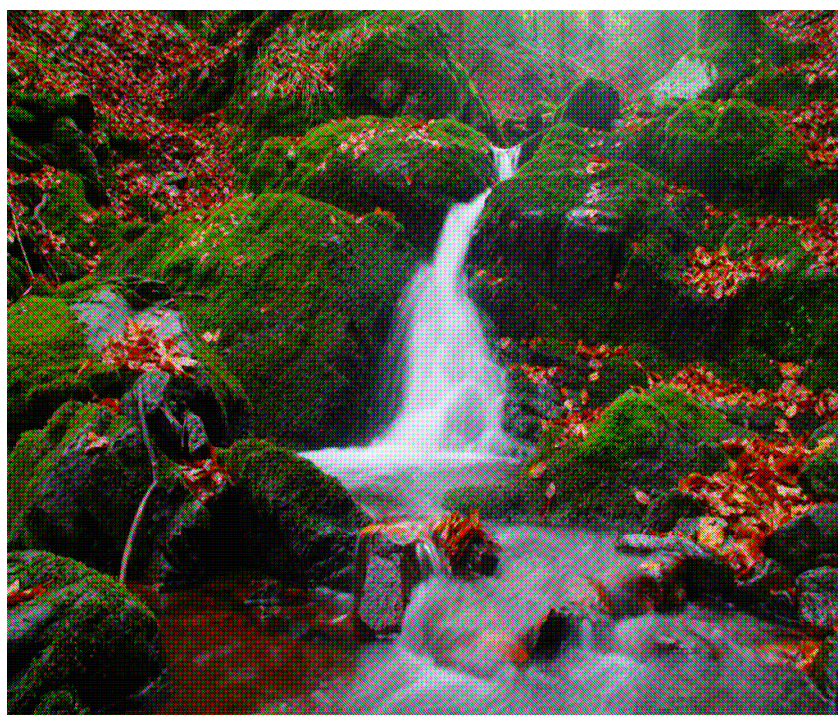




Formation des Ingénieurs Forestiers
FIF-ENGREF

IMPACT DE LA DIVERSITE FORESTIERE ET DES PRATIQUES SYLVICOLES SUR LA DECOMPOSITION DES LITIERES DANS LES COURS D'EAU



XERIDAT Philippe

Responsables : CHAUVET E., RICHARDSON J.S.

MASTER Recherche
Fonctionnement des Ecosystèmes et Anthropisation

Année 2006-2007

FICHE SIGNALÉTIQUE D'UN TRAVAIL D'ÉLÈVE DE LA FIF

Formation des ingénieurs forestiers d'AgroParisTech-ENGREF	TRAVAUX D'ÉLÈVES
TITRE : IMPACT DE LA DIVERSITE FORESTIERE ET DES PRATIQUES SYLVICOLES SUR LA DECOMPOSITION DES LITIERES DANS LES COURS D'EAU	Mots-clé : diversité, décomposition, litière , épicéa, hyphomycètes
AUTEUR(S) : XERIDAT Philippe	Promotion : FIF 15°
Caractéristiques : 01 volume ; 30 pages ; 09 figures ; 07 tableaux ; 02 annexes ; bibliographie.	

CADRE DU TRAVAIL		
ORGANISME PILOTE OU CONTRACTANT : ECOLAB, CNRS UMR 5245, 29, rue Jeanne Marvig, BP 24349 31 055 TOULOUSE Cedex 4		
Nom du responsable : Eric CHAUVET, John S. RICHARDSON Fonction : resp. : HDR, Directeur d'ECOLAB, UMR 5245 ; Professeur Associé, Université de Vancouver, Canada.		
Nom du correspondant ENGREF (pour un stage long) : néant, M2R année validante Toulouse III		
Tronc commun ☐ Option ☐ D. d'approfondissement ☐	Stage en entreprise ☐ Stage à l'étranger ☐ Stage fin d'études ☒ Date de remise : 24/09/2007	Autre ☐
Contrat avec Gref Services Nancy ☐ OUI ☒ NON		

SUITE À DONNER (réservé au service des études) ☒ Consultable et diffusable ☐ Confidentiel de façon permanente ☐ Confidentiel jusqu'au / / , puis diffusable

RESUME

La décomposition des litières dans les cours d'eau forestiers est un paramètre synthétique du fonctionnement de l'écosystème. On l'a utilisée pour étudier l'effet de la diversité forestière sur le fonctionnement du cours d'eau. Le travail de ce stage s'est limité à l'étude d'un cas simple de référence : la comparaison croisée du processus de dégradation des litières du hêtre et de l'épicéa de Sitka, constituant les ripisylves monospécifiques de deux cours d'eau forestiers de la Montagne Noire. La décomposition a été étudiée sous deux approches : l'une quantitative, en étudiant directement la perte de masse, et indirectement en estimant la biomasse fongique et la quantité de spores produites lors d'expériences de sporulation ; l'autre qualitative par l'étude de la communauté des décomposeurs associés aux litières, invertébrés et hyphomycètes aquatiques. L'analyse a montré que dans le cas de peuplements monospécifiques, le milieu avait un effet limité sur la décomposition des litières. Cette dernière était dans ce cas déterminée par les propriétés intrinsèques des litières de hêtre et d'épicéa, indépendamment du milieu. Cependant une tendance à une structuration monospécifique des cortèges de décomposeurs (hyphomycètes et invertébrés) s'est dessinée dans le cours d'eau couvert d'épicéa par rapport aux cortèges légèrement mais significativement plus diversifiés et structurés autour d'un groupe de quelques espèces clés du ruisseau couvert par la hêtraie.

Mots-clés : diversité, décomposition, litière, épicéa, hyphomycètes

ABSTRACT

Leaf-litter breakdown is a synthetic parameter of ecosystem functioning in forested upland streams. We used it as a variable to test if the forest diversity had an effect on the functioning of the stream ecosystem. This work focused on a simple case, the study of leaf litter breakdown of spruce needles and beech leaves between two upland streams of the Black Mountains respectively afforested with pure beech and spruce trees.

Litter breakdown have been studied by two ways. The first one quantitative, observed directly the massloss of samples and inrectly by mesuring fungal biomass and spore production. The other qualitative, by the study of the shredders and hyphomycetes guilds. Analysis showed that middle had no effect on breakdown in the case of monospecific forests. Litter breakdown was fully correlated with inners properties of spruce and beech litters. However results pointed out the trend of a structuration monospefic of decomposers communities in the spruce-forested stream, opposed to the slightly but significantly more diversified communities structured around a few species pool of the beech-forested stream.

Remerciements : Je tiens à remercier particulièrement Eric Chauvet et John Richardson pour leur expérience et leur disponibilité malgré les obligations auxquelles ils ont dû satisfaire. Je souhaite remercier surtout Sylvain Lamothe et Didier « Ergoman (?) » Lambrigot sans qui aucune de ces manip n'aurait craché le moindre résultat. Enfin un grand merci à Isis, Claire, Claudine et Julien « The J...y » , malheureusement exilé en cours d'année dans des préfabriqués, pour avoir survécu tous ensembles dans le magnifique et très soviétique décor de la salle des étudiants de la rue Marvig.

SOMMAIRE :

I/ INTRODUCTION GENERALE

1°) Importance des hyphomycètes dans le fonctionnement écologique des cours d'eau.

- a) *Les hyphomycètes aquatiques des cours d'eau forestiers*p.11
- b) *Le rôle des hyphomycètes dans la décomposition des litières*p.12
- c) *Les hyphomycètes aquatiques, initiateurs de la chaîne trophique des petits cours d'eau forestiers de tête de bassin versant*.....p.13

2°) Variations de la décomposition des litières en fonction des essences et de l'environnement.

- a) *La nature de la litière, facteur déterminant de la décomposition ?*p.13
- b) *Impacts des conditions hydrologiques, climatiques et géomorphologiques sur la décomposition des litières*p.14
- c) *Dans quelle mesure le mélange de la ripisylve structure-t-il le cortège des hyphomycètes ?*p.15

3°) Influence de la diversité forestière et des pratiques sylvicoles sur la décomposition des litières.

- a) *Influence de la diversité forestière*.....p.16
- b) *Influence des pratiques sylvicoles*p.16

4°) Position du problème et hypothèses

- a) *De la place de la biodiversité comme facteur et indicateur d'équilibre des milieux*.....p.17
- b) *La nécessité de commencer par un cas de référence entre des ripisylves homogènes*p.17

II/ MATERIELS ET METHODES

1°) Choix des sites et conditions des milieux.....p.18

2°) Approche expérimentale de la décomposition

- a) *Choix des dispositifs*.....p.18
- b) *Plan d'expérimentation*.....p.19
- c) *Variables retenues pour le suivi de la décomposition*.....p.20

3°) Protocoles expérimentaux

- a) *Perte de masse*.....p.21
- b) *Récolte des invertébrés associés aux litières*p.22
- c) *Caractérisation de l'inoculum dans les cours d'eaux*.....p.22
- d) *Estimation de la biomasse fongique dans les litières : mesure de l'ergostérol*.....p.22
- e) *Incubation des litières : caractérisation des espèces colonisatrices et quantification de la production de spores*.....p.24

4°) Statistiques.....p.24

III/ RESULTATS

1°) Calcul des taux de décomposition des litières

- a) *Régressions non linéaires sur le pourcentage de masse restante*..... p.25
- b) *Comparaison des coefficients de régression*..... p.25

2°) Taux d'ergostérol des litières de hêtre et d'épicéa, estimation de la biomasse fongique

- a) *Taux d'ergostérol*p.26
- b) *Estimation de la biomasse fongique*.....p.27

3°) Caractérisation des communautés de décomposeurs

- a) *Description des inoculum de conidies de chaque site*.....p.28
- b) *Les cortèges d'invertébrés associés aux litières*.....p.29

IV/ DISCUSSION

1°) Une faible influence du milieu et de la nature de la ripisylve sur la décomposition

- a) *Il n'y a pas d'effet significatif du milieu sur la vitesse de décomposition des litières*.....p.30
- b) *Le cortège des décomposeurs associé dépend du cours d'eau*.....p.31

2°) Quelques indications sur la variation de biodiversité entre peuplements purs.

- a) *La diversité de la communauté des décomposeurs est déterminée par la nature des peuplements à l'échelle du cours d'eau*.....p.31
- b) *Quels rapports entre diversité, résilience et productivité dans le cas étudié ?* ...p.32

3°) Un cas de référence simple offrant des perspectives de recherche intéressants :

- a) *Permettre la consolidation d'un socle comparatif pour des études ultérieures*...p.33
- b) *Précision du rôle de la biodiversité dans le fonctionnement des écosystèmes aquatiques des cours d'eau forestiers*.....p.33

ANNEXES.....p.35

BIBLIOGRAPHIE.....p.37

RESUME

SUMMARY

I/ INTRODUCTION GENERALE

1°) Importance des hyphomycètes dans le fonctionnement écologique des cours d'eau.

a) *Les hyphomycètes aquatiques des cours d'eau forestiers*

Les hyphomycètes aquatiques (Ingold, 1942, 1975 ; Webster & Descals, 1981) regroupent et se définissent comme l'ensemble des champignons réalisant entièrement leur cycle de vie dans l'eau, ou du moins dont la sporulation s'observe le plus souvent dans l'eau (Descals & Chauvet, 1992). Il en a été recensé environ 300 espèces jusqu'à aujourd'hui (Scheerer, 2005) et la taxonomie est toujours en cours d'établissement. En effet s'ils constituent un groupe homogène du point de vue fonctionnel, leur systématique pose problème car il s'agit non seulement d'un groupe polyphylétique comprenant des champignons Imparfais, des Ascomycètes et quelques Basidiomycètes, mais des connexions continuent d'être établies entre espèces, représentantes respectives du stade anamorphe (asexué) et téléomorphe (sexué) d'une même entité biologique (Chauvet, 1992). Tant que la taxonomie ne sera pas mieux circonscrite, la plupart des auteurs préfèrent parler de champignons Ingoldiens (Chauvet, 1992). Ainsi les dénominations utilisées ne désignent pas à proprement parler des espèces à part entière, mais nomment des « formes » d'espèces regroupées sur des critères essentiellement morphologiques (*Les hyphomycètes aquatiques du Sud-Ouest de la France*, Chauvet, 1990).

