

**Mémoire de Maîtrise en Biologie des
Populations et des Ecosystèmes
Université Pierre et Marie Curie -Paris 6-
2001-2002**

par

Stéphanie CATSIDONIS

**Amélioration du système
litière des Eucalyptus par
la coplantation d'Acacias
australiens**

Soutenu le 12 juin 2002
devant le jury du module « L'Homme et la Biosphère »

**Sous la direction de Madame France REVERSAT
Directeur de recherche
Laboratoire d'Écologie des Sols Tropicaux
IRD de BONDY**

Résumé

Notre étude vise à démontrer un éventuel effet de la coplantation d'acacias australiens, *Acacia mangium* et *Acacia auriculiformis* sur le système litière d'un eucalyptus hybride naturel PF1 venant d'Australie. Cet eucalyptus est planté massivement au Congo, dans un but industriel, où il est une espèce exotique et n'a donc pas la faune et la microflore adéquates pour procéder à sa décomposition. Cet eucalyptus est aussi connu pour avoir une teneur importante en carbone soluble, en tanins et surtout en phénols hydrosolubles qui empêchent fortement sa décomposition. Il présente également un fort effet allélopathique sur la végétation avoisinante, démontré en 1993 par Bernhard-Reversat.

Or les acacias sont des légumineuses et sont capables de fixer l'azote atmosphérique. La teneur en azote de ces litières est donc beaucoup plus importante que celle de la litière d'eucalyptus. Or il a été montré par de nombreux auteurs que le taux de décomposition des litières est très dépendant de la qualité chimique de la litière et notamment du rapport C/N.

Donc l'hypothèse testée dans cette étude est que les acacias, grâce à leur forte teneur en azote et leur faible teneur en composés solubles, favoriseraient la dégradation de la litière d'eucalyptus.

Pour cela, trois expériences sont mises en œuvre :

L'expérience de dégradation des phénols n'a pas permis de montrer une amélioration significative de la dégradation de ces phénols par l'association des acacias. Mais la tendance est tout de même à une diminution de la teneur de ces phénols.

L'expérience de respirométrie a permis d'établir une relation significative entre la présence de ces acacias et une augmentation de la respiration des litières et donc une augmentation de la minéralisation du carbone soluble.

Quant à la troisième expérience, qui consistait en un dosage de l'azote minéral au cours du temps, les résultats ont montré une augmentation mais non significative de sa quantité dans les litières d'eucalyptus.

Il faut noter que beaucoup de facteurs environnementaux n'ont pas été pris en compte dans cette étude comme la macrofaune, le climat ou encore la qualité du sol, mais les résultats montrent tout de même une amélioration globale de la litière d'eucalyptus en nutriments par cette coplantation. Une diminution de la teneur en phénols hydrosolubles ainsi qu'une augmentation de la quantité de carbone soluble minéralisé ont pu être observées dans la litière d'eucalyptus grâce à cette association. Donc les acacias sont de bons candidats à une coplantation en agroforesterie et permettraient une meilleure synchronisation entre la libération des nutriments et le besoin des plantes.

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier Madame Reversat pour m'avoir acceptée en tant que stagiaire pour ce mémoire de Maîtrise ainsi que pour les précédents stages effectués. Je la remercie également pour ses conseils et l'attention qu'elle a su me porter.

Je remercie aussi Monsieur Patrick Lavelle pour son aide à la rédaction de ce mémoire.

Je tiens à remercier Monsieur Jean-Pierre ROSSI pour ses conseils au sujet des analyses statistiques effectuées pour ce mémoire.

Je tiens par ailleurs à remercier tous les stagiaires et thésards du laboratoire qui m'ont aidé à réaliser certaines manipulations et pour leurs conseils (Katia, Valérie, Jocelyne, Johanne, Fabien, Florence, Mostafa, Alexandre et tous les autres qui ont su rendre le travail agréable en leur compagnie)

Je remercie enfin tous les enseignants de la Maîtrise de m'avoir fait découvrir l'Ecologie sur le terrain et de m'avoir fourni les clés pour étudier les différentes problématiques environnementales à l'avenir.

SOMMAIRE

Composé de 30 pages dont 16 figures et 5 tableaux dans le texte

I- INTRODUCTION	1
II- Matériels et Méthodes	2
II-1 Sites d'étude	2
II-2 Types de litières étudiées	2
II-3 Analyses des litières en composés solubles	3
II-4 Analyses des fibres et de l'azote des litières	5
II-5 Expériences	5
III- Résultats et Discussion	8
III-1 Caractérisation du matériel végétal	8
III-2 Expérimentations	14
IV- CONCLUSIONS	23
ANNEXES	
Diagramme ombro-thermique de la région de Pointe-Noire	I
Courbe étalon du dosage des tanins précipitants	II
Courbe étalon du dosage des nitrates	III

I-INTRODUCTION

La matière organique du sol est un élément essentiel dans l'interaction entre les plantes et leur environnement. Son rôle le plus important est une réserve en azote et en d'autres nutriments nécessaires aux plantes. Elle est aussi la première source d'énergie et de nutriments pour de très nombreux organismes du sol et a donc un rôle central dans l'exploitation durable des territoires.

Dans les sols à forte production, les intrants permettent de contrebalancer l'appauvrissement en matière organique, due à une augmentation constante de demande en nourriture liée à la croissance de la population. Les engrais peuvent être utiles pour maintenir la production dans de nombreuses exploitations à fort potentiel ou pour accroître la production dans des zones marginales (E.T. Craswell and R.D.B. Lefroy 1999).

De grandes exploitations mal gérées peuvent conduire rapidement à un appauvrissement critique du sol en matière organique et perdre alors la possibilité d'optimiser l'exploitation des ressources naturelles. Des travaux de recherche sont entrepris dans le but d'améliorer la rentabilité des cultures sans épuiser le sol en nutriments.

Et ce mémoire s'intègre dans le programme de recherche de l'UR2PI (Unité de Recherche sur la Productivité de Plantations Industrielles), dont les recherches se basent sur les plantations d'eucalyptus au Congo. Ces plantations d'essences à croissance rapide sont très répandues afin de répondre à une demande croissante du marché en pâte à papier, en charbon de bois ou en bois de construction.

Les litières des plantations d'eucalyptus sont caractérisées par une forte teneur en matière organique hydrosoluble, par une forte teneur en composés phénoliques, une faible teneur en azote et contiennent aussi d'autres métabolites secondaires tels que des terpènes.

Il en résulte que le système litière est très perturbé et cela se caractérise par une disparition rapide de la fraction soluble, facilement dégradable, une décomposition lente de la fraction insoluble, l'immobilisation de l'azote qui s'accumule dans la litière, une faune peu abondante, une faible teneur en matière organique et en azote du sol. Il y a de plus une disparition de la végétation associée. De ce fait, la nutrition minérale des eucalyptus en croissance n'est pas assurée et le stock d'azote tend à diminuer.

Or les espèces d'acacias sont connues pour fixer l'azote atmosphérique (Lawrie, 1981), et par conséquent des essais de plantations associées d'acacias australiens (*Acacia mangium* et *Acacia auriculiformis*) ont été réalisés afin d'améliorer la nutrition azotée des arbres et de réduire aussi l'utilisation d'engrais. En effet, le taux de fixation d'azote mesuré pour les eucalyptus est de 14-21 kg.ha⁻¹.an⁻¹ alors qu'il est de 120-141 kg.ha⁻¹.an⁻¹ pour les acacias (Bernhard-Reversat, 1993). Cette introduction devrait changer complètement le système litière des plantations.

L'hypothèse est donc que la coplantation d'acacias australiens avec des eucalyptus favorise la décomposition de la litière d'eucalyptus et le recyclage des nutriments. Cette action des acacias serait due à leur grande teneur en azote ou à leur teneur en composés facilement dégradables.

II- Matériels et Méthodes

II-1- Site d'étude

Le site d'étude est localisé dans la région côtière sud du Congo près de Pointe-Noire (4°48'S, 11°54'E) et près de Loudimo (4°07'S, 13°51'E). Les précipitations annuelles sont de l'ordre de 1250 mm avec quatre mois de sécheresse de juin à septembre. La température moyenne annuelle est de 25°C.

Les sols sableux de savane du sud-ouest du Congo sont très pauvres en argiles et en nutriments et sont donc inadaptés pour l'agriculture. C'est pour cela que depuis une vingtaine d'années, les sols ont été plantés avec des arbres à croissance rapide dont les eucalyptus dans une optique industrielle (Bernhard-Reversat, 1993).

Nous pouvons noter de suite la conséquence de la caractéristique de ces sols pauvres en argiles, dont le rôle est normalement d'agglomérer les composés organiques. Donc les acides organiques agressifs ne sont pas neutralisés et s'infiltrent dans les horizons minéraux du sol où ils ont un rôle important dans la dégradation minérale et ils favorisent le déplacement des ions et de l'aluminium vers les horizons inférieurs du sol (Lavelle, Spain, 2001).

Avant de procéder aux expériences, des analyses de ces litières sont effectuées préalablement afin de caractériser ce matériel de travail en ses principaux composés :

II-2-Types de litières étudiées

Tout d'abord nous pouvons définir ce que contient exactement le système litière. Ce système comprend les feuilles des arbres, les racines latérales de surface, les invertébrés épigés et les communautés microbiennes dominées par les champignons (Lavelle, Spain, 2001).

