

**Cadre d'utilisation:**

Les résultats relatifs à la décomposition et aux flux de C sont pour l'instant seulement généralisables aux zones humides aquatiques permanentes, dont la matière organique provient majoritairement des plantes aquatiques présentes sur le site. L'impact de matière organique allochtone n'a pas été mesuré, mais on peut faire l'hypothèse que la vitesse de dégradation de cette matière organique pourrait elle aussi être plus faible dans les milieux oligotrophes.

**Références:**

- Bastviken, D., Tranvik, L.J., Downing, J.A., Crill, P.M. & Enrich-Prast, A. 2011. Freshwater Methane Emissions Offset the Continental Carbon Sink. *Science* 331: 50.
- del Giorgio, P. & Williams, P. 2005. *Respiration in Aquatic Ecosystems*. Oxford University Press.
- Duarte, C.M. 1995. Submerged aquatic vegetation in relation to different nutrient regimes. *Ophelia* 41: 87-112.
- Enriquez, S., Duarte, C.M. & Sand-Jensen, K. 1993. Patterns in decomposition rates among photosynthetic organisms - the importance of detritus C-N-P content. *Oecologia* 94: 457-471.
- Garnier, E. & Laurent, G. 1994. Leaf anatomy, specific mass and water-content in congeneric annual and perennial grass species. *New Phytologist* 128: 725-736.
- Grime, J.P. 2001. *Plant strategies, vegetation processes, and ecosystem properties*. Wiley.
- Khan, F.A. & Ansari, A.A. 2005. Eutrophication: An ecological vision. *The Botanical Review* 71: 449-482.

**Eutrophisation des zones humides : conséquences pour la qualité, la décomposition des plantes aquatiques et les flux de carbone****Résumé :**

L'eutrophisation est une des principales menaces pesant sur les écosystèmes aquatiques. Ce projet a pour objectifs de déterminer le rôle de l'eutrophisation, et plus spécifiquement de la concentration en phosphore total, sur 1) la composition chimique des communautés végétales aquatiques, 2) leur décomposition et 3) les flux de C dans les zones humides.

1- Trois espèces aquatiques représentatives des trois stratégies adaptatives de Grime (*i.e.* - compétitive, rudérale et stress tolérante) ont été collectées dans des zones humides distribuées le long d'un gradient de concentration en phosphore. Les espèces compétitives et rudérales ont une concentration en lignine significativement plus faible que l'espèce stress tolérante. Pour une même espèce, la teneur en eau augmente avec la concentration en phosphore de l'habitat et l'allocation en composés carbonés (amidon et/ou lignine) varie également significativement, mais dans un sens différent suivant l'espèce

2- La vitesse de décomposition des plantes aquatiques est fortement corrélée à leur composition chimique, et les espèces rudérales et compétitives se décomposent plus vite, d'autant plus si elles se sont développées dans des sites riches en nutriments.

3- Dans les milieux eutrophes, le type de communautés végétales est corrélé à l'intensité des émissions de CH<sub>4</sub> et de CO<sub>2</sub> mesurées pendant la journée. Les émissions de méthane sont plus élevées dans les milieux eutrophes car la quantité de litières produite est plus importante, et ces litières se décomposent probablement plus vite. D'autre part, les espèces flottantes majoritaires dans ces milieux favorisent les conditions anoxiques, en particulier dans le cas d'une colonisation par des macroalgues.

Le niveau d'eutrophisation régit la dynamique du carbone dans les zones humides. Il est donc un paramètre clé pour la gestion de ces milieux vis à vis du recyclage du carbone. Ce document propose des outils afin d'évaluer la dynamique du carbone dans les zones humides ainsi qu'une typologie en fonction de leur niveau de trophie.

**Contexte :**

L'eutrophisation altère donc le fonctionnement des zones humides en diminuant leur biodiversité, en simplifiant leurs chaînes trophiques (Duarte, 1995 ; Khan & Ansari, 2005), et en compromettant leur fonction de puits de carbone (Del Giorgio & Williams, 2005). Si l'on connaît les principales altérations résultant de l'eutrophisation d'un écosystème, on ignore les valeurs seuils au-delà desquelles l'écosystème perd ses caractéristiques fonctionnelles (e.g. vitesse de décomposition des litières végétales, émissions de CO<sub>2</sub> et de CH<sub>4</sub>) ainsi que les différents types fonctionnels rencontrés vis-à-vis du cycle du carbone (*i.e.* la dynamique du C dans des écosystèmes de trophie contrastée).