Si la sporulation aquatique constitue une caractéristique biologique de ces champignons, leurs spores asexuées, ou conidies, présentent également des adaptations morphologiques à la colonisation sur des substrats aquatiques. Des formes à géométrie très variées sont représentées et se distinguent des formes sphériques ou ovoïdes des espèces terrestres, mêmes si ces dernières existent aussi parmi les hyphomycètes aquatiques (Chauvet, 1992). La forme la plus courante est la forme tétraradiée (*Articulospora tetracladia*, *Tetrachaetum elegans*), ainsi que la forme sigmoïde (*Flagellospora sp*, *Anguillospora sp.*), et concernent des spores de toutes dimensions (de quelques dizaines à quelques centaines de microns). Différents genres comme *Tricladium* et *Tetracladium* ont des formes à clades caractérisées par des extensions globuleuses et/ou des bras le long ou à l'extrémité d'un axe cellulaire principal.

Même si la détermination de certaines espèces implique l'observation de la conidiogénèse après isolement en culture pure, l'observation morphologique constitue jusqu'à présent la base de l'identification des espèces.

En regard de ces connaissances, on sait que le fonctionnement des cours d'eau forestiers est essentiellement hétérotrophe, la production primaire étant inhibée par le couvert et ce d'autant plus que le cours est situé haut sur le bassin versant. La chute des litières arborées et arbustives constitue 50 à 90 % des apports de matière organique permettant d'initier la chaîne alimentaire (Minshall, Cummins, Vannote & *al.*, 1985).

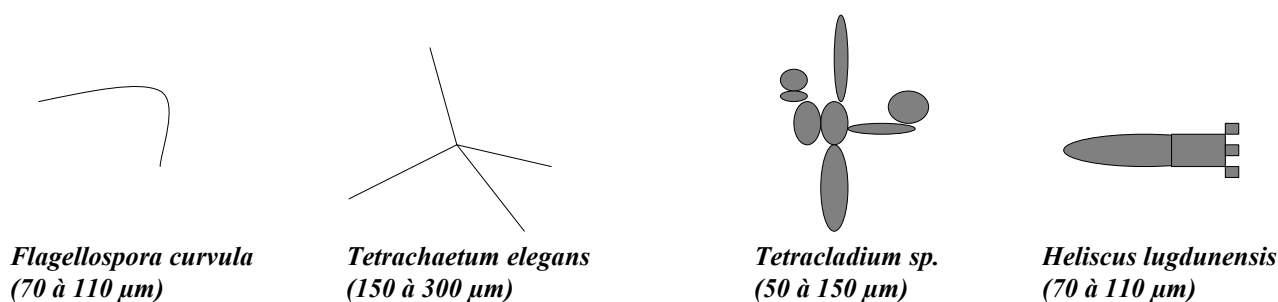


Figure 1. Quelques exemples de morphologie des conidies des champignons aquatiques.

b) Le rôle des hyphomycètes dans la décomposition des litières.

Au cours des trente dernières années, l'importance des hyphomycètes aquatiques s'est vue croître au fil des travaux ; Kaushik et Hynes (1971) montrent que la décomposition des feuilles mortes dans les rivières passe systématiquement par trois étapes : un lessivage assez rapide des composés hydrosolubles, une phase de colonisation par les bactéries et les champignons conditionnant enfin la fragmentation et la consommation par les invertébrés aquatiques. Bärlocher démontre plus tard (1977, 1978) que le phénomène concerne également l'ensemble des litières de conifères. Lorsqu'une méthode chromatographique a permis d'accéder à la biomasse de champignon dans un substrat donné (Newell, 1992 ; Charcosset & Chauvet, 2001), il s'est avéré que les hyphomycètes représentent jusqu'à 10% de la biomasse des litières et entre 95 et 99% de la masse microbienne colonisatrice (Chauvet, 1992 ; Baldy & Gessner, 1997). Ce sont les premiers acteurs de la décomposition des litières végétales entrant dans les cours d'eaux forestiers.

c) Les hyphomycètes aquatiques, initiateurs de la chaîne trophique des petits cours d'eau forestiers de tête de bassin versant.

La structuration des communautés de décomposeurs se réalise donc essentiellement autour du cortège des hyphomycètes aquatiques, en particulier dans les petits cours d'eau de tête de bassin versant. Ils constituent les premiers conditionneurs de la matière organique végétale et les premiers producteurs et transformateurs de biomasse consommable dans l'écosystème. Ils conditionnent non seulement la litière et participent à sa minéralisation, favorisent son assimilation par l'altération des polysaccharides et des glycoprotéines des tissus végétaux de conduction et de soutien, mais constituent eux-mêmes une source de nourriture qualitativement beaucoup plus raffinée pour les invertébrés aquatiques (Chauvet, 1992). Ainsi la détermination des cortèges est séparée entre échantillons protégés ou non des macro invertébrés : on montre qu'ils consomment préférentiellement les parties colonisées des feuilles (Bärlocher & Kendrick, 1981). Cela peut être illustré par l'exemple de la production de conidies pour le mélèze et le chêne : un pic apparaît à 9-13 semaines puis elle connaît un net ralentissement, en raison d'un fort impact des déchiqueteurs sur la production de spores (Rosset, Bärlocher, 1982).

Les hyphomycètes aquatiques, dont la diversité et la densité dépendent des paramètres physico-chimiques du cours d'eau et de son environnement végétal (Gulis, 2001; Bärlocher, 1981), contrôlent ainsi l'intensité et la modalité de la circulation du carbone dans l'écosystème rivière.

2°) Variations de la décomposition des litières en fonction des essences et de l'environnement.

a) La nature de la litière, facteur déterminant de la décomposition ?

Les phénomènes de colonisation et de dégradation des litières ont été étudiés pour les différentes essences feuillues autochtones constituant les ripisylves des cours d'eau tempérés (Gulis, 2001 ; Gessner & Chauvet, 1994) et avec certaines espèces introduites utilisées en plantations comme l'eucalyptus et le pin pignon (Graça, 1995).

Cependant très peu de travaux sur les litières d'autres conifères ont été conduits depuis le milieu des années quatre-vingt (*Decomposition of conifer needles and deciduous leaves in two Black Forest and two Swiss Jura streams*, Rosset, Bärlocher, 1982), à l'exception de

l'Université de Vancouver (Richardson & al, 2004), en raison de leur manipulation expérimentale plus difficile.

De même l'étude des associations espèces/substrat a été menée pour caractériser les communautés fongiques spécialistes d'un type de litière (Gulis, 2001 ; Bärlocher, Rosset, 1981), en fonction de l'environnement végétal du cours d'eau.

En contexte résineux, on n'observe pas de pic saisonnier de production de conidies (Aquatic hyphomycetes spora of two Black Forest and two Swiss Jura streams, Rosset, Bärlocher, 1981) car les feuilles sont perdues tout au long de l'année, mais la production est réduite de 50%, probablement en raison de la rétention moins efficace des aiguilles dans le lit du cours d'eau. En effet elles présentent par leur morphologie une capacité plus faible à s'agréger et à s'auto-assembler en piles (Hoover, Richardson & Yonemitsu, 2006).

Selon l'essence arborée ou arbustive dont elle est issue, la nature de la litière influence physiquement et chimiquement la vitesse de décomposition : physiquement, en raison de la présence d'une cuticule cireuse à la surface des aiguilles de résineux par exemple (Bärlocher, Kendrick & Michaelides, 1978) et chimiquement en raison de la présence de substances inhibitrices (turpentine, Bärlocher 1978) ou de la teneur spécifique des tissus en tanins, azote et phosphore (Gessner & Chauvet, 1994).

b) Impacts des conditions hydrologiques, climatiques et géomorphologiques sur la décomposition des litières.

La physico-chimie du cours d'eau préside à la structuration de la communauté, ce qui néanmoins implique un effet du peuplement forestier du bassin versant, et des variations liées à l'adéquation du peuplement avec les conditions. Le mode de caractérisation de la communauté lui-même peut être une source importante de disparités. La physico-chimie des eaux de ruissellement et l'acidification sont en grande partie déterminées par les dépôts atmosphériques et le pouvoir tampon du bassin versant, c'est à dire la géologie locale. Ainsi le pH et le rapport S/T conditionnent le taux de dégradation de la litière (Dangles, Gessner, Guérold, Chauvet, 2004 ; Webster & Benfield, 1986) en régulant l'activité fongique. Le taux de dégradation est également influencé par la présence ou l'absence de quelques espèces clef de macro invertébrés parmi les déchiqueteurs les plus efficaces (*G.fossarum*), sensibles aux paramètres physico-chimiques (concentrations en calcium, en aluminium). Ceci s'est avéré particulièrement tangible pour les cours d'eau neutroclines sous hêtraie étudiés.

Ces travaux révèlent une forte prédominance de la station au sens géo-pédo-climatique sur le fonctionnement trophique du cours d'eau. Il n'en reste pas moins qu'aucune étude sur l'impact du peuplement, des pratiques sylvicoles et de leur adéquation avec les conditions stationnelles n'a été jusqu'à présent menée.

c) Dans quelle mesure le mélange de la ripisylve structure-t-il le cortège des hyphomycètes ?

Les correspondances entre les conidies circulantes (inoculum potentiel) et le cortège colonisateur de la litière (Bärlocher, 1982) ont été bien observées. Elles ont permis d'étudier dans quelle mesure la composition de la ripisylve, donc la qualité du substrat apporté dans le cours d'eau, structure le cortège colonisateur.

Il ne semble pas y avoir de lien entre la végétation rivulaire et la communauté de champignons rencontrée, seule la fréquence d'apparition relative est réduite en raison de la forte dominance de *H.lugdunensis* sous résineux (Rosset, Bärlocher, 1981).

Deux grandes tendances se dégagent au niveau des interactions entre l'environnement et la litière : on a une baisse du nombre d'espèces et du pourcentage de similarité avec l'éloignement de la qualité de la litière de l'environnement végétal du cours d'eau (i.e. de la litière dominante), y compris en contexte résineux pur. Il semble se dessiner une spécialisation en fonction de la litière : *Alatospora acuminata* pour le chêne et le mélèze, *Heliscus lugdunensis* pour l'épicéa dans le Jura Suisse ; et un cortège plus varié pour le chêne et le mélèze dans la Forêt Noire comprenant toujours *A. acuminata*, et *H. lugdunensis*, *F. curvula* et *Mycocentrospora acerina* pour l'épicéa.

