aide d'analyses de régression que les teneurs en nutriments contenus dans les tissus des végétaux aquatiques (sauf l'**Azote**) sont en relation avec la teneur en nutriments dans l'eau. Ceci va dans le même sens qu'une étude de terrain menée récemment au sein de notre laboratoire qui met en évidence une relation de type logarithmique entre la charge phosphorée de l'eau et le Phosphore total contenu dans *Callitriche obtusangula*, *Elodea nuttallii* et *Elodea canadensis* (Robach & Trémolières 1994). Best et Mantai (1978) suivent un protocole intéressant mais malheureusement incomplet pour déterminer quelle est la source (sédiment ou eau) d'**Azote** et de Phosphore chez *Myriophyllum spicatum*. Dans un premier temps, ils étudient l'absorption foliaire de *Myriophyllum* non enracinée comparée à *Ceratophyllum demersum* (macrophyte quasiment dépourvu de racine) dans de l'eau différemment enrichie en Phosphore (**P-PO₄³⁻**) et en Azote (**N-NO₃⁻**). Ils montrent que les teneurs en Azote total dans les tissus sont plus élevées quand le milieu est enrichi à la fois en Azote et en Phosphore que lorsque le milieu est enrichi en Azote et carence en Phosphore. Il y a donc un effet de synergie. Cette expérimentation n'a cependant pas été complétée par des dosages du Phosphore total dans la plante. Ces auteurs ont par ailleurs constaté que la masse racinaire augmente lorsque le milieu est carence en **P-PO₄³⁻**. Ceci suggère que lorsque le milieu est carence en Phosphore, un phénomène de compensation se met en place pour augmenter l'absorption racinaire.

L'absorption foliaire semble jouer un rôle particulièrement important dans le processus de "consommation de luxe" (Rodhe 1948 in Fogg 1973) permettant aux organismes végétaux de stocker du Phosphore dans les tissus sous forme de polyphosphates lorsque le milieu est très chargé en Phosphore. Kramer *et al* (1972) suggèrent que ce mécanisme suit l'équation de **Michaelis-Menten** à savoir :

$$dNu'/dt = k Nu/(s+Nu)$$

avec :

Nu = concentration en nutriment dans l'eau

Nu'= nutriments assimilés

k = vitesse d'assimilation maximum (conditions expérimentales)

s = concentration en nutriments assimilés pour une vitesse = **k/2**

Ceci signifie que le mécanisme serait similaire à celui d'une cinétique enzymatique, dont le substrat serait la charge en nutriments dans l'eau.

Mais ce mécanisme n'a pas encore été mis en évidence expérimentalement sur les macrophytes.

Notre démarche consiste à étudier, en conditions contrôlées de laboratoire, l'importance de la nutrition foliaire par rapport à la nutrition racinaire chez une plante aquatique soumise à différents niveaux trophiques de l'eau. Deux séries d'expérimentations seront menées, l'une avec des concentrations définies de P-PO_4^{3-} ajoutées au début de l'expérience et sans renouvellement du milieu, et l'autre avec une alimentation continue en P-PO_4^{3-} .

L'intérêt d'une étude en conditions **contrôlées** est de pouvoir simplifier l'écosystème aquatique, de le subdiviser pour comprendre comment s'effectuent les flux de nutriments entre ces différents compartiments, tout en essayant de rester le plus proche possible des conditions du milieu naturel, sachant que la "propriété" d'un système écologique est de toute façon différente de la somme des "propriétés" qui le composent.

CONCLUSION

Les macrophytes jouent un grand rôle dans la circulation du Phosphore dans l'écosystème aquatique et peuvent être à ce titre, des marqueurs du niveau trophique de l'eau tant au niveau de la structure des communautés qu'au niveau des individus. Cette étude se penche sur les relations entre la charge phosphorée de l'eau et le macrophyte en tant qu'individu.

Afin d'étudier l'importance de l'absorption foliaire et de l'absorption racinaire dans la nutrition phosphorée d'*Elodea nuttallii*, nous avons effectué des expériences en conditions contrôlées de laboratoire en faisant varier la charge trophique de l'eau.

Dans un premier volet, la concentration initiale en ortho-phosphates dans l'eau n'est pas renouvelée et l'on effectue des expériences avec et sans sédiment. On observe alors que l'absorption foliaire est fonction de la charge phosphorée de l'eau mais elle est moins importante lorsque la plante est enracinée. ***Elodea nuttallii* utilise donc bien les deux modes de nutrition exogène : foliaire et racinaire, et l'absorption foliaire croît avec la concentration en $P-PO_4^{3-}$ de l'eau, que la plante soit enracinée ou non.**

Pourtant, les teneurs en Phosphore total dans les plantes enracinées sont inférieures à celles obtenue pour les plantes non enracinées. On peut donc supposer qu'elles stockent moins lorsqu'elles ont à leur disposition les deux sources de Phosphore : l'eau et le sédiment.

Dans un deuxième volet, nous avons maintenu constante la concentration en ortho-phosphates dans l'eau. On constate que l'*Elodée* non enracinée réagit de la même façon, quelles que soient les concentrations en $P-PO_4^{3-}$ dans l'eau. **On peut émettre l'hypothèse qu'il n'y a de relation entre les teneurs en Phosphore total des tissus et la charge phosphatée de l'eau que lorsque celle-ci fluctue.**

Les limites de la méthode de mesure utilisée et la présence de Phosphore en grande quantité dans les tissus végétaux et dans le sédiment en début d'expérience nous empêche de suivre précisément les flux de Phosphore entre les compartiments eau - plante aquatique - sédiment. Pour pouvoir effectuer un bilan des flux nous suggérons d'effectuer une étude similaire avec du Phosphore radiomarqué (^{32}P).