Les études de ces litières sont faites avec des feuilles fraîchement tombées au pied des arbres étudiés, identifiées par leur couleur jaune ou marron-claire. De cette manière nous sommes sûr d'avoir du matériel de même âge. Les expériences ultérieures viseront à simuler une dégradation artificielle de ces litières au cours d'incubations et à étudier l'évolution de leurs principaux composants.

Afin de tenter de vérifier l'hypothèse soulevée précédemment, nous utilisons deux types de litières, les acacias et les eucalyptus. Deux espèces d'acacias australiens ont été utilisées pour étendre les résultats et observer une éventuelle différence de comportement entre ces deux espèces d'acacias, ces deux espèces étant essayées au Congo.

L'eucalyptus utilisé, nommé PF1, est un hybride naturel entre *E.alba* et un autre parent indéterminé mais avec une prédominance pour *E.urophylla* et *E.grandis*.

L'eucalyptus est originaire d'Australie mais il est planté à grande échelle dans les pays tropicaux dans un but industriel. Il est donc une espèce exotique dans ces pays tropicaux et ne bénéficie donc pas de la faune et de la microflore habituelles, non développées dans cette région. Or ces organismes sont accommodés aux caractéristiques chimiques des feuilles d'eucalyptus, et leur absence conduit à une mauvaise dégradation des litières d'eucalyptus.

En effet, la pourriture blanche observée en abondance sur les feuilles d'acacia et qui contribue à sa dégradation n'est pas ou très peu observée sur les litières d'eucalyptus (Bernhard-Reversat et Schwartz, 1997).

Roger and Westman (1977) ont montré que dans sa zone d'origine, le taux de décomposition des eucalyptus était plus élevé qu'au Congo, ce qui confirme les problèmes écologiques conséquents à ces plantations intensives.

A.mangium et *A.auriculiformis* sont aussi des espèces exotiques mais présentent un taux élevé du recyclage de la matière organique et une forte productivité sur des sols pauvres, d'après les études de Bernhard-Reversat (1993). Cela est dû à leur contenu azoté élevé et au fait que ces litières ne présentent pas de polyphénols toxiques.

Les acacias australiens possèdent des phyllodes pour organes photosynthétiques, mais nous les assimilons à des feuilles tout au long de cette étude.

La chute annuelle de litière est d'environ 5 tonnes par hectare sous eucalyptus et de 8 à 10 tonnes par hectare sous acacia.

La production de litière d'acacia est environ 30 à 45% plus élevée que celle d'eucalyptus (Bernhard-Reversat, 1993).

II.3.Analyses des composés solubles des litières:

Les analyses des composés solubles sont effectuées à partir d'extraits à l'eau distillée. Ces extraits sont obtenus par le mélange de 1g de chacune de ces litières broyées dans 60 ml d'eau distillée. Le mélange est agité pendant deux heures à 60 tour/min. et à température ambiante.

Une première constatation importante est que les extraits de litière d'acacias sont assez clairs alors que ceux de la litière d'eucalyptus sont très foncés.

II.3.1.Les composés phénoliques hydrosolubles

Les extraits obtenus après agitation sont filtrés afin de ne recueillir que l'extrait aqueux.

Le dosage s'effectue selon le principe de la méthode de Folin Ciocalteu, avec une variante mise au point par HachTM (anonyme, 1994) par ajout de Tanniver[®] et de carbonate de sodium. Ce dosage des phénols par colorimétrie (690 nm) prend en compte tous les composés solubles aromatiques hydroxylés incluant entre autres les tanins et les crésols. La coloration bleue de cette méthode est proportionnelle à la quantité de ces composés qui sont exprimés en équivalent acide tannique.

II.3.2.Les composés phénoliques extraits au méthanol :

Cette méthode permet d'extraire les composés phénoliques insolubles à l'eau. Ces phénols sont solubilisés au méthanol à 50 %, sur le résidu de l'extrait à l'eau.

Afin de s'assurer de n'extraire que ces polyphénols non hydrosolubles, il faut procéder à différents lavages à l'eau distillée de 1g de litière broyée jusqu'à ce que l'eau du lavage soit incolore. A ce moment nous pouvons considérer que la totalité des phénols hydrosolubles ont

été lessivés. Le filtre ainsi que la litière lavée à l'eau sont alors introduits dans 50 ml de méthanol à 50 % dans l'eau et mis à incubation 1 heure au bain marie à 80 °C. Le mélange obtenu est filtré ou si nécessaire centrifugé 30 minutes à 5500 tour/min. Le dosage des ces polyphénols s'effectue par colorimétrie (690 nm) après ajout de carbonate de sodium et de Tanniver®.

II.3.3.Carbone soluble total

Le carbone soluble est déterminé par la méthode de demande chimique en oxygène (DCO) par dosage colorimétrique (610 nm) : tous les composés organiques oxydables réduisent l'ion dichromate en ion chrome (vert). L'oxydant (ion dichromate jaune) est en quantité connue et toujours en excès, et c'est lui qui est mesuré (méthode HachTM, anonyme, 1994). Les tubes à essais sont déjà remplis de cette solution de dichromate jaune. On y ajoute 1 ou 2 ml de l'extrait selon sa concentration. Ces tubes sont ensuite mis à incuber à 180°C pendant 2 heures. La lecture se fait ensuite au colorimètre quand les tubes ont bien refroidi. Pour calculer la quantité de carbone, nous faisons l'approximation qu'il ne s'agit que de glucides. Par cette méthode nous mesurons la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder les glucides contenus dans les litières.

II-3-4-Les tanins précipitants

Ce dosage se fait à partir des extraits réalisés pour les dosages des composés solubles. A 1ml d'extrait, on ajoute 1 ml de sérum albumine bovine (SAB) préparé avec un tampon acétate à pH=5. Le SAB permet la précipitation des tanins, et ce précipité est centrifugé à 10 000xg pendant 10 min. Ce culot est lavé puis il est resolubilisé grâce à du sodium dodécyl sulfate (SDS), puissant détergeant qui brise les liaisons tanins-protéines. Le dosage des phénols récupérés est réalisé par une solution de chlorure de fer et la quantité de tanins est déduite de la courbe d'étalonnage (annexe II). Le dosage peut également se faire par la méthode Hach au Tanniver®. Cette méthode permet de doser plus de 90% des tannins précipitants.

II-4-Analyse des fibres et de l'azote des litières

II-4-1- Les fibres

Les fibres sont déterminées par la méthode Van Soest (1963). Cette méthode consiste en une succession d'hydrolyses, au détergeant neutre, au détergeant acide -CTAB et à l'acide sulfurique à 72%. Ces hydrolyses sont réalisées dans un vase réactionnel Fibersac®. Après chaque hydrolyse, le poids de litière restant nous indique la quantité de matériel qui a été dégradé lors de l'hydrolyse. Cela nous permet de déterminer les proportions respectives de fraction labile, d'hémicellulose, de cellulose et de lignine des différentes litières

II-4-2-L'azote total

Avant de doser l'azote total il faut procéder à sa minéralisation . Pour cela, 0.075g de litière broyée est ajouté à 1ml d'eau oxygénée et à 2ml d'acide sulfurique à 10%. Les tubes sont mis à chauffer et tous les jours, trois gouttes d'eau oxygénée sont ajoutées jusqu'à une décoloration totale de la solution.

Pour le dosage, la solution est ramenée à pH=7 et dosée par la méthode de Nessler[®], en utilisant du dispersant, du stabilisant et du réactif de Nessler[®], selon la méthode Hach. (anonyme, 1994) . La lecture se fait par colorimétrie à 420 nm.

II-5-Expériences

Le but de ces expériences est d'observer le comportement des litières mélangées en proportions différentes. Les différents composés sont dosés à intervalle de temps réguliers.

II-5-1-Dégradation des phénols solubles

Cette expérience va nous permettre de répondre à une partie de la question posée dans l'hypothèse: est ce que les litières d'acacia favorisent la dégradation des phénols hydrosolubles présents en grande quantité dans les litières d'eucalyptus?

Nous travaillons sur des extraits de litières fraîches:

- Extrait de litière d'*Acacia mangium*
- Extrait de litière d'*Acacia auriculiformis*
- Extrait de litière d'eucalyptus
- Extrait d'Eucalyptus + extrait d'*Acacia mangium*
- Extrait d'Eucalyptus + extrait d'*Acacia auriculiformis*

Les mélanges sont faits avec des proportions différentes de chacune des litières comme cela est présenté dans le tableau ci-dessous (tableau 1):

Tableau 1 : Schéma de mélange des litières en proportions différentes.

Eucalyptus	A.m. ou A.a.
100 %	0%
66%	34%
50%	50%
34%	66%
0%	100%

Par ces différents mélanges, nous pourrions étudier le comportement de chacune des litières mélangées en différentes proportions

Pour l'incubation, 12 ml d'extraits aqueux de litière sont mélangés à 200g de sable de Fontainebleau et à 2 ml de solution de sol des plantations (Congo), obtenue en mélangeant 20

g de sol dans 100 ml d'eau distillée pendant 30 minutes. Le sable contenant les 12 ml d'extrait est placé dans un bocal hermétiquement fermé et dans une étuve à 30°C pendant 5 jours. Ensuite le mélange est extrait avec 100 ml d'eau distillée pour récupérer les phénols restants. Les phénols extraits sont dosés par la méthode au Tanniver[®] (méthode Hach[™], anonyme, 1994).

II-5-2-Expérience de respirométrie

De même que pour l'expérience de dégradation des phénols, les litières sont mélangées en proportions différentes afin de mesurer l'évolution de la respirométrie des litières.

Les émissions de CO₂, qui sont principalement le résultat des processus microbiens, sont utilisées pour estimer le taux de décomposition des différentes litières.