Les espèces ont deux stratégies distinctes : soit colonisateurs précoces, avec une contribution forte et constante tout au long du processus de dégradation, soit espèces tardives et rares à faible contribution intervenant en fin de dégradation. Le comportement des invertébrés se distingue alors en une prédation classique vis-à-vis des premières, ou comme des compétiteurs pour les seconds car ils consomment leur substrat potentiel. Des hyphomycètes ont été trouvés sur des substrats mineurs ou inhabituels (aiguilles de pin sylvestre, trois espèces) en particulier dans les cours d'eau lents (Gulis, 2001). D'autre part l'importance d'utiliser un coefficient de colonisation par espèce pour discriminer les préférences peut être utile pour déterminer si la présence d'une espèce est liée à la nature de la litière ou à l'environnement.

Fabre (1996), a montré dans les Pyrénées que la richesse spécifique et la diversité des communautés d'hyphomycètes aquatiques étaient corrélées à celles de la ripisylve, mais il a attribué cela à une structuration parallèle par des facteurs environnementaux, l'altitude en premier lieu. L'étude s'est limitée à des environnements feuillus.

Les différences essentielles s'articulent entre les débris de bois, les brins d'herbes et les litières feuillues, très peu de préférences de substrat sont apparues entre les types de feuilles, ce qui corrobore l'observation de Bärlocher.

3°) Influence de la diversité forestière et des pratiques sylvicoles sur la décomposition des litières.

a) Influence de la diversité forestière

L'étude va utiliser la vitesse de décomposition des litières comme indicateur du fonctionnement des cours d'eau de tête de bassin (Gessner & Chauvet, 2002).

Si de nombreuses publications ont montré une variabilité du taux de décomposition des litières ou de leur production de conidies en fonction des essences ligneuses (Gessner & Chauvet, 1994 ; Rosset & Bärlocher, 1982), très peu ont cherché à mettre en évidence une variabilité de la dégradation d'une litière donnée en fonction de la diversité de la ripisylve (Lecerf, 2005).

Antoine Lecerf (2005) montre dans le chapitre II de sa thèse que la diversité de la végétation riveraine est un facteur environnemental majeur de contrôle de la vitesse de décomposition de la litière de chêne, au moins égal voire supérieur à l'effet des facteurs abiotiques connus pour moduler considérablement la vitesse de décomposition des litières.

Donc si le gradient altitudinal semble plutôt structurer la communauté des décomposeurs, la diversité de la ripisylve apparaît comme un facteur de contrôle important de la dégradation des litières, et donc du fonctionnement du cours d'eau.

b) Influence des pratiques sylvicoles

Sur ce sujet également, peu d'études (Laitung, 2002) ont abordé l'effet des pratiques sylvicoles sur la diversité des hyphomycètes, de leur impact au niveau de la quantité et de la qualité de la litière apportée, et de fait de leur influence sur le fonctionnement écologique du cours d'eau. L'étude de Béryl Laitung a montré qu'une quantité de bois mort plus importante,

liée à une exploitation forestière extensive et ménageant un espace pour une ripisylve diversifiée, favorisait la diversité et la quantité de spores de l'inoculum potentiel.

4°) Position du problème et hypothèses

a) De la place de la biodiversité comme facteur et indicateur d'équilibre des milieux

A travers l'intitulé du travail, « Impact de la diversité forestière et des pratiques sylvicoles sur la décomposition des litières dans les cours d'eau », se pose la question de l'importance de la diversité des compartiments fonctionnels d'un écosystème et de leurs effets emboîtés à l'interface de deux milieux (terrestre et aquatique comme dans le cas traité ici) ou de deux écosystèmes.

Dans quelle mesure en effet la variation de la diversité forestière environnante va-t-elle influencer la diversité de l'inoculum potentiel du cours d'eau, d'une part, et d'autre part la capacité du compartiment des décomposeurs dans son ensemble à dégrader une litière donnée ?

A cette fin il faudra pour répondre à une telle problématique un panel de cours d'eau forestiers dans des contextes physiques similaires, différant par la composition du peuplement, et de comparer la vitesse de décomposition pour plusieurs litières variant sur le plan de leur qualité alimentaire (i.e. par opposition leur caractère réfractaire).

b) La nécessité de commencer par un cas de référence entre des ripisylves homogènes

La portée de ce travail correspondrait donc mieux à une échelle de temps supérieure à la durée du présent stage, et il a donc fallu réduire le champ de l'étude à celui d'un cas de référence entre deux peuplements purs encadrant deux cours d'eau aux caractéristiques physiques similaires. Le cas d'un cours d'eau sous peuplement résineux pur, ici l'épicéa de Sitka (*Picea sitchensis*), et feuillu pur, en l'occurrence du hêtre (*Fagus sylvatica*), a été retenu.

Ainsi, y-a-t-il un effet de la diversité forestière sur la décomposition des litières de hêtre et d'épicéa, deux essences connues pour leur caractère réfractaire à la décomposition ? L'étude s'attachera aussi à observer la différence de structuration de la communauté des décomposeurs dans deux cours d'eau différant par la composition de leur ripisylve.

II/ MATERIELS ET METHODES :

1°) Choix des sites et conditions des milieux

Les deux sites présentent une situation géographique et des caractéristiques géologiques, pédo-climatiques comparables: le ruisseau du Plateau de Sambrès est exposé Est et celui de la hêtraie de Lestrèpe versant Nord du massif de Nore au refuge du Triby.

Lestrèpe : altitude 866 mètres, Lat. N 43°28'02'', Long. E 2°26'49''

Sambrès: altitude 871 mètres, Lat. N 43°27'14'', Long. E 2°03'29''

Tous deux dévalent sur des sols arénaires reposant sur un substrat acide (leucogranites, gneiss) dans la Montagne Noire, avec un méso-climat de type semi-continentale issu des influences atlantiques et méditerranéennes endurcies par le relief (1000 mètres).

Ils possèdent des caractéristiques hydrologiques assez comparables, résumées dans le tableau 1 ci-dessous :

	T (°C)	pH	Conductivité ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	[O ₂] (mg.L ⁻¹)	Vcourant(m. s ⁻¹)	Largeur (cm)	Profondeur (cm)	Qmoyen (L.s ⁻¹)
Sambrès	2,4	5,89	40	13,6	0,25	80	2	4
Lestrèpe	4.9	5.86	24	12.7	0.20	40	18	14.4

Tableau 1. Caractéristiques hydrologiques des sites de Sambrès et Lestrèpe.

2°) Approche expérimentale de la décomposition

a) Choix des dispositifs

L'étude se portait sur une approche de la décomposition de la litière par la communauté des décomposeurs, sans chercher à séparer l'action des agents microbiens de celle des invertébrés (Lecerf, 2005). L'utilisation de sacs (13 x 19 cm) à grosses mailles (10 x 10 mm) aurait pu être suffisante mais la manipulation de litière d'épicéa imposait d'utiliser des filets à fines mailles (1 x 1 mm) de mêmes dimensions (13 x 19 cm).

Le problème essentiel de la conception du dispositif résidait dans l'utilisation de sacs de litière à fines mailles pour retenir les aiguilles mais munis d'un dispositif permettant l'entrée des macro-invertébrés par l'amont.

La solution retenue consistait à obturer le berlingot formé par le filet de rétention de la litière par un cône en grillage de maille 5 x 5 mm, permettant l'entrée des macro-invertébrés à

l'amont et dont l'effilement présentait une face de maille apparente de 1 x 1 mm. Le calcul géométrique simple a permis d'établir un patron de découpe simple pour fabriquer les bouchons coniques.

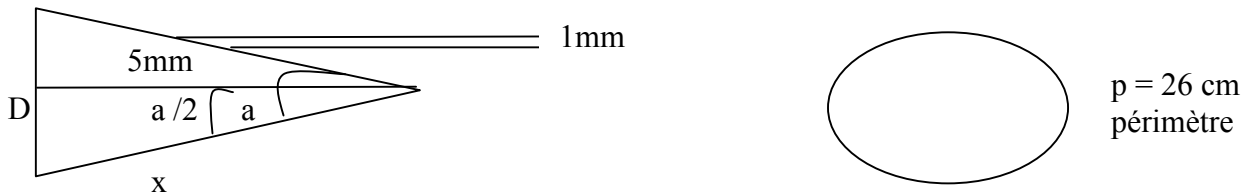


Figure 2. Calcul du patron de découpe du cône.

Sachant qu'on veut découper le cône dans un carré de côté x : $p \leq \pi/2 * x$

$\tan(a/2) = 1/5 = D/2x$; or $D = p/\pi$; donc $x = 65/\pi = 20,7 \text{ cm}$.

On vérifie bien que $\pi/2 * x = 32,3 \geq p$. On peut donc ajuster le cône après découpe.

b) Plan d'expérimentation

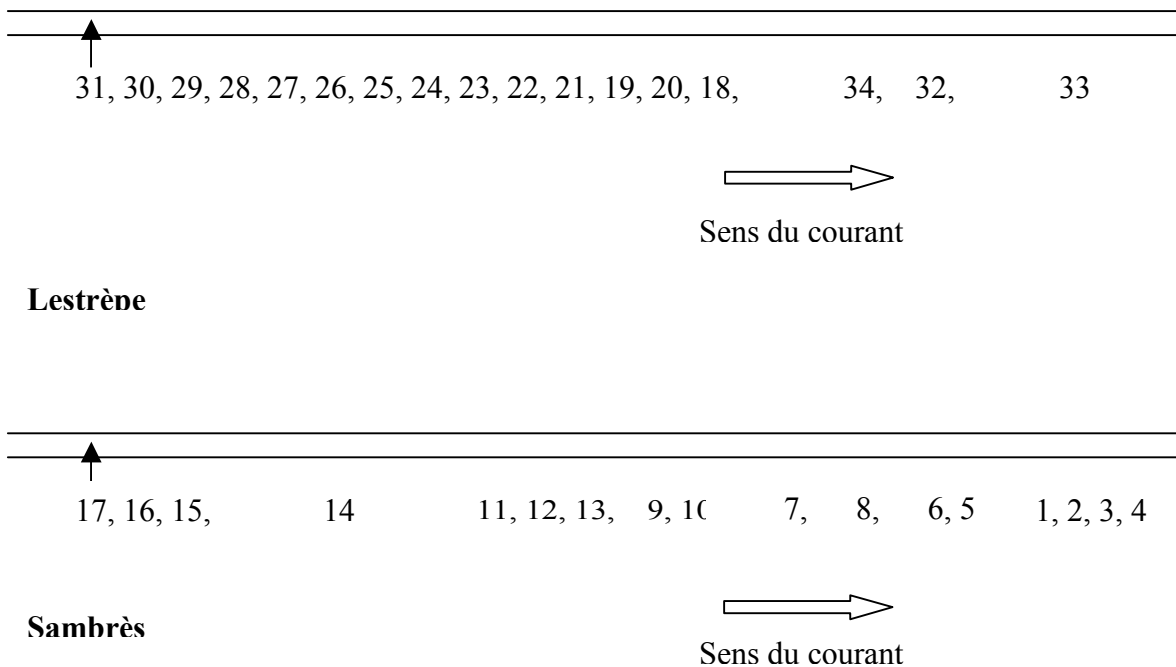


Figure 3. Plans d'échantillonnages des sites de Sambrès et de Lestrène.

Pour chaque numéro d'échantillon, il y a deux sacs contenant chacun un type de litière, hêtre et épicéa, ils sont notés respectivement 0XY H et 0XY E.