**Contacts :**

**Contact Agence de l'Eau :** Stephane.STROFFEK@eaurmc.fr

**Porteurs du projet :** Gudrun Bornette ([gudrun.bornette@univ-fcomte.fr](mailto:gudrun.bornette@univ-fcomte.fr)) ; Charlotte

Grasset ([charlottemjgrasset@gmail.com](mailto:charlottemjgrasset@gmail.com)) ; Cécile Delolme

([cecile.delolme@entpe.fr](mailto:cecile.delolme@entpe.fr)).

## Objectifs:

L'objectif de ce travail a donc été de mesurer l'impact de l'eutrophisation sur la production végétale, sa décomposition et les flux de carbone (C) associés à la décomposition de la matière organique dans les zones humides.

Pour atteindre cet objectif, les paramètres abiotiques liés à l'eutrophisation (N, P) ont été reliés à :

- la production végétale (biomasse, composition chimique)
- la vitesse de décomposition de la matière organique produite et
- les conséquences pour les flux de carbone (émissions de CO<sub>2</sub> et CH<sub>4</sub>)

Ce projet a été organisé en trois volets complémentaires menés successivement (Figure 1). A partir d'une sélection de zones humides rangées le long d'un gradient de trophie, nous avons déterminé dans quelle mesure la qualité du végétal (partie 1) et sa vitesse de décomposition (partie 2) pouvaient être reliées à l'espèce, et aux conditions environnementales dans lesquelles elle s'est développée. Nous avons ensuite relié ces éléments aux émissions de CO<sub>2</sub> et CH<sub>4</sub> mesurées dans les zones humides sélectionnées (partie 3).

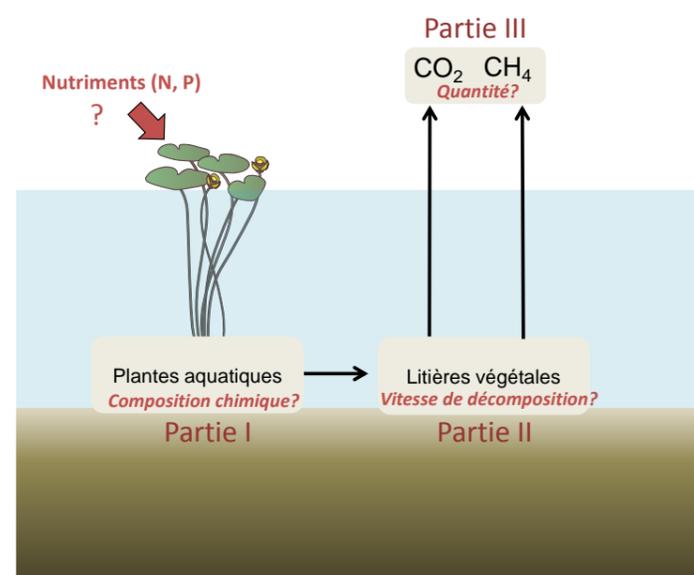


Figure 1 : Relations entre les trois principales questions posées dans ce projet.

## Intérêt opérationnel:

L'utilisation des « litter bags » *in situ* apparaît comme un outil efficace et relativement simple afin d'évaluer le turnover du carbone dans les zones humides. La décomposition du carbone dans les zones humides, fonctionnant comme des puits de C, devrait être lente et les espèces végétales seront réfractaires à la décomposition alors que la décomposition dans les zones humides fonctionnant comme des sources de carbone devrait être rapide et le matériel végétal sera très dégradé. Nous obtenons une corrélation positive entre niveau de trophie de la zone humide et vitesse de décomposition du matériel végétal.

A titre de comparaison, nous obtenons les valeurs suivantes sur les feuilles et tiges de plantes aquatiques non séchées :

Table 1. Pertes de masses obtenues (% de perte de masse au bout de 15 jours) dans la présente étude, i.e. espèces stress tolérantes ou rudérales développées et mises à décomposer en milieu oligotrophe vs espèces rudérales ou compétitives développées et mises à décomposer en milieu eutrophe.