Pour réaliser cette expérience, 1g de litière broyée (eucalyptus seul, acacia seul, acacia et eucalyptus en proportions différentes) est mélangé à 50 g de sable de Fontainebleau dans des tasses en plastique. Le pourcentage de rétention de ce sable est de 15 % donc nous humidifions ce sable avec 7.5 ml de liquide (2 ml d'extrait de sol + 5.5 ml d'eau distillée) pour que la minéralisation puisse se faire. L'humidité est régulièrement ajustée pour assurer le bon déroulement de la minéralisation.

Les tasses sont ensuite placées dans des bocaux de 1143 ml dont le bouchon possède des tubulures qui permettent une arrivée et une sortie d'air.

Le tout est mis à incuber dans une étuve à 30 °C et des mesures de respiration sont effectuées à 2, 4, 7, 14, 21 jours.

Lors du dosage du dioxyde de carbone, les bocaux sont sortis les uns après les autres et de l'air ambiant y est mis à circuler pour éliminer le CO₂ qui s'est accumulé pendant l'incubation. Les témoins nous permettent d'avoir les résultats correspondants aux conditions de l'air ambiant.

Puis les extrémités sont pincées pour ne pas que l'air s'en échappe et les tubulures sont fermées par des bouchons. Les tubes sont alors remis à incuber pendant 20 min., 30 min. ou 1 heure selon l'échantillon.

Après l'incubation, les bocaux sont sortis et les tubulures sont connectées aux tuyaux de l'analyseur à infrarouge. L'appareil nous donne directement la teneur du CO₂ dégagé pendant l'incubation en ppm de CO₂. Une extrapolation permet de calculer le CO₂ pour toute la période comprise entre deux mesures.

Les résultats exploités seront exprimés en carbone dégagé (mg C / g de litière) cumulé en fonction du temps .

II-5-3- Expérience d'ammonification et de nitrification

Cette expérience a pour but d'étudier l'évolution de la quantité d'azote minéral dans les litières d'acacia seul, les litières d'eucalyptus et le mélange de ces deux litières en proportions différentes sur le même principe que les expériences précédentes.

Pour procéder à cette expérience, nous mélangeons 1g de litière dans 50 g de sable de Fontainebleau qui est humidifié à 15 % avec 5.5 ml d'eau distillé et 2 ml d'extrait du sol des plantations (Congo).

Ce mélange est effectué dans des tasses en plastiques placées dans des bocaux. Ces bocaux sont placés dans une étuve à 30 °C et des mesures de nitrate et d'ammonium sont effectuées à 0, 7, 14 et 21 jours.

Pour le dosage de l'ammonium, 10g de l'échantillon est prélevé et mélangé à 30ml de NaCl à 10%. L'agitation se fait pendant 30 min. à 60 tours/min à température ambiante. Avant la filtration (et éventuellement la centrifugation si l'échantillon est trouble) du charbon activé est ajouté jusqu'à décoloration totale de l'échantillon. Le dosage est ensuite réalisé par la méthode de Nessler (dispersant, stabilisant et réactif de Nessler) (anonyme, 1994). La lecture se fait au colorimètre à 420 nm. Nous obtenons des mg d'ammonium / ml. Le tout est ramené à des mg/g de litière.

Pour le dosage des nitrates, il faut auparavant faire une gamme étalon (cf. annexes). Ensuite 10g de l'échantillon sont prélevés et mélangés à 30 ml d'eau additionnée de sulfate de cuivre à 2,5%. Le sulfate de cuivre est un antibiotique qui nous permet de stopper l'activité microbienne. L'agitation se fait pendant 30 min à 60 tours/min à température ambiante. Avant la filtration (ou éventuellement la centrifugation si l'échantillon est trouble), de la chaux et du carbonate de magnésium sont ajoutés pour précipiter le sulfate de cuivre. Ensuite, 5ml du filtrat est prélevé et mis à évaporer dans un bêcher. Puis 2 ml d'acide phénoldissulfonique sont ajoutés pour remettre en solution les sels. Après refroidissement 20 ml d'eau distillée puis 10 ml d'ammoniaque à 28% sont ajoutés. La lecture se fait ensuite au colorimètre à 420 nm.

II-6- Analyses statistiques

Les données sont traitées grâce au logiciel Statview[®]. Les tests réalisés sont: des ANOVA non paramétriques (Kruskal-Wallis), des régressions (composante principale), des Test U de Mann and Whitney (non paramétriques). En effet, la plupart des résultats ne suivent pas de distribution normale. Il est vrai que ces test non paramétriques ne permettent pas de tester l'interaction entre deux facteurs, mais ils nous permettent tout de même d'estimer la pertinence de nos résultats.

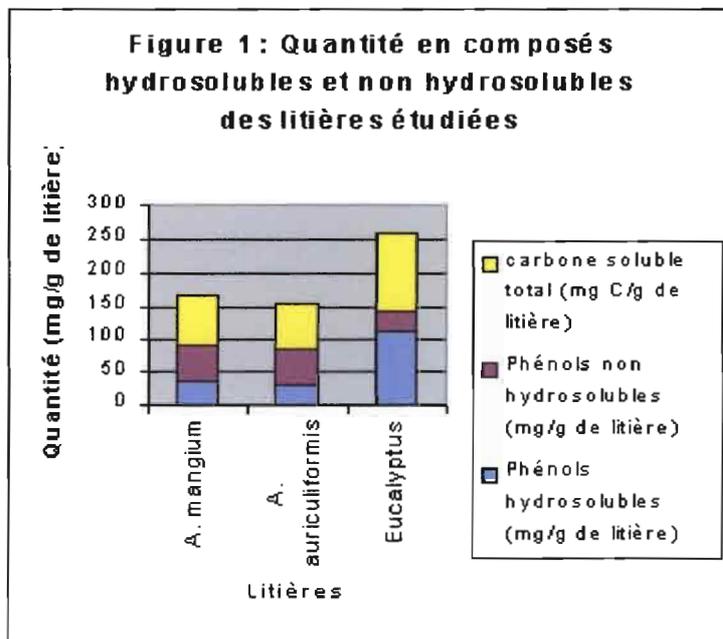
III-Résultats et Discussion

III-1-Caractérisation du matériel végétal

III-1-1-Les composés solubles

Tableau 2 : Teneurs moyennes en composés solubles et non solubles des litières, exprimées en mg/g de litière.

Litières	Phénols hydrosolubles (mg/g de litière)	Phénols non hydrosolubles (mg/g de litière)	carbone soluble total (mg C/g de litière)
A. mangium	37	54	73
A. auriculiformis	32	51	72
Eucalyptus	112	31	118



Par une ANOVA, nous constatons qu'il existe une différence significative de la teneur en phénols hydrosolubles ($p=0.028$), en phénols non hydrosolubles ($p=0.0252$) et en carbone soluble ($p=0.0054$) entre la litière d'eucalyptus et celle des deux acacias (Figure 1).

La litière d'eucalyptus présente donc une teneur en composés solubles (phénols et carbone) beaucoup plus importante que les acacias.

Des résultats similaires ont été démontrés par Bernhard-Reversat en 1999, où il a été constaté que peu de matière organique soluble était retrouvée dans les litières d'acacias, tandis que, dans celle d'eucalyptus, la matière organique était plus résistante à la dégradation et était, par conséquent, retrouvée dans les extraits.

En effet, la grande différence entre l'eucalyptus et les espèces d'acacia est la capacité des composés hydrosolubles des acacias à être minéralisés tandis que ceux des eucalyptus sont surtout lessivés (Bernhard-Reversat, 1993).

Nous nous sommes attardés sur l'étude de ces composés hydrosolubles facilement lessivables des eucalyptus, car il a été démontré, dans cette même étude, qu'ils avaient un effet allélopathique fort sur la végétation avoisinante, lors des premiers jours de décomposition de cette litière, et j'ai pu m'en rendre compte dans des études antérieures. Les litières d'acacias ne montrent, quant à elles, que très peu d'effets. Même si l'effet des eucalyptus ne se produit que sur un court laps de temps, il ne faut pas oublier que la chute des feuilles se produit durant toute l'année, et que la quantité de litière fraîche est constamment renouvelée.

Murata et al. en 1990 ont découvert l'existence de composés antibiotiques dans les feuilles de *E. macrocarpa*, ce qui pourrait expliquer la faible capacité du carbone soluble des eucalyptus à être minéralisé et également l'effet allélopathique des polyphénols précédemment exposé.

Par ailleurs, la faible capacité de la litière d'eucalyptus à être décomposée peut-être expliquée par les complexes phénols-protéines qui se forment à la mort des organes végétaux, par la réaction des composés polyphénoliques avec les protéines cytoplasmiques. Or nous avons vu plus haut que la litière d'eucalyptus est très concentrée en ces composés phénoliques ce qui engendre une quantité importante de ces complexes.

Nous avons également fait la remarque que les extraits des différentes litières présentaient nettement une différence de coloration avec une couleur très sombre pour l'extrait d'eucalyptus. De plus, les feuilles d'eucalyptus sont plus foncées que celles des acacias. Or ces complexes phénols-protéines sont responsables de la pigmentation marron des racines et des

feuilles mortes. Donc nous pouvons aisément en déduire que la litière d'eucalyptus présente de nombreux complexes difficilement dégradables qui retardent beaucoup la dégradation de cette litière.

De plus, seulement certains organismes sont capables de détruire ces complexes et notamment les champignons responsables de la pourriture blanche.