68 échantillons sont disposés sur l'ensemble des deux sites, de 1 à 17 pour Sambrès et de 18 à 34 pour Lestrèpe. Ils sont répartis en cinq blocs de trois répliques par modalité (épicéa et hêtre) soit 60, plus deux échantillons de secours par modalité et par site, soit huit.

Relevé des sachets de litière : initialement plan de relevé géométrique de raison 2 et de pas de deux semaines : cinq dates à 14, 28, 56, 112, 224 jours. Cependant les contraintes du calendrier des soutenance du mastère ont imposé de revoir la répartition des dates pour disposer de suffisamment de données intégrées dans l'analyse : 14, 28, 56, 98 et 158.

Cinq dates ont été maintenues : 14, 28, 56, 112, 168 jours.

A chaque date de relevé, les sachets sont placés délicatement dans des sacs en plastiques pour ne pas perdre des invertébrés présents dans les sacs ou des fragments de la litière initiale. Les sacs sont ensuite entreposés dans une glacière pendant le transport jusqu'au laboratoire.

c) Variables retenues pour le suivi de la décomposition

On a choisi de retenir comme variables la perte de masse, qui représente un paramètre de synthèse de la décomposition des litières (Gessner & Chauvet, 2002), la production de conidies du cortège colonisateur, par incubation en microcosmes, plus sensible qui permet de détecter la colonisation de la litière et indique le pic d'activité fongique auquel elle est très fortement corrélée (Gessner & Chauvet, 1994). Au niveau des échantillons de litière, en sus de la perte de masse et de la sporulation, à chaque date de relevé un sous-échantillon de chaque réplique est prélevé pour mesurer la quantité d'ergostérol et ensuite estimer la biomasse fongique contenue dans la litière.

Le cortège des invertébrés associé à la litière sera également relevé périodiquement pour évaluer la proportion de décomposeurs.

A chaque date l'inoculum potentiel des cours d'eau est estimé relevés par filtration de 500mL d'eau sur membrane microporeuse, et des paramètres physico-chimiques du cours d'eau sont mesurés à l'aide d'instruments de mesure portatifs : pH, conductivité, Taux d'oxygène dissous, vitesse du courant (baromètre à bulbe).

3°) Protocoles expérimentaux

La plupart de ces protocoles ont fait l'objet d'une standardisation et d'une compilation dans l'ouvrage de Graça M.A.S., Bärlocher F. & Gessner M.O. (eds.), \$6, 2005

a) Perte de masse

Les sachets de litière sont remplis avec trois grammes de feuilles ou d'aiguilles séchées à température ambiante, les échantillons sont tous pesés avec une balance de précision au dixième de milligramme.

A chaque relevé, les litières sont triées, nettoyées, et séchées à l'étuve à 105°C pendant 48 heures et pesées. A cette quantité sont rajoutées les masses sèches à 105°C des sous-échantillons pour l'incubation et les sous-échantillons lyophilisés pour la mesure de l'ergostérol. Les sous-échantillons pour l'incubation sont séchés préalablement à l'air ambiant pour obtenir un coefficient de conversion de la masse sèche à l'air ambiant en masse sèche à 105°C pour accéder à la masse organique sur les cendres des masses initiales des échantillons : ces dernières ne peuvent pas effectivement être séchées à 105°C, cela entraînerait des altérations de certains composés de la litière fraîchement déhiscente et induirait un biais dans la mesure de la décomposition (Graça M.A.S., Bärlocher F. & Gessner M.O. (eds.), \$6, 2005).

La litière est ensuite broyée à travers une grille de 1,5 mm, la poudre est séchée de nouveau 48 heures, et un quart de gramme est prélevé, pesé précisément et brûlé au four à 550 degrés pendant trois heures. Cela permet d'obtenir un coefficient de conversion entre la masse sèche totale à 105°C et la masse de matière organique de l'échantillon (Masse Sèche Sur les Cendres ou Ash-Free Dry Mass).

La dégradation des litières suit une exponentielle décroissante du temps, de la forme $M_t = M_0 e^{-kt}$ soit $M_t / M_0 = e^{-kt}$

Les données sont regroupées dans un tableau, on effectue la régression non –linéaire de la proportion de masse organique sur les cendres restante en fonction du temps, pour chaque modalité de chaque site. Le coefficient obtenu avec que son écart-type, exprimé en grammes de masse organique sur les cendres dégradé par gramme de masse organique sur les cendres de litière et par jour, est la valeur porteuse d'information.

b) Récolte des invertébrés associés aux litières

Les invertébrés sont récoltés lors du dépouillement des sachets de litière par tamisage de leur contenu, sur un tamis final de maille 0,5mm, afin de retenir tous les macro-invertébrés (protocole IBGN). Ils sont séparés des fragments minéraux et de la matière organique la plus grossière par une légère centrifugation manuelle et sont stockés dans des piluliers référencés par échantillon, dans un mélange d'eau et d'alcool à 70%.

L'identification est faite à l'aide de la clé de détermination de Tachet (éds. Du CNRS) sous loupe binoculaire.

c) Caractérisation de l'inoculum dans les cours d'eaux

Sur le terrain : cinq prélèvements d'eau de 100 mL chacun sont filtrés sur membrane en nitrate de cellulose 5.0µm (Whatman International Ltd., Maidstone, UK) et fixées au bleu trypan 0.1% dans l'acide lactique (60%).

Au laboratoire, les membranes sont montées entre lame et lamelle. On compte les conidies sur une cinquantaine de champs ou sur l'ensemble de la membrane sur un microscope optique avec un grossissement de 200X pour la recherche des conidies et de 400X pour l'identification. La membrane équivaut à 316 champs de microscope au grossissement 200, on ramène le nombre de conidies observées pour 100mL, on somme les cinq observations et la concentration de spores par litre se déduit aisément.

d) Estimation de la biomasse fongique dans les litières : mesure de l'ergostérol

Le protocole complet est décrit dans le chapitre 25 de l'ouvrage de Graça M.A.S., Bärlocher F. & Gessner M.O. (éds.), 2005. Cinq rondelles poinçonnées de diamètre 12mm de hêtre et cinq aiguilles d'épicéa sont prélevées par échantillon pour le dosage de l'ergostérol.

- Lyophilisation des échantillons :

Les échantillons de feuilles et d'aiguilles sont lyophilisés pendant 12 heures, puis transportés à l'abri de l'air ambiant dans un dessiccateur et pesés précisément.

- Extraction de l'ergostérol :

Les échantillons sont mis à incuber ainsi qu'un témoin de 20µg d'ergostérol douze heures dans 5mL d'une solution de méthanol-KOH à 4°C, puis incubés à 80°C pendant 30 min (400 trs.min⁻¹), puis refroidis 15 min à température ambiante et 15 min à 4°C. Le bain des échantillons est acidifié avec 1mL d'acide chlorhydrique 0,65 M. Le volume total de l'échantillon est donc de 6mL.

L'extraction se fait sur phase solide avec des cartouches à base de sels de silice (cartouches SPE), conditionnées avec du Me-KOH, à partir de 3mL d'échantillon. L'ergostérol reste adsorbé sur les cartouches et est élué avec de l'isopropanol, dans des fioles préalablement pesées avec leur bouchon et leurs joints.

- Gamme d'étalonnage

A partir d'une solution mère de 10mg/mL d'ergostérol (0,5 gr d'ergostérol dans 50mL d'isopropanol), on réalise cinq solutions à 1µg/mL, 5µg/mL, 10µg/mL, 50µg/mL, 100µg/mL. Le pipetage se fait avec des pipettes en verre. Il est préférable d'obtenir un rendement (illustré par le R² de la régression) de 99,8 %.

N.B. : voir les deux courbes d'étalonnage en annexe.

- Dosage de l'ergostérol

Le dosage se réalise à l'aide d'un banc de chromatographie en phase gazeuse (HPLC ;phase mobile : méthanol ; flux 1,4mL/min ; colonne tempérée à 33°C ; détection du pic : 282nm ; volume d'injection :10µL). Le temps de dosage est de douze minutes par échantillon, le pic d'ergostérol apparaît au bout de huit minutes trentes.

- Calcul de la concentration d'ergostérol par gramme de masse organique sur les cendres.

Fiole pleine – fiole vide = M_{isopropanol} ; Densité isopropanol : d_{isopropanol} = 0,785 g/mL.

V_{isopropanol} = M_{isopropanol} / d_{isopropanol} ; Aire du pic, A ; a coefficient de la droite d'étalonnage

[ergo] = A/a ; m_{ergo} (µg) = [ergo] x (6/3) x V_{isopropanol} ;

%r (rendement) = qtté ergo témoin/20 ;

masse de feuille sur les cendres m_{AFDM} = m_{échantln lyophilisé} x coeff_{Sec 105°C->AFDM}

$[\text{ergo}]_{\text{final}} (\mu\text{g/g}_{\text{AFDM}}) = m_{\text{ergo}} (\mu\text{g}) / m_{\text{AFDM}}$
--

e) Incubation des litières : caractérisation des espèces colonisatrices et quantification de la production de spores.

En rentrant du terrain, 15 rondelles de 12mm de diamètre de hêtre et 15 aiguilles d'épicéa sont récoltées et placées avec 40mL d'eau filtrée de chaque ruisseau de provenance dans des microcosmes utilisés pour l'incubation (Suberkropp, 1991 ; modifié E.Chauvet, communication personnelle). Les échantillons sont mis à incuber pendant 48 heures.

Le débit d'air est réglé sur 0,2 l d'air par minute pour saturer la solution en oxygène, ce qui provoque la sporulation des hyphomycètes présents dans l'échantillon de litière.

Les solutions sont récupérées dans des tubes Falcon et identifiées par échantillon, les microcosmes rincés avec deux millilitres d'eau distillée, puis fixés avec trois millilitres de formol à 33% dans l'eau pure.

Les milieux sont homogénéisés avec 250 µL de tryton, agités au moins deux minutes et deux fractions sont prélevées et filtrées, puis fixées au trypan et montées entre lame et lamelle. Les conidies sont comptées comme vu ci-dessus.

N.B. : il vaut mieux procéder à plusieurs essais de dilution pour les dates tardives où l'on observe de fortes sporulations, afin de ne pas avoir à compter des membranes saturées en conidies. Une dilution entre 10 et 20 conidies par champ permet un comptage et des identifications facilités.

4°) Statistiques

Les calculs statistiques ont été réalisés à l'aide du logiciel XL-Stat.

Pour les données de la décomposition, ont été utilisées : des régressions non linéaires pour les pertes de masse, une Ancova pour comparer les coefficients de perte de masse des régressions, et caractériser les interactions entre la litière et le cours d'eau.

On utilise le calcul de raréfaction, c'est-à-dire une estimation de la richesse spécifique potentielle pour pouvoir comparer les résultats entre les sites.

Pour les données globales de richesse taxonomique et spécifique, l'analyse se limite à des tests t de comparaisons de moyennes pour les invertébrés et le cortège d'hyphomycètes.

Une Anova à deux facteurs est utilisée pour comparer les effets des facteurs litière et cours d'eau pour la teneur en ergostérol, assortie de tests de Tukey pour les comparaisons multiples des modalités.