	Perte de masse au bout de 15 jours (%) ± écart-type	
	milieu oligotrophe (sol TP<100 g/m <sup>3</sup> )	milieu eutrophe (sol TP>600 g/m <sup>3</sup> )
espèce stress tolérante	7 (N=1)	-
espèce compétitive		55 ± 13 (N=2)
espèce rudérale	10 ± 7 (N=2)	70 ± 19 (N=2)

D'autre part, cette étude nous a permis d'obtenir des valeurs des émissions de carbone dans les zones humides alluviales du bassin du Rhône. Un bilan total de carbone sur 24h ne peut être fait puisque les mesures ont été effectuées pendant la journée, lorsque la photosynthèse contrebalance en partie au moins les émissions totales de CO<sub>2</sub>. Si l'on effectue le bilan pendant la journée, les sites eutrophes émettent moins de carbone que les sites oligotrophes et mésotrophes, même si l'on prend en compte le potentiel d'effet de serre du méthane qui est 23 fois plus élevé que celui du CO<sub>2</sub>, i.e. ceci correspond aux émissions totales de C en CO<sub>2</sub> équivalent (eq) (Bastviken et al., 2011, Table 2). Cependant, il est très probable que les émissions de C des sites eutrophes dépassent celles des sites oligotrophes et mésotrophes si l'on additionne les émissions pendant la nuit. En effet, dans les sites eutrophes, la forte productivité végétale qui a pour effet de diminuer fortement les flux de CO<sub>2</sub> en journée, sera une source importante de CO<sub>2</sub> par respiration pendant la nuit. D'autre part, dans les situations étudiées, les milieux oligotrophes sont plus fortement alimentés par des eaux souterraines que les milieux eutrophes. Or ces eaux souterraines calcaires semblent être une source importante de CO<sub>2</sub> pour les sites oligotrophes étudiés. Dans notre cas, il est donc plus judicieux de se baser sur les différences d'émission de méthane entre sites pour mesurer l'effet de l'eutrophisation, car ce paramètre est indépendant de l'alcalinité du milieu. Les zones humides sont globalement désignées comme des sources importantes de méthane, cependant de grandes disparités sont observées en fonction de la trophie des zones humides. Ce résultat souligne donc l'importance de prendre en compte le niveau de trophie dans l'estimation des émissions de méthane par les zones humides.

Table 2 : Emissions mesurées pendant la journée de C-CO<sub>2</sub>, C-CH<sub>4</sub> et émissions totales de C mesurées dans les 6 sites.

Site	C-CO <sub>2</sub> g.m <sup>-2</sup> .an <sup>-1</sup>	C-CH <sub>4</sub> g.m <sup>-2</sup> .an <sup>-1</sup>	Emissions totales de C g.m <sup>-2</sup> .an <sup>-1</sup>	Emissions totales de C en eq CO <sub>2</sub> g.m <sup>-2</sup> .an <sup>-1</sup>	surface du site (km <sup>2</sup> )	Emissions de C-CH <sub>4</sub> totale par site kg.an <sup>-1</sup>
1 (SBR-M)	609.8	8.7	618.5	682.9	2.1	18372
2 (VIL-M)	1111.3	0.4	1111.8	1115.1	1.8	809
3 (VIL-V)	777.3	7.6	784.9	841.1	5.0	38168
4 (SBR-V)	611.3	8.7	619.9	683.7	2.8	24231
5 (EMC)	252.0	16.2	268.1	387.2	7.8	126128
6 (PLA-V)	414.6	24.0	438.5	614.9	6.8	162920

## Principaux résultats:

Le premier volet démontre que les trois espèces aquatiques sélectionnées, *Berula erecta*, *Nuphar lutea* et *Juncus articulatus* ont des compositions chimiques différentes, et répondent différemment à la teneur en nutriment de l'écosystème. Les espèces compétitives et rudérales étudiées ont une concentration en lignine et un ratio C/N significativement plus faible que l'espèce stress tolérante. Cette différence peut être expliquée par leur stratégie adaptative au sens de Grime (2001). En effet, l'espèce stress-tolérante allouant

ses réserves à la conservation des tissus, une teneur élevée en lignines permettrait de rendre les tissus plus résistants et longévifs. Le ratio C/N plus élevé indique quant à lui une faible dégradabilité des tissus (Enriquez 1993).