Or nous avons dit précédemment que, la pourriture blanche observée en abondance sur les feuilles d'acacia, n'est pas ou très peu observée sur les litières d'eucalyptus. A ce moment, en l'absence de ces organismes, la dégradation de ces pigments bruns s'opère par des hydrolyses successives occasionnées par la percolation de l'eau (c'est l'effet « infusion ») (Toutain, 1987).

Il est donc facile de comprendre la difficulté de dégradation des litières d'eucalyptus.

Les tanins pourraient être un facteur important contrôlant la dégradation des litières car ils rendent la litière amère pour la macrofaune (Gutteridge 1990). Donc si les litières sont concentrées en tanins, ce qui est le cas pour cet eucalyptus, la dégradation du matériel végétal frais est peu efficace. Les concentrations en tanins sont présentées dans la figure n° 2 ci-dessous.

Grâce à une ANOVA, nous constatons qu'il y a une différence significative de la teneur en tanins précipitants entre les acacias et l'eucalyptus ($p=0.01$).

Des résultats similaires ont été démontrés par Bernhard-Reversat F. et Schwartz D. en 1997, en constatant que la quantité de tanins dans les eucalyptus était considérablement plus élevée que dans les autres litières.

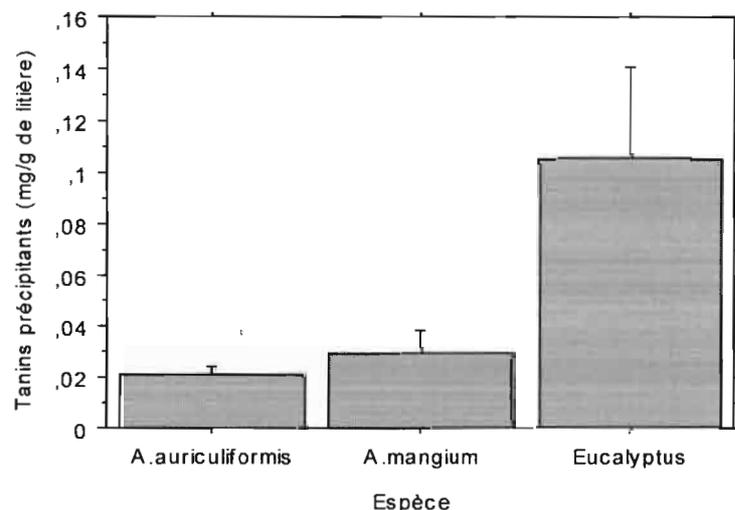
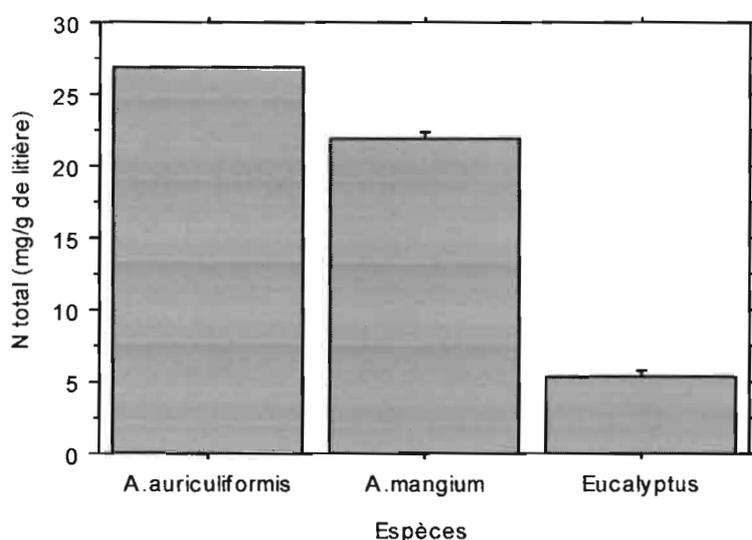


Figure 2 : Teneur moyenne en tanins précipitants des litières (mg/g de litière)

III-1-2-Teneur en azote des litières :

Tableau 3 : Quantités moyennes des principaux composés chimiques des litières.

Litières	Tanins précipitants (mg/g de litière)	Fibres (%)				Azote total (mg/g de litière)
		Composés labiles	hémicellulose	cellulose	lignine	
A.mangium	3,5	52	14	13	20,5	22
A.auriculiformis	3	50	13	14	22	27
Eucalyptus	19,5	62	10	14	13,5	5,5



La différence de concentration en azote total dans ces trois types de litières est significativement différente ($p=0.0013$) (Tableau 3-Figure 3). Ces résultats nous permettent de confirmer l'idée de départ qui est de penser que les acacias permettraient un apport de nutriments, dont de l'azote, aux litières d'eucalyptus pauvres en ressources.

Figure 3 : Teneur moyenne des litières en azote total (mg/g de litière)

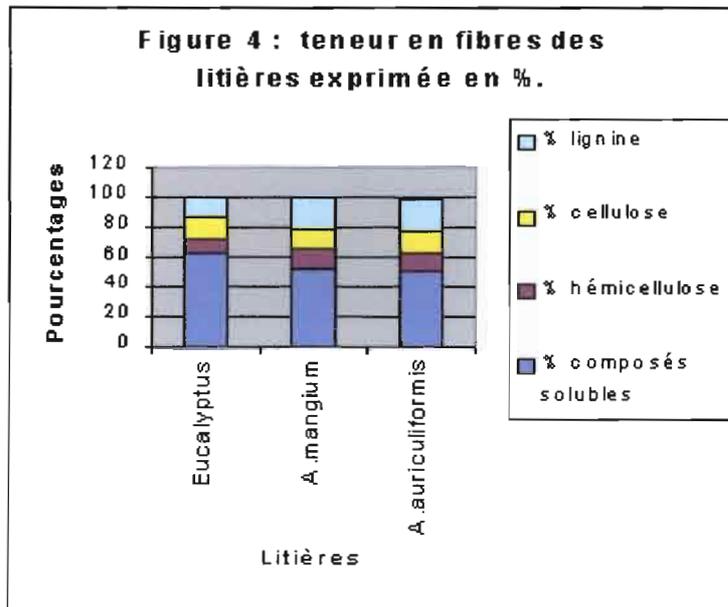
La différence de contenu des différents éléments chimiques, comme l'azote, dans les feuilles de ces espèces, pourrait expliquer également les différences de décomposition de ces litières. Il a été suggéré par R.Kershner et F.Montagnini en 1998 que les espèces, dont les litières ont le plus d'azote, de phosphore et de potassium dans leurs feuilles, se décomposent très rapidement dès le début. Cela confirme les idées que nous avons sur l'évolution des ces trois types de litières.

III-1-3-Teneur en fibres :

Différentes études sur les décompositions de litière suggèrent également que les fibres, la lignine et en particulier les polyphénols contenus dans les feuilles, sont les principaux facteurs déterminants le taux de décomposition (La Caro and Rudd, 1985 ; Palm, 1995 ; Palm and Sanchez, 1990 ; Tian et al, 1992).

Ceci est en désaccord avec les différents travaux précédents car il serait alors attendu que les eucalyptus, dont la teneur en lignine est faible, se décomposent rapidement. Mais ce serait la faible teneur en azote et surtout la forte teneur en composés phénoliques hydrosolubles qui seraient la cause de ce retard de décomposition.

La composition en fibres des litières est présentée dans la figure suivant (Figure 4) :



Les tests statistiques ne nous permettent pas de montrer une différence significative de composition en fibres des litières étudiées. Toutefois, nous pouvons voir que les eucalyptus ont une grande quantité de composés labiles et solubles.

De plus, la composition des fibres n'est pas significativement différente entre l'eucalyptus et les acacias, mais il faut rappeler que ces dosages sont effectués sur des litières fraîches et que l'accumulation de cellulose

d'hémicellulose, ou de lignine ne se fait remarquer que plus tard par le fait que les phénols hydrosolubles et les autres composés solubles de la litière d'eucalyptus, empêchent la dégradation de ces fibres, alors que celle-ci se déroule correctement pour les litières d'acacia.

Il a en effet été montré que dans les litières d'eucalyptus, il y avait une forte accumulation de la teneur en lignine au cours de la décomposition (Bernhard-Reversat et Schwartz, 1997), car ces litières ne sont pas mangées par les termites et aucune pourriture blanche n'a été observée sur ces litières. Cette absence de ces décomposeurs habituels de la lignine conduit à un ralentissement marqué de la dégradation de ces litières. La dégradation de ces composés n'intervient que dans la litière ancienne fortement dégradée, par des agents qui ne sont pas connus. Il a été également montré dans cette étude que les acacias présentaient aussi une accumulation de lignine, mais dont la dégradation est plus rapide que pour celle d'eucalyptus. Ce long délai de dégradation de la lignine dans les litières d'eucalyptus suggère que les décomposeurs, adaptés à ce processus, font partis des organismes manquants.

III-1-3-Arbre de décision (TSBF)

Comme nous avons les caractéristiques biochimiques de nos échantillons, nous pouvons essayer d'intégrer ces analyses dans le contexte d'étude du programme TSBF et de déterminer la qualité de ces litières grâce à l'arbre de décision établi.