III/ RESULTATS

1°) Calcul des taux de décomposition des litières

a) Régressions non linéaires sur le pourcentage de masse restante

	Paramètre	Valeur	Ecart-type
Lestrière			
Hêtre	k	-0,0051	0,00034
Lestrière			
Épicéa	k	-0,0135	0,00223
Sambrès			
Hêtre	k	-0,0054	0,00028
Sambrès			
Épicéa	k	-0,0120	0,00132
	Paramètre	Valeur	Ecart-type
Lestrière			
Hêtre	k	-0,0044	0,00062
corrigé T14			
Lestrière			
Épicéa	k	-0,0079	0,00236
corrigé T14			
Sambrès			
Hêtre	k	-0,0045	0,00051
corrigé T14			
Sambrès			
Épicéa	k	-0,0109	0,00183
corrigé T14			

Les régressions ont été calculées en fonction du temps sur le pourcentage de masse restante par rapport à la masse initiale de chaque échantillon. Le paramètre de qualité de la régression est le R^2 corrigé.

Pour compenser les pertes de litière d'épicéa constatées lors des deux premières semaines, un second jeu de régressions ont été réalisées à partir du pourcentage de masse restante corrigé par la masse restante à quatorze jours.

Tableau 2. Coefficients de perte de masse.

b) Comparaison des coefficients de régression

		Critère	P-value
Facteur	Site (Lestrière, Sambrès)	1,25	0,269
Facteur	Essence (hêtre, épicéa)	14,17	0,00045
Interaction	Site*Essence	1,93	0,171

Tableau 3. ANCOVA sur les régressions du pourcentage de masse restante en fonction du temps.

On observe que les facteurs essence et cours d'eau sont indépendants, la valeur test ne dépasse pas le critère de rejet de l'hypothèse. De même on n'observe pas d'effet du site sur la vitesse de décomposition. En revanche on note une forte influence de la nature de la litière sur la décomposition, avec une probabilité critique très significative (0,00045).

2°) Taux d'ergostérol des litières de hêtre et d'épicéa, estimation de la biomasse fongique

a) Taux d'ergostérol

Temps (jours)	ES (µg.g-1)	Ecart-type	EL (µg.g-1)	Ecart-type	HS(µg.g-1)	Ecart-type	HL (µg.g-1)	Ecart-type
T14	0,000	0,000	0,000	0,000	280,965	9,460	252,143	30,302
T28	#	#	#	#	#	#	#	#
T56	#	#	#	#	#	#	#	#
T98	164,370	44,222	140,822	42,989	356,495	16,088	292,956	80,253
T158	131,263	6,849	139,336	14,101	314,281	28,749	295,682	44,521

Tableau 4. Concentration massique en ergostérol des litières.

Les teneurs en ergostérol sont exprimées comme la teneur moyenne par site et par traitement pour chaque date. Elles s'expriment en µg/g de masse de feuille sur les cendres.

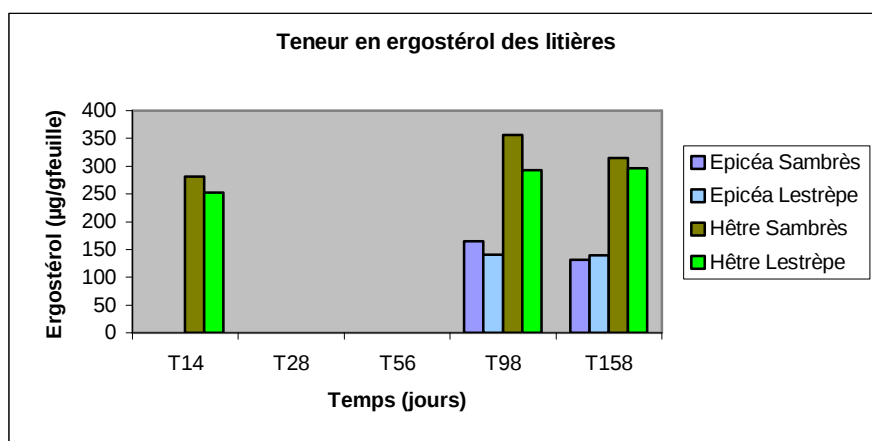


Figure 4. Histogramme de la teneur en ergostérol des litières.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	95773,023	31924,341	12,158	0,002
Erreur	8	21006,051	2625,756		
Total corrigé	11	116779,074			
Calculé contre le modèle $Y = \text{Moyenne}(Y)$					

Tableau 5. ANOVA des facteurs site et essence.

L'ANOVA à deux facteurs réalisée sur la teneur en ergostérol pour les valeurs pics (tableau 5) (T98), afin de se débarrasser du facteur temps (Gessner & Chauvet, 1994) indique bien une différence significative entre le hêtre et l'épicéa, cependant les tests de comparaison des interactions ne signalent aucune différence significative entre les modalités.

Les critères des tests sont en-deça de la valeur critique, validant l'hypothèse nulle d'absence de différence entre les moyennes. Il n'y a pas d'effet du cours d'eau sur la teneur en ergostérol de la litière.

essence*site / Tukey (HSD) /:

Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95%

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff
essence-H*site-Sambrès vs essence-H*site-Lestrèpe	63,538	1,519	3,203	0,470
essence-E*site-Sambrès vs essence-E*site-Lestrèpe	23,549	0,563	3,203	0,940
Valeur critique du d de Tukey :			4,529	

Tableau 6. Comparaisons multiples des moyennes par modalités.

b) Estimation de la biomasse fongique

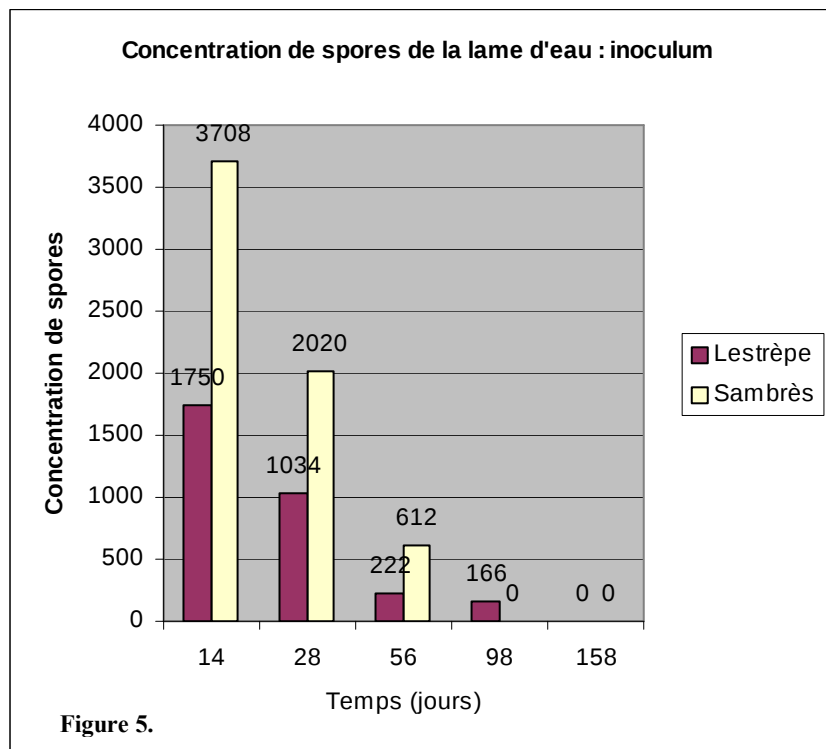
La biomasse fongique a été obtenue à partir des teneurs en ergostérol des litières et des coefficients de conversion en biomasse disponibles dans Gessner & Chauvet, 1994. Afin d'obtenir une mesure précise, on a affecté à chaque modalité un vecteur de pondération des coefficients en fonction des cinq espèces dominant le cortège colonisateur (*Articulospora tetracladia*, *Flagellospora curvula*, *Tetrachaetum elegans*, *Tricladium chaetocladium* & *Heliscus lugdunensis* cumulent 97 % du nombre total de spores toutes modalités confondues). Le tableau 7 présente la biomasse fongique en mg de mycélium par gr. de feuille sur les cendres.

	Masse LH (mg/g)	Masse LE (mg/g)	Masse SH (mg/g)	Masse SE (mg/g)
T14	48,682	0	54,162762	0
T28	0	0	0	0
T56	0	0	0	0
T98	56,562	22,119	68,723	25,6665
T158	57,089	21,885	60,585	20,496

Tableau 7. Biomasse mycélienne produite à T=98 jours.

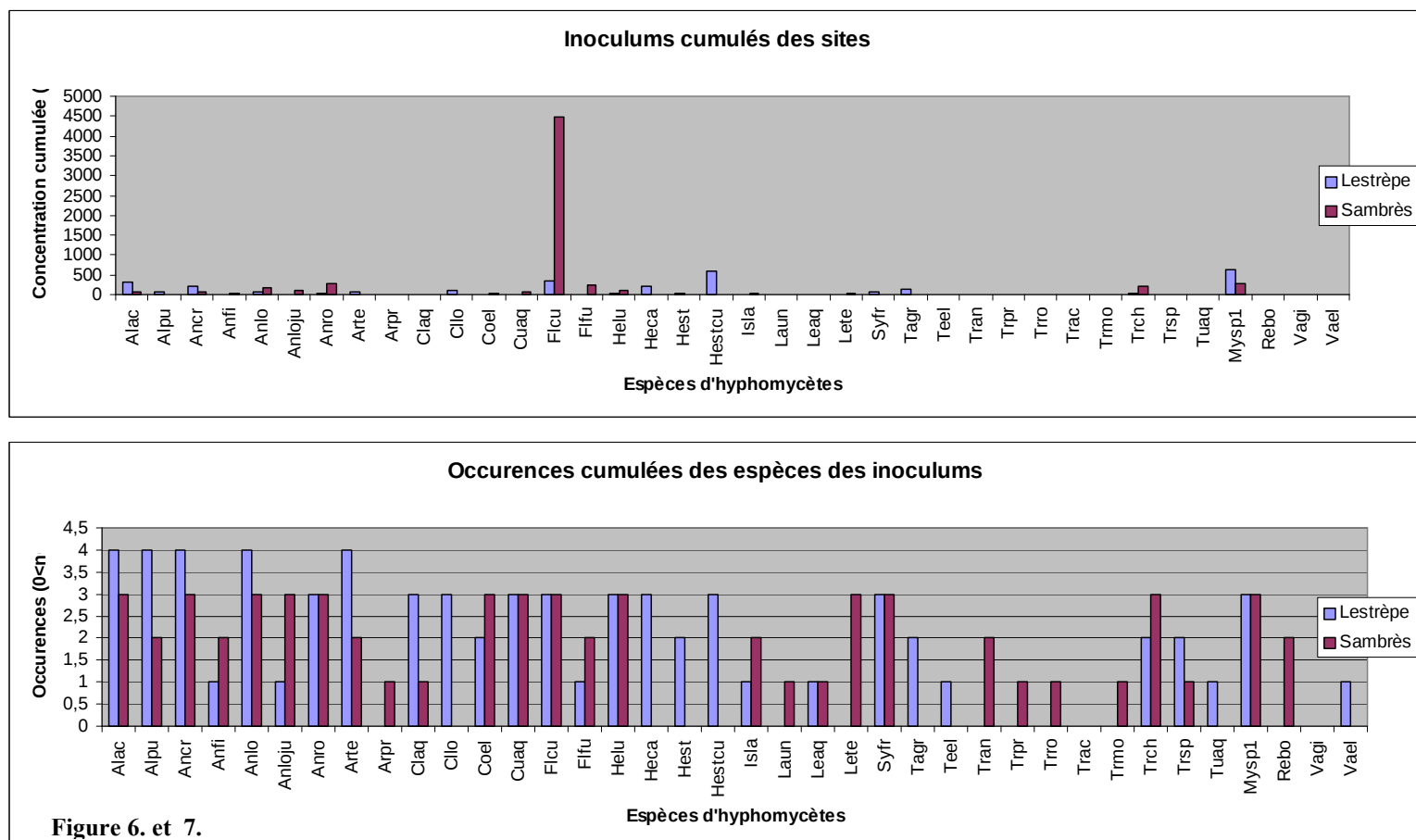
3°) Caractérisation des communautés de décomposeurs

a) Description des inoculum de conidies de chaque site



Au niveau de la densité de spores, on observe une densité double dans le ruisseau de Sambrès sous la hêtraie. Néanmoins cela est dû à la dominance de *Flagellospora curvula* (cf. figure 6 en haut) qui se caractérise par un fort taux de sporulation (Dang, 2006 ; Bärlocher, 1982).