Par ailleurs, pour chacune des trois espèces, les individus provenant des milieux eutrophes présentent une teneur en eau plus élevée que ceux provenant de sites oligotrophes ou mésotrophes. Pour les trois espèces étudiées, la concentration en composés carbonés varie également significativement avec la teneur en nutriments de l'écosystème elles se sont développées, mais la relation est positive ou négative selon l'espèce. La concentration en amidon des tissus végétaux diminue avec la concentration en phosphore de la zone humide pour les deux espèces compétitive et rudérale. La teneur en lignines augmente avec la concentration en phosphore de la zone humide pour l'espèce compétitive et diminue pour l'espèce stress tolérante. Le rapport C/N diminue également avec la concentration en phosphore de la zone humide pour l'espèce stress tolérante. La diminution des lignines et du rapport C/N avec la concentration en phosphore de l'habitat pour l'espèce stress tolérante pourrait indiquer une plus faible résistance des tissus des individus lorsqu'ils poussent dans des milieux eutrophes. De même, l'augmentation de la teneur en eau avec la trophie pour les trois espèces pourrait augmenter leur dégradabilité car la teneur en eau est corrélée à la densité des tissus (Garnier & Laurent, 1994) et elle augmente l'accessibilité microbienne.

La deuxième partie de ce travail démontre que les espèces rudérale et compétitive étudiées se décomposent plus rapidement que l'espèce stress-tolérante, et ce d'autant plus lorsqu'elles se sont développées dans des sites riches en nutriments.

Cette plus grande vitesse de décomposition des plantes ayant poussé dans les habitats eutrophes est probablement liée en premier lieu à l'augmentation de la teneur en eau des individus. La plus grande vitesse de décomposition des plantes dans les sites eutrophes est également liée aux facteurs externes, mais dans une moindre mesure. Les facteurs «externes» qui pourraient expliquer cette plus grande vitesse de décomposition dans les sites eutrophes sont une plus grande abondance ou activité des communautés de décomposeurs. Pour l'espèce stress tolérante, la vitesse de décomposition n'augmente cependant ni avec la trophie de l'habitat de collection de la plante, ni avec la trophie du site de décomposition. Les résultats suggèrent que la vitesse de décomposition des litières augmente avec l'eutrophisation pour certaines espèces, du fait 1) de l'augmentation de la décomposabilité des plantes et 2) probablement d'une plus grande abondance ou d'une stimulation de l'activité des décomposeurs.

Le troisième volet démontre que dans les milieux eutrophes étudiés, la productivité végétale est globalement plus élevée que dans les milieux oligotrophes et mésotrophes. Cette productivité plus élevée est associée à des émissions de méthane plus élevées, et des émissions journalières de CO<sub>2</sub> plus faibles. Dans les milieux eutrophes, la productivité végétale pourrait être un élément clef de contrôle des flux de carbone. Au contraire, dans les écosystèmes mésotrophes et surtout oligotrophes étudiés, la végétation semble contribuer faiblement aux flux de carbone qui pourraient être essentiellement dus au dégazage des eaux souterraines lorsqu'elles atteignent les eaux de surface.

La présence de végétation flottante, qui colonise essentiellement les milieux eutrophes, est associée à de plus fortes émissions de méthane que la présence de végétation submergée ou émergée. Plusieurs éléments peuvent expliquer ces résultats. Les végétaux flottants peuvent favoriser l'établissement de conditions anoxiques car ils empêchent la photosynthèse en profondeur et la libération d'oxygène dans la masse d'eau par la végétation submergée, et limitent les échanges de gaz entre le milieu aérien et le milieu aquatique. Cela pourrait également être lié à leur vitesse de décomposition intrinsèquement plus élevée, du fait de leur qualité. Les litières végétales, en particulier celles provenant des algues macroscopiques, pourraient être facilement décomposées par les communautés microbiennes anaérobies (e.g. méthanogènes).

L'eutrophisation des zones humides pourrait donc conduire à une augmentation des émissions de méthane et une diminution des émissions de CO<sub>2</sub> pendant la journée, en modifiant la composition des communautés végétales, et en augmentant simultanément la productivité végétale.