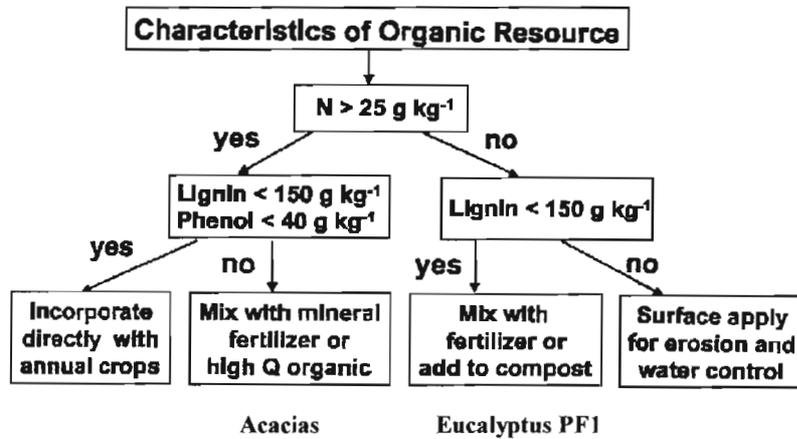


Figure 5 : Decision tree for biomass transfer of plant materials for soil fertility management: Translating theory into application (from Palm et al. (1997))

La litière d'eucalyptus est considérée par cet arbre de décision comme devant être mélangée avec des engrais ou alors ajoutée à du compost (% N=0,55 ; % lignine= 14 ; % phénols= 14,3). En fait, cette arbre nous dit que cette litière est de mauvaise qualité et qu'il faut la mélanger avec de la matière organique de bonne qualité. Ces résultats sont en accord avec la problématique de notre étude.

La litière d'*Acacia mangium* est considérée comme étant propice à la protection du sol contre l'érosion et au contrôle de l'humidité (% N= 2,2 ; % lignine=21 ; % phénols=9,1). Mais sa valeur en azote total est très proche de la limite imposée par cet arbre et l'on pourrait également considérer cette litière comme devant être mélangée avec de l'engrais minéral.

La litière d'*Acacia auriculiformis* est caractérisée également comme une litière devant être mélangée avec des engrais minéraux (% N=2,7 ; % lignine= 22 ; % phénols= 8,3). D'après cet arbre, ces litières ne sont pas des litières d'assez bonne qualité pour assurer un bon recyclage de la matière organique.

Cet arbre est destiné à déterminer la qualité de la matière organique pour une utilisation agricole. Or dans notre étude, les objectifs ne sont pas les mêmes et nous ne pouvons pas considérer le résultat de cet arbre comme universel.

III-1-4- Rapport C/N

Il est utile également pour caractériser la qualité de nos litières en déterminant leur rapport C/N.

Le carbone organique total est déterminé comme suit :

$$C \text{ org. total} = \frac{\text{poids total de l'échantillon} - \text{cendres (g)}}{2}$$

La méthode de détermination des fibres Van Soest (1963) permet de déterminer cette teneur en fibres des litières.

Les résultats sont donnés dans le tableau suivant (tableau 4):

Tableau 4 : Teneur moyenne en carbone organique total des litières permettant de calculer leur rapport C/N.

Litières	carbone organique total (mg/g de litière)	Rapport C/N
Eucalyptus	370	67
A.mangium	370	17
A.auriculiformis	370	14

III-1-5- Rapport Li/N (lignine/azote)

La lignine est un des composés des plantes les plus résistants à la décomposition et il a été montré par Parton et al. en 1987 que le rapport Li/N est inversement proportionnel au taux de décomposition (tableau 5).

Tableau 5 : Rapport Lignine/azote des litières.

Litières	Li/N
A.mangium	0,9
A.auriculiformis	0,8
Eucalyptus	2,5

Ici aussi les résultats confirment que les acacias ont un potentiel de décomposition plus élevé que l'eucalyptus étant donné que leur rapport Li/N est très petit comparé à celui de l'eucalyptus.

La dégradation de la lignine est aussi très dépendante de la présence de microflore spécifique, notamment la pourriture blanche, dont nous avons déjà parlé précédemment. Donc il est normal de penser que la lignine s'accumule dans la litière d'eucalyptus par l'absence de cette microflore.

Différents auteurs ont proposés de travailler sur d'autres rapports comme celui phénols/azote. Tous ces rapports sont établis sur la même idée qui est de prévoir la quantité d'azote minéralisé en fonction de la quantité des autres nutriments. En effet, l'azote est un élément d'une très grande importance dans les processus biologiques de tous les écosystèmes terrestres et aquatiques et c'est très souvent l'élément limitant.

La lignine et les composés phénoliques pourraient avoir les mêmes effets inhibiteurs sur le taux de décomposition, même si des mécanismes différents sont en jeu (Lavelle, Spain, 2001)

Donc différents moyens existent pour estimer la qualité et le potentiel de décomposition des litières et toutes ces méthodes nous donnent des résultats concordants.

Bien sûr il existe d'autres moyens pour estimer la qualité des litières et nous pouvons procéder à une classification de ces litières en tenant compte de trois aspects (Lavelle, Spain, 2001) :

(i) La qualité des constituants de cette litière (bois, feuilles ou herbes de différentes qualités chimiques et structures physiques).

(ii) La nature des communautés microbiennes présentes, notamment la pourriture blanche dont nous avons parlé.

(iii) La composition et l'abondance des communautés de macro-invertébrés, avec une attention particulière pour les invertébrés anéciques qui peuvent transférer rapidement la litière vers d'autres systèmes de décomposition.

III-2-Expérimentations

III-2-1- Expérience de dégradation des phénols hydrosolubles :

Nous avons présenté les résultats sous différentes formes :

Cette première figure (Figure 6) montre l'évolution de la quantité des phénols hydrosolubles selon les traitements au début et à la fin de l'expérience.

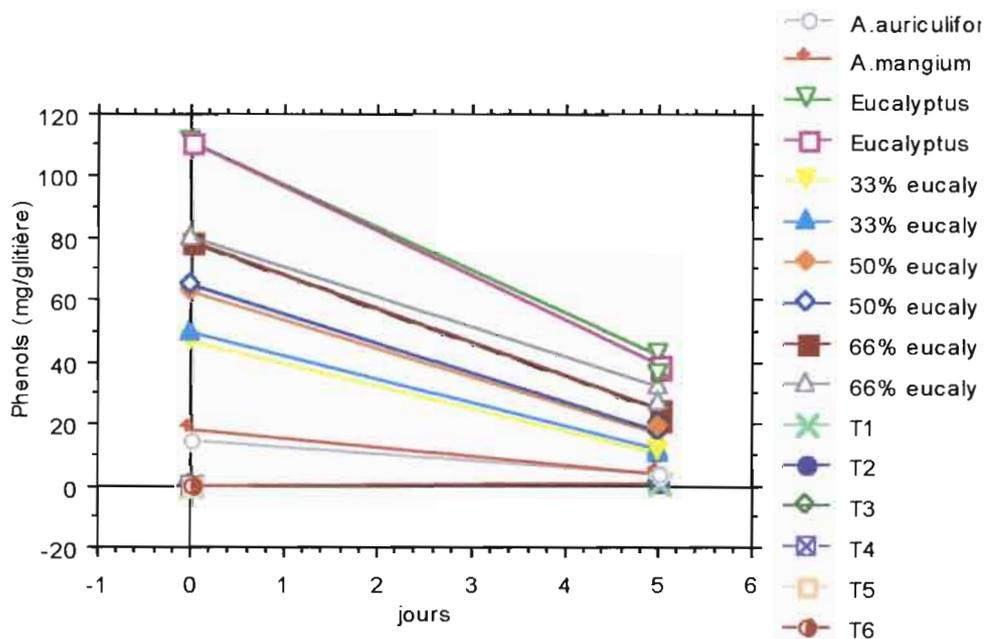


Figure 6 : Evolution des phénols durant les 5 jours d'expérience.

La différence de concentration des phénols en fonction du jour et des traitements est significative ($p < 0.0001$). Nous voyons qu'au début et à la fin de l'expérience, se sont les eucalyptus qui ont la plus grande teneur en phénols hydrosolubles.

La figure suivante est une autre manière de présenter le fait que les eucalyptus ont une concentration plus élevée en phénols à la fin de l'expérience (Figure 7).

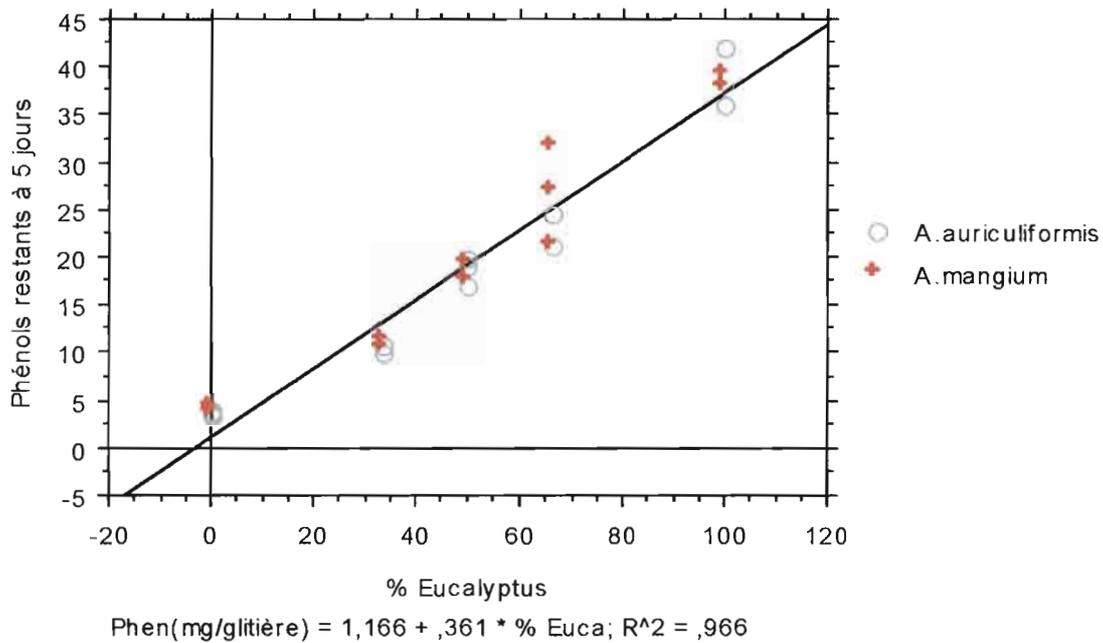


Figure 7 : Quantité de phénols restants au bout de 5 jours d'incubation en fonction du pourcentage d'eucalyptus présent dans les mélanges. Les résultats sont exprimés en mg/g de litière.