Enfin on notera l'opposition entre la dominance unimodale dans Sambrès et une codominance d'un groupe de cinq espèces à Lestrèpe . (liste des abréviations en annexe).



b) Les cortèges d'invertébrés associés aux litières

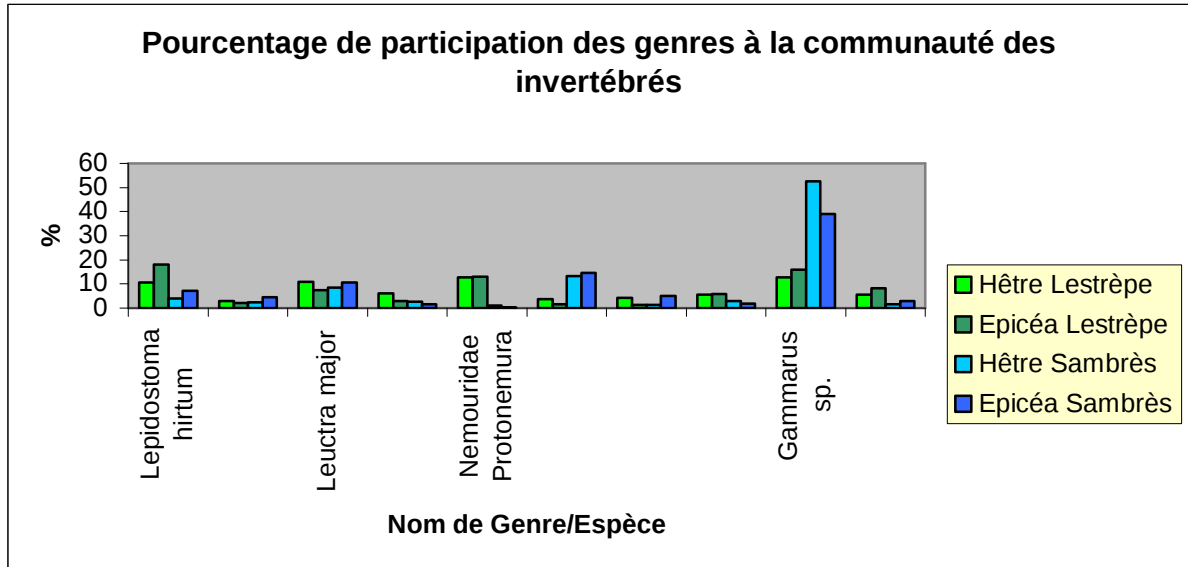


Figure 8. Communautés de décomposeurs.

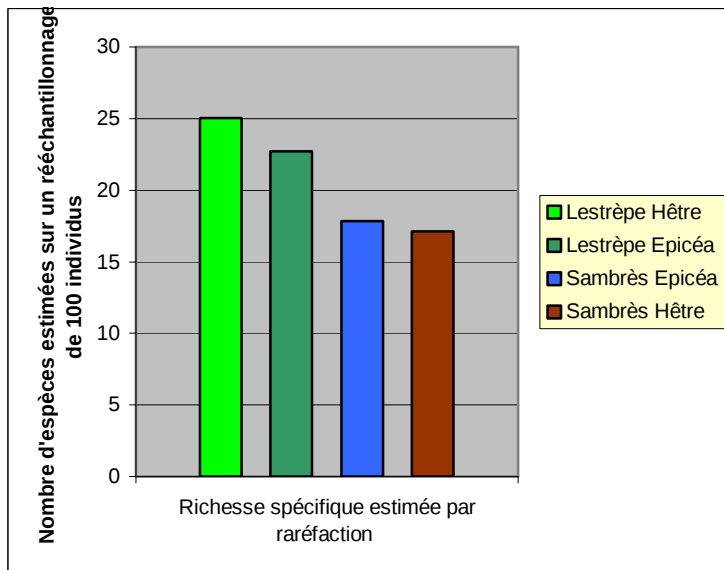


Figure 9. Richesses spécifiques comparées.

On observe également une différence significative entre les deux cours d'eau des richesses spécifiques des invertébrés associés aux litières (T-test, $P < 0,008$), ainsi que de la richesse taxonomique moyenne par échantillon de chaque cours d'eau (T-test, $n = 30$; $t = 1,81$; $0,025 < P < 0,04$).

Comme pour l'inoculum potentiel, il se dessine entre les deux cours d'eau une différence dans la structure des populations : *Gammarus sp.* domine fortement à Sambrès, tandis que la communauté à Lestrèpe est structurée autour d'un groupe de quatre ou cinq espèces dont le poids des populations est sensiblement identique (figure 8.)

IV/ DISCUSSION

1°) Une faible influence du milieu et de la nature de la ripisylve sur la décomposition

a) Il n'y a pas d'effet significatif du milieu sur la vitesse de décomposition des litières

Les résultats obtenus pour la décomposition du Hêtre sont conformes avec la Littérature (Gessner & Chauvet, 1994), mais ceux obtenus pour l'épicéa dans le cours d'eau où il constitue le substrat majoritaire, sont beaucoup plus importants que ceux relevés pour le même type de conifère (Webster & Benfield, 1999 ; Rosset, Bärlocher, 1982) : *Pinus strobus* , $k = 0,0055$; *Picea abies* , $k = 0,0015$.

Cette différence importante s'est expliquée par une limite du dispositif expérimental étudié : en cas de crue et dans des zones d'écoulement turbulent (justement là où étaient placés la plupart des échantillons), un phénomène de reflux peut se produire avec l'appui produit par le filet à maille fine et des aiguilles ont été perdues, en particulier pendant la première quinzaine d'expérimentation. Les échantillons placés dans des écoulements laminaires (configuration de radiers) n'ont pas connu ce problème. C'est pourquoi des coefficients corrigés à partir de $T=14$ ont été calculés, montrant une baisse sensible des taux de décomposition de l'épicéa et laissant les taux du hêtre constants. On en déduit qu'une partie du biais induit par ces pertes mécaniques de litière a pu être ainsi retirée.

Néanmoins l'ANCOVA ne montre pas d'interaction significative entre les facteurs du milieu (peuplement de la ripisylve) et de la litière, mais elle montre un effet significatif de la nature de la litière sur le taux de décomposition ($P\text{-value} = 0,0045$).

On peut supposer qu'en comparant ainsi deux litières dites « réfractaires » à la décomposition, mais dont le k peut varier d'un facteur 2 à 5 entre les deux espèces, dans deux contextes de ripisylves mono spécifiques, on aurait pu mettre en évidence un effet de blocage de la décomposition en contexte résineux. Mais il apparaît que les comportements des deux litières sont trop proches et on a pu constater avec les données des incubations que ce sont les mêmes espèces présentes dans les inoculum des deux cours d'eau qui sont responsables de la dégradation des deux types de litière.

Il semble au regard de l'étude que les résineux ne provoquent pas d'effondrement du fonctionnement du cours d'eau par rapport à une essence feuillue proche par son caractère réfractaire comme le hêtre, mais que ce soit plutôt la diversité elle-même de la ripisylve qui commande l'efficacité des processus de dégradation.

b) *Le cortège des décomposeurs associé dépend du cours d'eau*

En regard des données accumulées, il semble que les résineux ont un effet sur la communauté des décomposeurs. On a vu qu'une faible différence de diversité intervenait entre les sites, mais le résultat le plus intéressant vient de la structuration relative de la communauté d'invertébrés et des hyphomycètes de l'inoculum entre les cours d'eau.

Il n'y a donc pas de variation à proprement parler de la diversité spécifique, car on a retrouvé les mêmes espèces principales pour tous les traitements (figure 8.) mais une structuration de l'abondance relative des espèces probablement liée aux variations des conditions de compétition et qui recoupe des observations antérieures faites par Rosset & Bärlocher (1981).

2°) Quelques indications sur la variation de biodiversité entre peuplements purs.

a) *La diversité de la communauté des décomposeurs est déterminée par la nature des peuplements à l'échelle du cours d'eau.*

Même si l'on a identifié les invertébrés associés aux litières, on peut supposer que leur répartition relative peut être extrapolée au cours d'eau, car on n'a pas relevé d'effet de préférence alimentaire, en particulier pour la litière de hêtre placée dans le cours d'eau traversant la pessière. Il semble alors qu'il n'y ait pas de biais lié à une préférence alimentaire, et la structuration de la communauté d'invertébrés observée sur les litières est transposable à l'échelle du cours d'eau dans ce cas très particulier.

On constate alors une nette dominance monospécifique des cortèges d'hyphomycètes et d'invertébrés dans le cours d'eau de Sambrès, sous épicéa, respectivement par *Flagellospora curvula* (Ingold.) et probablement *Gammarus fossarum* (L.) (figures 8. et 6.). Cela diffère très nettement des cortèges observés sous la hêtraie à Lestrèpe, avec une codominance de quatre à cinq espèces représentant à elles seules plus de la moitié des individus des cortèges.

Cela tendrait peut s'expliquer par la différence entre les deux litières. Si le hêtre et l'épicéa se caractérisent par des feuilles et des aiguilles riches en tanins et donc présentant une résistance chimique à la dégradation, l'épicéa avec sa cuticule cireuse possède en plus un frein physique à la colonisation de l'aiguille mais aussi à sa fragmentation par les invertébrés déchiquetteurs.

Ainsi les gammares très gros et opportunistes y parviennent, avec en bien moindre proportion un plécoptère broyeur comme *Protonemura*, ensuite très peu d'invertébrés sont capables d'attaquer efficacement les aiguilles. Cette tendance est d'autant plus aiguë que ce sont des taxons de collecteurs-filtreurs qui arrivent derrière les gammares en abondance dans le cortège d'invertébrés, signifiant que la fragmentation est assurée par les petits amphipodes.

b) Quels rapports entre diversité, résilience et productivité dans le cas étudié ?

On n'a pu mettre en évidence par l'approche de la perte de masse d'effet de la diversité du milieu sur le fonctionnement général des deux cours d'eau, du moins sur la dégradation des litières. Cependant, en termes de conversion de l'énergie récupérée par la décomposition, on pourrait esquisser une différence entre les deux milieux, du moins pour ce qui concerne les hyphomycètes aquatiques.

Sous épicéa, on aurait plutôt tendance à fabriquer des spores (*cf.* Figure 5.) et sous hêtraie à fabriquer de la biomasse mycélienne (*cf.* Figure 4) : les écarts entre les sites sont constants en fonction de la litière et vont du simple au double. Cela peut probablement s'expliquer par le fait que n'ayant pas à craindre une forte prédation de la part des invertébrés, car aussi bien le hêtre que l'épicéa sont peu et difficilement consommées par les invertébrés (Dang, 2006), les hyphomycètes ont le temps de développer un réseau mycélien fourni avant que l'épuisement du substrat et la compétition avec les invertébrés ne les poussent à sporuler de nouveau (Chauvet, 1992).