A la suite de ces résultats, il est possible de proposer une typologie de la dynamique du carbone dans les zones humides en fonction de leur niveau de trophie (Figure 2).

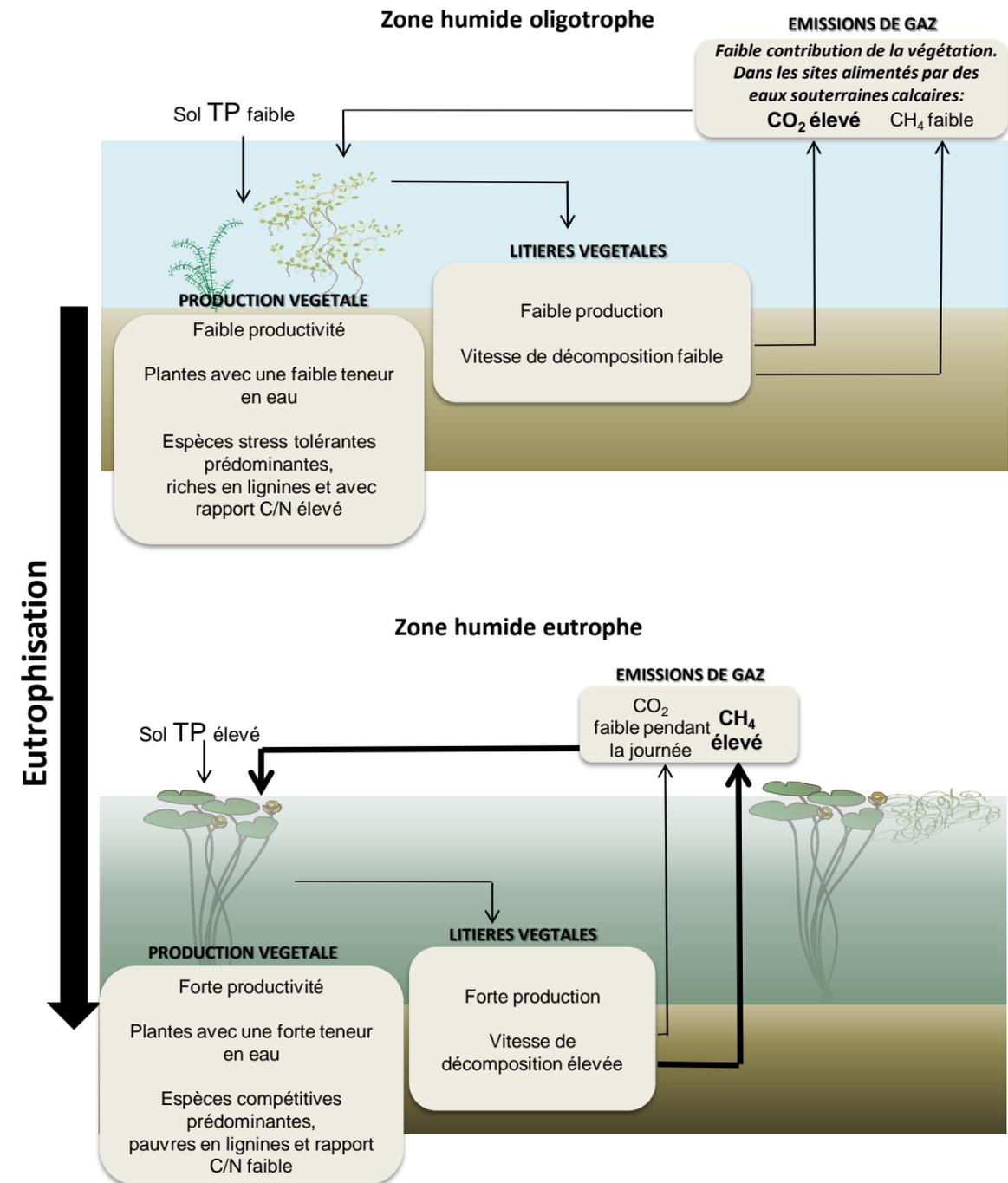


Figure 2 : Typologie de la dynamique du carbone dans les zones humides en fonction de leur niveau de trophie.