L'ANOVA réalisée nous indique qu'il y a une différence significative de phénols restants selon le traitement ($p=0.0105$). Nous voyons clairement qu'il reste beaucoup plus de phénols dans les échantillons ne contenant que de l'eucalyptus, tandis que lorsque qu'il n'y a que des acacias, la quantité restante est proche de zéro.

Nous pouvons également remarquer que les échantillons, où l'on a procédé à un mélange de litières, présentent des quantités intermédiaires de phénols restants, et ces valeurs sont très bien corrélées avec le pourcentage d'eucalyptus. Donc nous pouvons dire que la quantité de phénols lessivables est tout à fait proportionnelle à la quantité d'eucalyptus contenue dans les mélanges.

Les résultats peuvent aussi être exposés en représentant le pourcentage de phénols dégradés (observé et théorique) en fonction du pourcentage d'eucalyptus après les 5 jours d'incubation. Les valeurs théoriques sont calculées en utilisant le principe d'additivité des effets et en s'appuyant sur les valeurs obtenues dans les mélanges mono spécifiques (Figure 8).

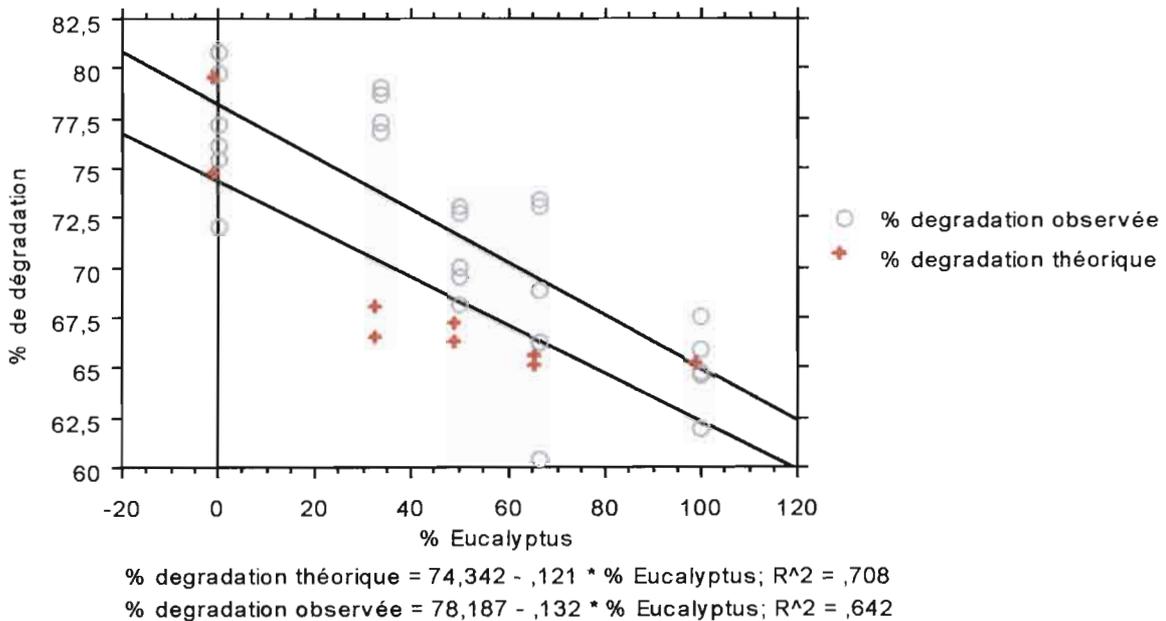


Figure 8 : Pourcentage de dégradation des phénols hydrosolubles au bout de 5 jours d'incubation et en fonction du pourcentage d'eucalyptus. Comparaison des courbes observées et théoriques.

L'ANOVA réalisée nous montre que la différence de dégradation des phénols en fonction des traitements est très significative ($p < 0.0135$). Il y a donc une diminution significative de la dégradation lorsque le pourcentage d'eucalyptus augmente.

Nous voyons donc bien qu'il se produit une inhibition de dégradation de ces phénols lorsque leur quantité est trop élevée.

Cela est en accord avec les travaux précédemment exposés qui supposaient la présence de composés allélopathiques et antibiotiques dans les extraits de litière de l'eucalyptus. Cette inhibition du processus de décomposition peut également s'expliquer par la formation des complexes tanins-protéines à la mort du matériel végétal, à cause de la forte concentration de ces litières en phénols qui interagissent avec les protéines cytoplasmiques.

Par ailleurs, nous pouvons remarquer que la dégradation observée lors de l'expérience est plus efficace que ce qui avait été prédit par la théorie.

Lorsque l'eucalyptus est présent à 25%, la théorie prédit une dégradation de l'ordre de 67% alors qu'en pratique, nous obtenons une dégradation d'environ 80%.

De même, pour la proportion de 50% d'eucalyptus, nous obtenons une dégradation de 72% contre 68% en théorie, pour 75% d'eucalyptus, nous obtenons 70% de dégradation contre 65% en théorie.

Pourtant nous avons testé la différence entre la courbe observée et théorique par l'analyse des résidus.

Le test ANOVA des résidus en fonction des traitements n'est pas significatif ($p = 0.1308$), même si la tendance est à une amélioration de la dégradation de ces phénols par le mélange des litières. Il faudrait sûrement reprendre l'expérimentation avec plus de répétitions.

Il est important de noter également que nous n'avons considéré ici qu'un facteur parmi tant d'autres pour analyser cette dégradation des phénols. Il y a pourtant une multitude d'autres facteurs qui peuvent interagir comme les macroorganismes, tout d'abord, qui jouent un rôle

essentiel dans la dégradation des litières. Le facteur climatique est aussi très important à considérer, surtout lorsque l'on sait que durant toute l'année, sauf pendant les quatre mois de sécheresse de juin à septembre, les précipitations sont importantes et contribuent également fortement au lessivage des éléments hydrosolubles tels que les phénols (cf. annexe I). De plus le comportement des arbres est différent selon la période de l'année. Pendant la saison sèche, les arbres perdent plus de feuilles à cause du stress hydrique et le taux de décomposition est plus faible. Alors que pendant la saison des pluies, la quantité de litière est un peu plus faible. Cet effet permet une forte libération de substances nutritives au début de la saison humide (Cornejo et al. 1994), juste au moment où les jeunes plantes s'apprêtent à grandir. Donc le climat est un élément important à prendre en compte pour les études sur le terrain.

Il est également important de considérer la structure du sol et sa composition en argiles car le sol est un élément qui agit dans la libération ou la séquestration des nutriments.

Tous ces facteurs ne sont pas de même importance car ils agissent à différentes échelles spatiales et temporelles et peuvent avoir également des effets contraires sur les processus de décomposition.

Il est vrai que cette expérience nous a apporté beaucoup d'informations mais il serait intéressant de pouvoir intégrer ces autres facteurs importants pour encore mieux comprendre et appréhender l'effet des acacias sur la dégradation des phénols, car l'interaction de plusieurs facteurs pourrait considérablement augmenter la dégradation de ces composés.

III-2-2- Expérience de respirométrie

L'allure de la courbe de respiration que nous obtenons est celle qui est généralement obtenue dans ce genre d'étude (Figure 9).

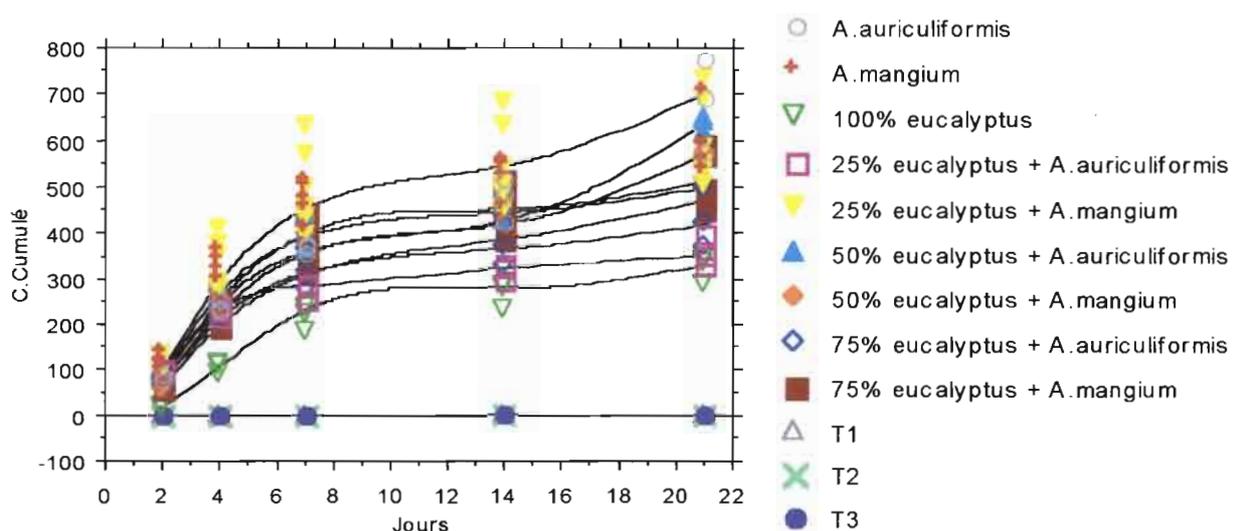


Figure 9 : Courbe du CO₂ cumulé, libéré au cours des 21 jours d'expérience.