Pour l'épicéa, cela n'est probablement pas dû non plus à une relation trophique avec les invertébrés, mais simplement en raison de la faible quantité de tissus digérables contenus dans les aiguilles, nécessitant un réinvestissement rapide des nutriments pour coloniser un nouveau substrat. Néanmoins, cette observation doit être pondérée par la très forte dominance du cortège par *Flagellospora curvula* (Ingold), pionnière et ubiquiste (Chauvet, 1992) qui est de surcroît une des espèces présentant une des plus petites masses conidiennes et un des plus forts taux de sporulation (Dang, 2006 ; Descals & Moralejo, 2001). Elle pourrait donc statistiquement écraser le comportement des autres espèces d'hyphomycètes présentes en quantité faible mais significative dans l'inoculum.

On peut toutefois intégrer cette particularité si l'on considère qu'elle est une caractéristique structurelle du fonctionnement.

3°) Un cas de référence simple offrant des perspectives de recherche intéressants :

a) Permettre la consolidation d'un socle comparatif pour des études ultérieures

La diversité de la ripisylve est un facteur de variabilité du taux de décomposition des litières, au moins feuillues (Lecerf, 2005). Dans cette étude la décomposition était seulement déterminée par la qualité de litière, c'est à dire que l'effet du milieu était uniforme sur les deux sites. Ces deux ruisseaux, l'un sous pessière de Sitka pure et l'autre sous hêtraie pure différaient par la composition du peuplement de leur ripisylve.

On peut donc émettre une hypothèse intéressante à tester, pouvant illustrer la portée et la problématique initiale du sujet : est-ce que la présence de résineux constitue un critère limitant la vitesse de décomposition des litières ou est-ce plutôt la nature monospécifique de la ripisylve qui est prépondérante ? Si leurs effets sur la dynamique du sol sont connus, il faut reconnaître que ces essences se retrouvent souvent par les plantations en situation d'uniformité, et il serait intéressant d'étudier à travers différents sites présentant des ripisylves diversifiées contenant un gradient en proportions de conifères afin de pouvoir discriminer un effet de l'espèce de celui de la diversité sur la décomposition des litières dans ces cours d'eau.

b) Précision du rôle de la biodiversité dans le fonctionnement des écosystèmes aquatiques des cours d'eau forestiers

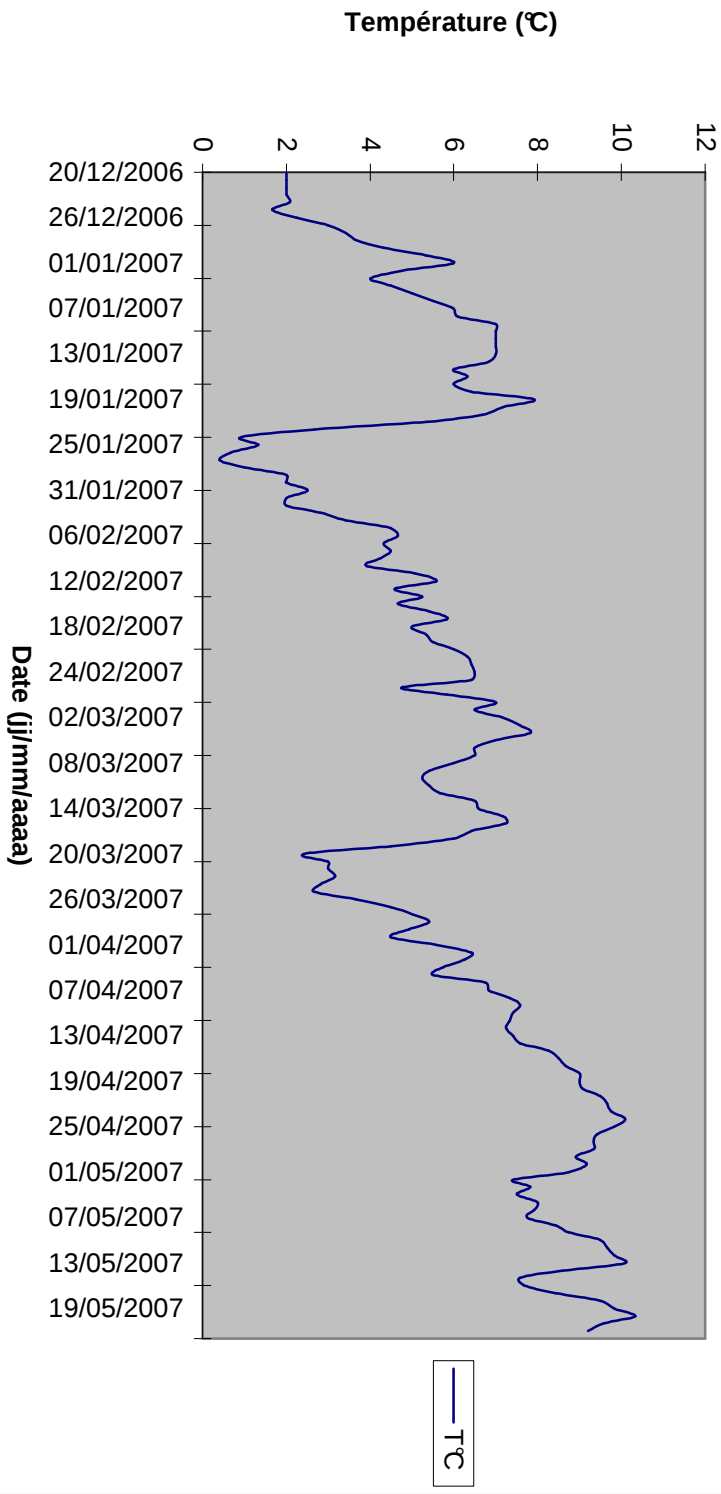
Il est établi que la diversité est un indicateur puissant (Rameau, cours de socio-phytologie 2004-2005) de l'équilibre des milieux naturels en général et les milieux aquatiques en dérogent pas à cette règle. On l'a vu elle apporte une plus grande résilience, et assure le fonctionnement de la chaîne trophique même en cas de forte perturbation car par sa définition même, un réseau plus diversifié possède une plus grande capacité de réorganisation et offre donc plusieurs voies alternatives en cas de rupture de l'itinéraire principal.

Or la question de la productivité dans l'équilibre des milieux est intéressante, et Gessner et Chauvet (2002) ont montré que le taux de décomposition des litières dans les petits cours d'eau forestiers hétérotrophes et oligotrophes était un facteur synthétique du bon fonctionnement de l'écosystème. On sait cependant que certains milieux uniformisés présentent des productivités et des taux de transfert d'énergie élevés (présence d'espèces invasives : chenaux de Gironde envahis par la jussie ou par les écrevisses de Louisiane). En se replaçant dans un contexte écologique général, et en comparant avec la théorie d'équilibre de la diversité se définissant comme un équilibre spatial et temporel issu des interactions entre

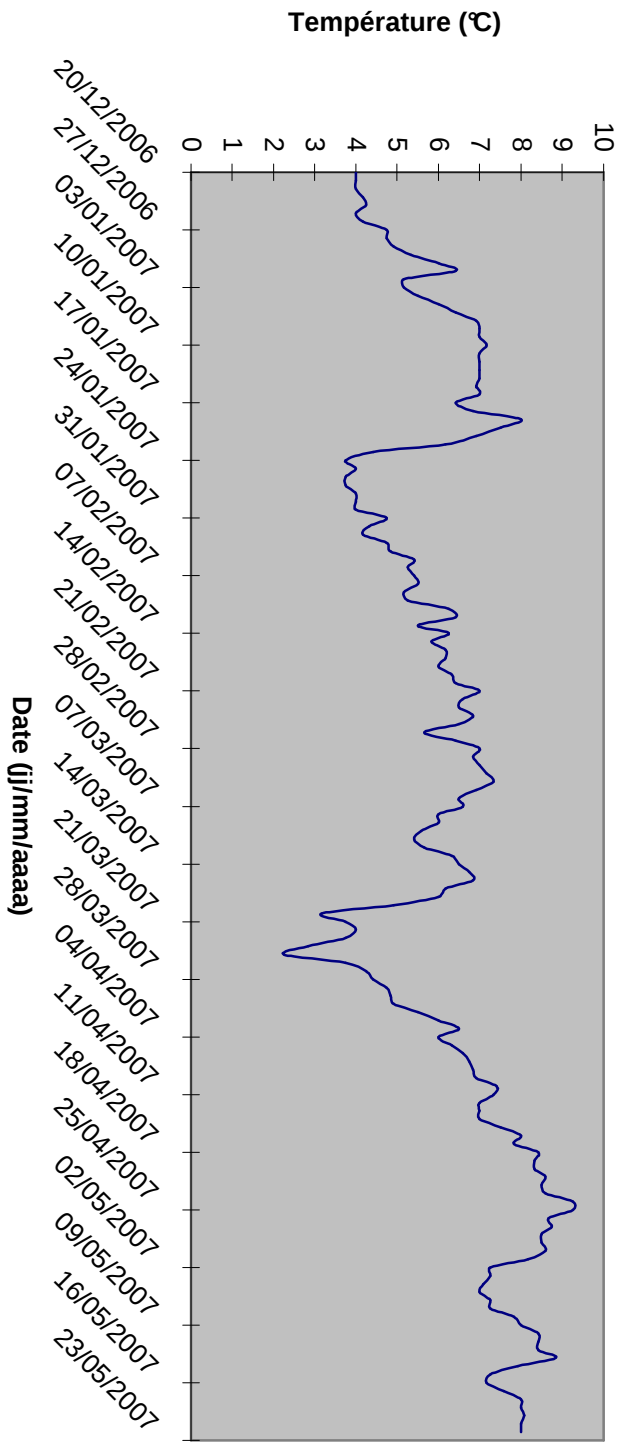
plusieurs voies énergétiques non optimales, on peut se demander alors si un écosystème qui fonctionne bien est un écosystème qui fonctionne vite, indépendamment des ressources dont il dispose ? En d'autres mots, la productivité des compartiments d'un écosystème et sa diversité sont-elles liées ?