Nous observons deux phases sur cette figure:

La première montre une forte respiration entre le premier et le septième jour. Cela s'explique par le fait qu'en préparant les échantillons pour l'expérience, les nutriments sont répartis de

manière homogène dans les tasses. Donc les microorganismes respirent, sans aucune compétition, le carbone se trouvant à proximité d'eux.

La deuxième phase de la respiration correspond à une relative stabilisation, du septième au quatorzième jour. Mais nous pouvons tout de même observer une légère dépression au niveau du 14^{ème} jour qui peut s'expliquer par le fait que les microorganismes ont respiré tout le carbone aux alentours d'eux et qu'ils doivent migrer dans d'autres zones pour retrouver de nouvelles ressources.

La légère remontée de respiration correspond donc à une reprise de cette activité qui devrait par la suite se stabiliser à nouveau lorsque tout le carbone disponible aura été respiré.

Le test ANOVA nous indique qu'il y a une différence significative de la respiration selon les traitements au cours du temps ($p < 0.0001$).

De plus, nous voyons sur la figure que ce sont les mélanges qui contiennent les acacias qui présentent de fortes valeurs du carbone cumulé dégagé, alors que les échantillons mono-spécifiques d'eucalyptus présentent les quantités les plus faibles. Donc les litières contenant de l'acacia respirent plus que celles contenant de l'eucalyptus.

Nous allons nous pencher plus précisément sur cette deuxième phase de la courbe (du 7^{ème} au 14^{ème} jour), qui permet de mieux mettre en évidence l'effet de chacune des litières. Nous allons travailler notamment sur les pentes de 7 à 21 jours et la comparaison de ces valeurs nous permettra d'évaluer le rôle respectif des deux espèces de litières.

L'analyse des pentes des courbes entre le septième et le quatorzième jour nous donne les résultats suivants (Figure 10):

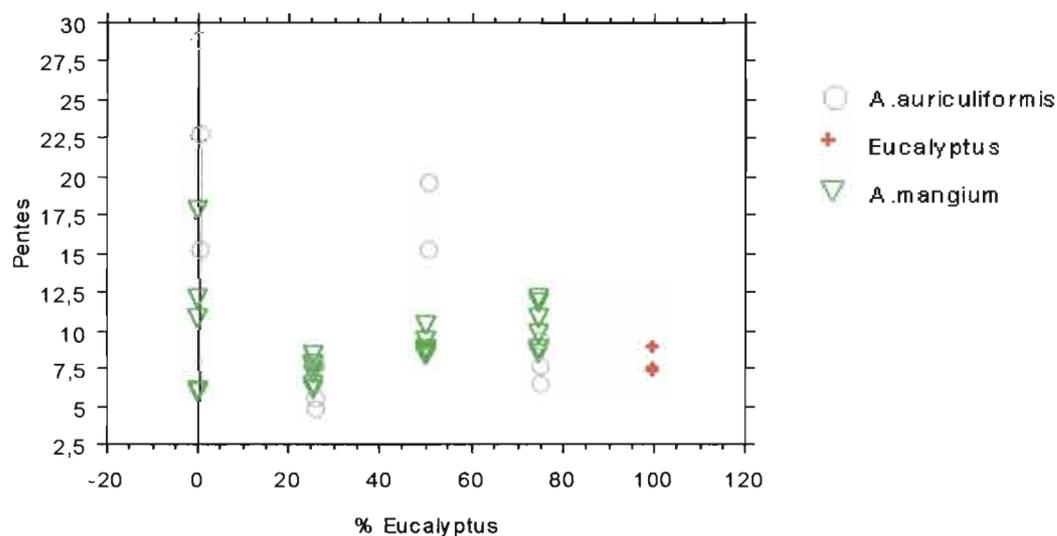


Figure 10 : Vitesses de minéralisation représentées par les pentes de C.cumulé du 7^{ème} au 14^{ème} jour en fonction du pourcentage d'eucalyptus.

Par une ANOVA, nous voyons que cette analyse est significative en fonction des traitements ($p = 0.0027$). La vitesse de minéralisation du carbone, représentée par les pentes de ces droites, diminue lorsque la quantité d'Eucalyptus dans les mélanges augmente. Donc les acacias seuls minéralisent plus vite le carbone organique que les eucalyptus seuls.

Toutefois, nous pouvons noter une différence dans la vitesse de minéralisation selon les espèces d'acacia.

Lorsque les acacias sont seuls (0% d'eucalyptus), cette différence est significative ($p=0.039$). *A.auriculiformis* présente une vitesse de minéralisation plus élevée à ce niveau.

Nous pouvons également remarquer que lorsque l'eucalyptus est présent à 50%, cette minéralisation est également significativement plus rapide pour *Acacia auriculiformis* ($p=0.0201$) que pour *Acacia mangium*. Donc à la proportion de 0% et 50 % d'eucalyptus, *A.auriculiformis* permet une minéralisation plus rapide du carbone que *A.mangium*.

Pour les autres proportions d'eucalyptus, la différence entre les deux acacias n'est pas significative.

Il faudra par la suite essayer de comprendre la cause de cette différence de vitesse de minéralisation et surtout pourquoi elle ne s'exprime qu'à certaines proportions d'eucalyptus.

Nous travaillons aussi sur la quantité de C. cumulé à 21 jours et par une ANOVA nous obtenons également un résultat significatif ($p=0.0009$). (Figure 11).

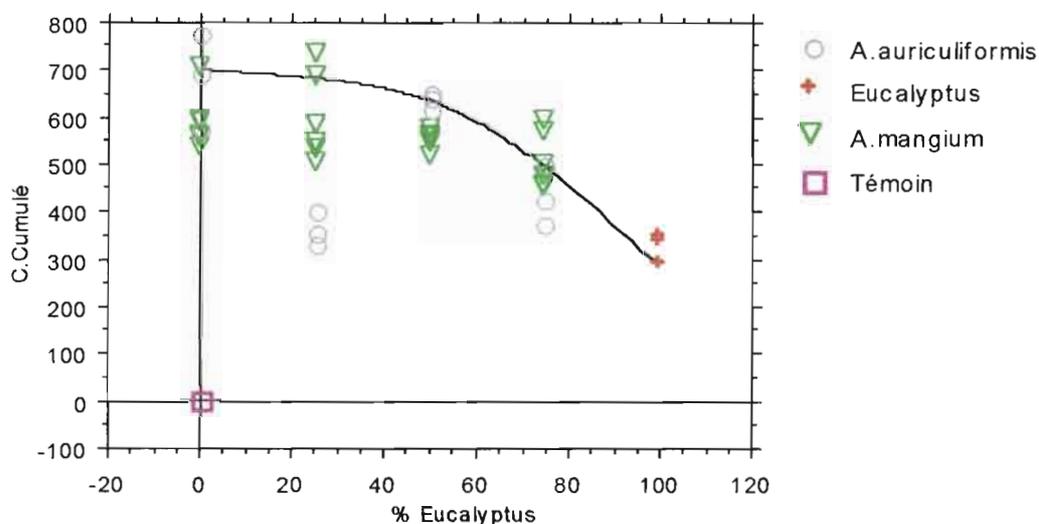


Figure 11 : Courbe du C. cumulé en fonction du pourcentage d'eucalyptus au 21^{ème} jour de l'expérience.

A 21 jours, il y a donc une différence significative de quantité de carbone minéralisé en fonction de la quantité d'eucalyptus dans les mélanges. Cette minéralisation diminue lorsque le pourcentage d'eucalyptus augmente dans les mélanges.

Le test U de Mann et Whitney nous permet de comparer deux échantillons deux à deux et nous obtenons les conclusions qu'il y a une différence significative de cette quantité de carbone minéralisé entre l'eucalyptus et *A.auriculiformis* ($p=0.0209$) et entre l'eucalyptus et *A.mangium* ($p=0.0055$).

Nous pouvons noter ici également une différence significative de comportement entre les deux acacias pour la proportion de 25% d'eucalyptus ($p=0.0201$). Par contre, c'est *A.mangium* qui, dans ce cas, présente une quantité plus forte de carbone cumulé.

Ces résultats ne font que confirmer les précédentes conclusions à savoir que les acacias minéralisent plus facilement le carbone que les eucalyptus.

Mais il est intéressant de voir que les acacias ont l'air d'être complémentaires car ils ne réagissent pas de la même manière selon la quantité d'eucalyptus.

En effet, *A.auriculiformis* présente souvent une vitesse de minéralisation plus rapide que *A.mangium*, alors que *A.mangium* présente une quantité de carbone plus importante que *A.auriculiformis* à certains moments.

Toutefois, nous avons vu que cette différence de vitesse de minéralisation entre *A.auriculiformis* et *A.mangium* n'était percevable que pour certaines concentrations d'eucalyptus.