ANNEXES

Températures journalières Sambrès



T°C Moyenne Journalière Lestrèpe



Liste des abréviations des espèces d'hyphomycètes :

Alac	<i>Alatospora acuminata</i>
Alpu	<i>Alatospora pulchella</i>
Ancr	<i>Anguillospora crassa</i>
Anfi	<i>Anguillospora filiformis</i>
Anlo	<i>Anguillospora longissima</i>
Anloju	<i>Anguillospora forme anamorphe de Loramyces juncicola</i>
Anro	<i>Anguillospora rosea</i>
Arte	<i>Articulospora tetracladia</i>
Arpr	<i>Articulospora procera</i>
Claq	<i>Clavariopsis aquatica</i>
Clllo	<i>Clavatospora longibrachiata</i>
Coel	<i>Colispora elongata</i>
Cuaq	<i>Culicidospora aquatica</i>
Flcu	<i>Flagellospora curvula</i>
Flfu	<i>Flagellospora fusarioïdes</i>
Helu	<i>Heliscus lugdunensis</i>
Hela	<i>Heliscina campanulata</i>
Hest	<i>Heliscella stellata</i>
Hestcu	<i>Heliscella stellatacula</i>
Isla	<i>Isthmotricladia laeensis</i>
Laun	<i>Lateriramulosa uniinflata</i>
Leaq	<i>Lemmoniera aquatica</i>
Lete	<i>Lemmoniera terristris</i>
Syfr	<i>Sympodocladium frondosum</i>
Tagr	<i>Taniospora gracilis</i>
Teel	<i>Tetrachaetum elegans</i>
Tran	<i>Tricladium angulatum</i>
Trpr	<i>Tricladium procerum</i>
Trro	<i>Tricladium robustum</i>
Trac	<i>Tricelophorus acuminatus</i>
Trmo	<i>Tricelophorus monosporus</i>
Trch	<i>Tricladium chaetocladium</i>
Trsp	<i>Tricladium splendens</i>
Tuaq	<i>Tumularia aquatica</i>
Mysp1	<i>Mycocentrospora sp.1</i>
Rebo	<i>Retiarus bovicornus</i>
Vagi	<i>Variscosporum giganteum</i>
Vael	<i>Variscosporum elodeae</i>

BIBLIOGRAPHIE :

Thèse : Christian K.Dang, Rôle fonctionnel de la biodiversité : hyphomycètes aquatiques et décomposition des litières dans les cours d'eaux, 2006.

- Dang C.K., Chauvet E. & Gessner M.O.; Magnitude and variability of process rates in fungal diversity – litter decomposition relationships
- Dang C.K., Gessner M.O. & Chauvet E.; Influence of leaf structure and conidial shape on attachment success of aquatic hyphomycetes on leaf litter.
- Dang C.K., Wagenhoff A., Chauvet E. & Gessner M.O.; Detecting resource complementarity within leaf litter decomposition mediated by stream fungi.
- Dang C.K., Schindler M., Chauvet E. & Gessner M.O.; Diel temperature oscillations amplify warming effects on litter decomposition.

Baldy V. & Gessner M.O., 1997: Towards a budget of leaf litter decomposition in a first-order woodland stream

Académie des sciences / Elsevier, Paris. Ecology/Ecologie

Bärlocher F., Kendrick B. & Michaelides J., 1978: Colonization and conditioning of *Pinus resinosa* by aquatic hyphomycetes.

Arch. Hydr. 81(4): 462-474

Bärlocher F., The Ecology of Aquatic Hyphomycetes, *Ecological studies*, 1994.

Bärlocher F., Seasonal variation of standing crop and digestibility of CPOM in a swiss Jura stream, *Ecology*, 64(5), 1266-1272, 1983.

Bärlocher F., Conidium production from leaves and needles in four streams, *Can. Journal of Bot.*, vol.60, 1982.

Bärlocher F., 1977: Colonization of conifer needles by aquatic hyphomycetes.

Can. J. Bot. 56: 57-62

Bärlocher F. & Rosset J., Aquatic hyphomycetes spora of two Black Forest and two Swiss Jura streams, *Trans. Br. Mycol. Soc.*, 76(3), 479-483, 1981.

Chauvet E., De la biologie des hyphomycetes aquatiques à l'écologie des rivières, *Cryptogamie, Mycol.*, 13(3), 203-214, 1992.

Chauvet E., 1991 : Les hyphomycètes aquatiques du Sud-Ouest de la France,

J. Biogeogr. 18 : 699- 706

Charcosset J-Y. & Chauvet E., 2001: Effect of cultures conditions on ergosterol concentration in mycélium of aquatic hyphomycètes. *Applied and Environmental Microbiology*, 67, 2051-2055.

Descals E. & Moralejo E., Water and asexual reproduction in the ingoldian fungi, *Botanica complutensis*, 2001, 25, 13-71.

Dangles O., Gessner M.O., Guerold F. & Chauvet E., Impacts of stream acidification on litter breakdown: implication for assessing ecosystem functioning, *Journal of Applied Ecology*, 41, 365-378, 2004.

Gessner M.O. & Chauvet E., 1994 : Importance of stream microfungi in controlling breakdown rates of leaf litter. *Ecology*, 75: 1807-1817.

Gessner M.O. & Chauvet E., 2002: A case for using litter breakdown to assess functional stream integrity. *Ecol. Appl.* 1: 498-510.

Gönczöl J., Révay Á. & Csontos P., Studies on the aquatic hyphomycetes of the Morgó stream, Hungary. I. Longitudinal changes of species diversity and conidial concentration, *Acrh. Hydrobiologie*, 144(4), 473-493, March 1999.

Gönczöl J., Révay Á. & Csontos P., Effect of sample size on the detection of species and conidial numbers of aquatic hyphomycetes collected by membrane filtration, *Acrh. Hydrobiologie*, 150(4), 677-691, March 2001.

Graça M.A.S. & Pereira A.P., The degradation of pine needles in a mediterranean stream, *Arch. Hydrobiologie*, 134(1), 119-128, July 1995.

Graça M.A.S., Bärlocher F. & Gessner M.O. (eds.), 2005: Methods to study litter decomposition, a practical guide, 189-195, Springer, Printed in Netherlands

Gulis V., Are there any substrate preferences in aquatic hyphomycetes ?, *Mycological research*, 105(9), 1088-1093, September 2001.

Hoover T.M., Richardson J.S. & Yonemitsu N., 2006 : Flow-substrate interactions create and mediate leaf litter resource patches in streams.

Freshwater Biology (2006) 51, 435-447

Ingold C.T., 1942 : Aquatic hyphomycetes of alder decaying leaves. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 25: 339-415

Ingold C.T., 1975 : An illustrated guide to Aquatic and Water-born Hyphomycetes (Fungi Imperfecti) with notes and their biology.

Sci. Publ. No 30, *Freshwater Biological Association*, 96 p.

Iversen T.M. & Madsen B.L., 1977: Allochthonous organic matter in streams. *Folia limnologia Scandinavia* Vol. 17

Karlsson O.M., Richardson J.S., Kiffney P.M., 2005: Modelling organic matter dynamics in headwater streams of South-Western British Columbia, Canada.

Ecological Modelling 183: 463-476

Kaushik N.K. & Hynes H.B.N., 1971 : The fate of dead leaves that fall into streams.

Archiv für Hydrobiologie 68: 465-515

Laitung B., Pretty J.L., Chauvet E. & Dobson M., 2002, Response of aquatic hyphomycete communities to enhanced stream retention in areas impacted by commercial forestry, *Freshwater Biology*, 47, 313-323.

Lecerf A., 2005. Perturbations anthropiques et fonctionnement écologique des cours d'eau de tête de bassin : Etude du processus de décomposition des litières.
Thèse de doctorat Toulouse III. 159 pp. 23-48.

Minshall G.W., Cummins K.W., Vannote R.L., Developments in Stream Ecosystem Theory, *Canad. J. Fish. Aquat. Sci.* 42: 1045-1055

Newell S.Y., 1992: Estimating fungal biomass and productivity in decomposing litter. In G.C. Carroll & D.T. Wicklow (eds.), *The Fungal Community. Its Organization and Role in the Ecosystem* (pp.521-561), 2nd ed. Marcel Dekker. New-York.

J.S.Richardson, C.R.Shaughnessy & P.G.Harrison, 2004: Litter breakdown and invertebrate association with three types of leaves in temperate rainforest stream, *Arch. Hydrobiol.*, 159(3), 309-325, March 2004.

Richardson J.S., Bilby R.E. & Bondar C.A., 2005: Organic matter dynamics in small streams of the Pacific Northwest.
JAWRA, August 2005

Rosset J., Bärlocher F. & Oertli J.J., Decomposition of Conifer needles and Deciduous leaves in two Black Forest and two Swiss Jura streams, *Int. Revue ges. Hydrobiol.*, 67(5), 695-711, 1982.

Scheerer, 2005

Tachet H., Richoux P., Bournaud M. et Usseglio-Polatera P. (éds.), 2000. *Invertébrés d'eau douce. Systématique, Biologie, Ecologie*. CNRS éditions, Paris.

Vannote R.J., Minshall G.W., Cummins K.W., Sedall J.R. & Cushing C.E., 1980 :
The river continuum concept.
Canad. J. Fish. Aquat. Sci. 37: 130-137

Webster J. & Descals E. ,1981: Morphology, distribution and ecology of conidial fungi in Freshwaters habitats. In: Cole G.C. & Kendrick B., eds., *Biology of the Conidial Fungi*, vol.1. Academic Press, London, pp. 295-355.

Webster J.R. & Benfield E.F., 1986: Vascular plant breakdown in freshwater ecosystems
Ann. Rev. Ecol. Syst. 17: 567-594

Webster J.R. & Benfield E.F., 1999: What happens to allochthonous material that fall into streams? A synthesis of new and published information from Coweeta.
Freshwater biology (1999) 41, 687-705

Wipfli M.S., Richardson J.S., Naiman J.R., 2007: Ecological linkages between Headwaters and Downstream systems. Transports of organic matter, invertebrates and wood down headwater channels. *JAWRA* (February 2007)

RESUME

La décomposition des litières dans les cours d'eau forestiers est un paramètre synthétique du fonctionnement de l'écosystème. On l'a utilisée pour étudier l'effet de la diversité forestière sur le fonctionnement du cours d'eau. Le travail de ce stage s'est limité à l'étude d'un cas simple de référence : la comparaison croisée du processus de dégradation des litières du hêtre et de l'épicéa de Sitka, constituant les ripisylves monospécifiques de deux cours d'eau forestiers de la Montagne Noire. La décomposition a été étudiée sous deux approches : l'une quantitative, en étudiant directement la perte de masse, et indirectement en estimant la biomasse fongique et la quantité de spores produites lors d'expériences de sporulation ; l'autre qualitative par l'étude de la communauté des décomposeurs associés aux litières, invertébrés et hyphomycètes aquatiques. L'analyse a montré que dans le cas de peuplements monospécifiques, le milieu avait un effet limité sur la décomposition des litières. Cette dernière était dans ce cas déterminée par les propriétés intrinsèques des litières de hêtre et d'épicéa, indépendamment du milieu. Cependant une tendance à une structuration monospécifique des cortèges de décomposeurs (hyphomycètes et invertébrés) s'est dessinée dans le cours d'eau couvert d'épicéa par rapport aux cortèges légèrement mais significativement plus diversifiés et structurés autour d'un groupe de quelques espèces clés du ruisseau couvert par la hêtraie.

Mots-clés : diversité, décomposition, litière, épicéa, hyphomycètes

ABSTRACT

Leaf-litter breakdown is a synthetic parameter of ecosystem functioning in forested upland streams. We used it as a variable to test if the forest diversity had an effect on the functioning of the stream ecosystem. This work focused on a simple case, the study of leaf litter breakdown of spruce needles and beech leaves between two upland streams of the Black Mountains respectively afforested with pure beech and spruce trees.

Litter breakdown have been studied by two ways. The first one quantitative, observed directly the massloss of samples and inrectly by mesuring fungal biomass and spore production. The other qualitative, by the study of the shredders and hyphomycetes guilds. Analysis showed that middle had no effect on breakdown in the case of monospecific forests. Litter breakdown was fully correlated with inners properties of spruce and beech litters. However results pointed out the trend of a structuration monospetic of decomposers communities in the spruce-forested stream, opposed to the slightly but significantly more diversified communities structured around a few species pool of the beech-forested stream.