Par ailleurs, la quantité de carbone minéralisé au bout de 21 jours est un peu plus importante pour *A.mangium* que pour *A.auriculiformis*, même si cette différence n'était pas significative.

Si ces différences s'avéraient être significatives, dans des études ultérieures, cela voudrait dire que *A.auriculiformis* présenterait une vitesse élevée de minéralisation du carbone, tandis que *A.mangium*, tout en ayant une vitesse plus faible, minéraliserait une plus grande quantité de carbone. Dans ce cas-là, cela permettrait une très bonne synchronisation entre les nutriments libérés et les besoins des plantes, car elles auraient tout de suite à leur disposition des nutriments grâce à *A.auriculiformis*, mais la nutrition serait assurée également sur le long terme grâce à *A.mangium*. Même si ces hypothèses s'avèrent inexactes, les litières d'acacias permettent une meilleure minéralisation du carbone ce qui est une chose très importante.

Nous pouvons également comparer les valeurs de carbone cumulé observées avec les valeurs théoriques calculées. (Figure 12)

Les valeurs théoriques sont calculées en se basant sur le principe de l'additivité des effets et en utilisant les valeurs obtenues de chaque espèce en monoculture

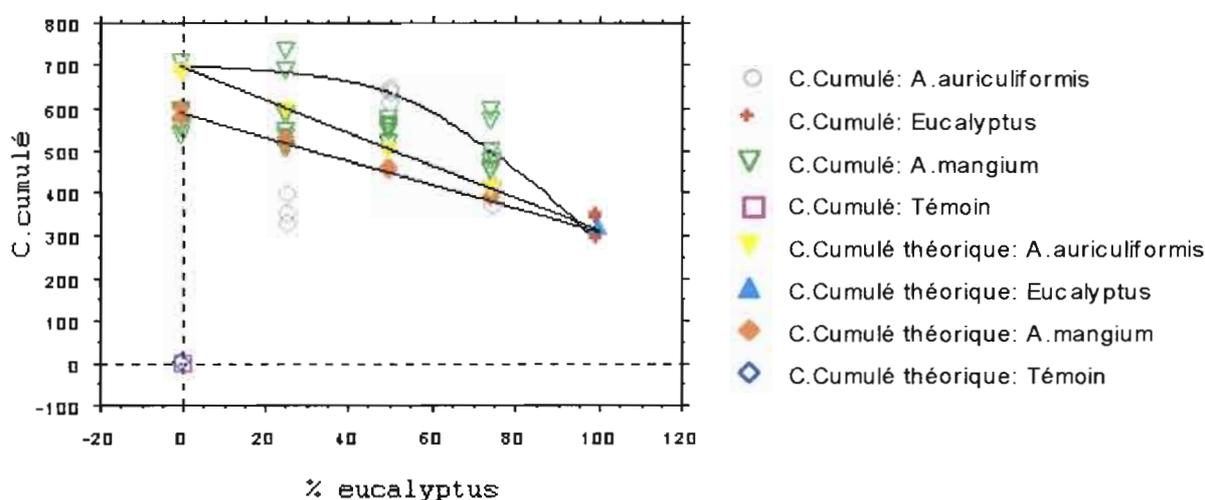


Figure 12 : Comparaison des courbes observées et théoriques du C. cumulé, à 21 jours d'expérience, en fonction du pourcentage d'eucalyptus.

Grâce à cette figure, nous observons une diminution de la quantité totale de CO₂ dégagé à 21

jours lorsque le pourcentage d'eucalyptus augmente dans les mélanges.

L'analyse des résidus, par une ANOVA, montre une différence significative de la quantité de C. cumulé en fonction des traitements ($p=0.0096$).

Or nous voyons que la majorité des valeurs observées sont au dessus de la droite théorique. Donc cela nous indique que l'association des litières d'acacias avec les litières d'eucalyptus augmente significativement la quantité de carbone minéralisé au bout de 21 jours. Le test U de Mann and Whitney nous indique qu'il n'y a pas de différence significative entre les deux acacias que ce soit pour les valeurs observées ($p=0.6385$) ou pour les valeurs théoriques ($p=0.1310$).

Donc pour cette expérience de respirométrie, les résultats nous permettent de conclure que l'association de litière d'*A.mangium* et d'*A.auriculiformis* avec la litière d'eucalyptus, permet d'augmenter significativement la quantité de minéralisation du carbone ainsi que sa vitesse.

III-2-3- Expérience d'ammonification et de nitrification

Dans cette expérience, nous travaillons sur la somme des nitrates et de l'ammonium total mesuré dans les échantillons, c'est à dire sur l'ammonification. L'azote est un élément important et indispensable pour la nutrition des plantes, même si d'autres éléments sont aussi importants pour le devenir de l'humus ainsi que pour la croissance des plantes.

Nous avons dosé les nitrates même si leur concentration dans les litières est toujours très faible.(courbe étalon en annexe III)

Lorsque nous regardons les résultats généraux sur toute la durée de l'expérience (14 jours), nous voyons que la concentration en azote minéral est toujours nettement supérieure dans les litières d'acacia que dans les litières d'eucalyptus ($p<0.0001$) (Figure 13).

Il n'y a pas de différence significative entre les deux espèces d'Acacia ($p=0.9974$).

Ces résultats sont en accord avec le fait que la concentration en azote est quasiment toujours plus importante pour les espèces capables de fixer l'azote atmosphérique grâce à une association symbiotique. Or nous savons que les acacias appartiennent à ce genre de plante. Malgré cette capacité à fixer l'azote atmosphérique par les procaryotes, une partie importante de l'azote nécessaire aux plantes doit être fournit par le processus de décomposition, réalisé par la faune, les microorganismes et des facteurs abiotiques.

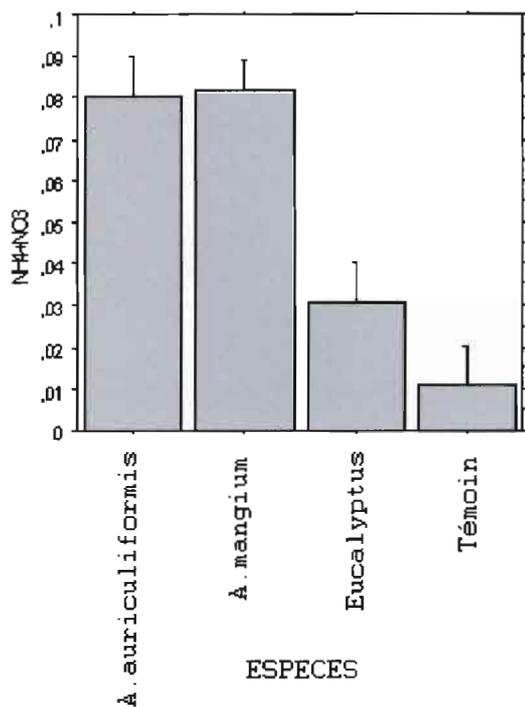


Figure 13 : Quantité d'azote minéral dans les litières étudiées au bout de 14 jours d'incubation. Les résultats sont présentés en mg/g de litière.

Nous pouvons également étudier l'évolution de la concentration en azote minéral au cours du temps (Figure 14):

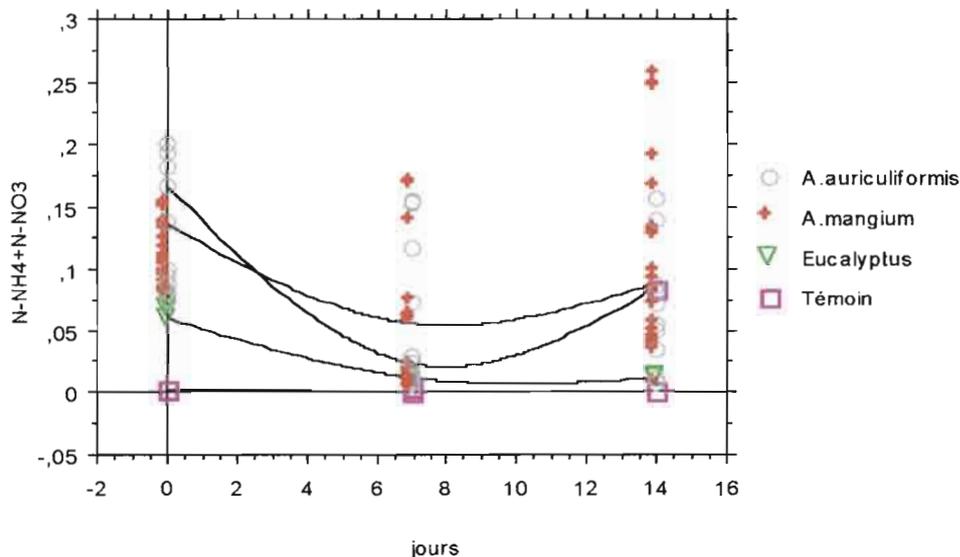


Figure 14 : Evolution de la teneur en azote minéral dans les différents traitements et tout au long de l'expérience.

Nous voyons sur cette figure que la concentration en azote minéral au cours du temps est très variable dans le sens où, de 0 à 7 jours, cette concentration diminue, mais elle réaugmente du septième au quatorzième jour ($p < 0.0001$).

La première phase correspond au phénomène d'immobilisation alors que la deuxième phase correspond à la minéralisation de l'azote.

Nous pouvons également constater que la deuxième phase est surtout visible pour les deux acacias alors que pour l'eucalyptus, elle n'est pas marquée et nous observons de très faibles valeurs d'azote minéral au bout de 14 jours pour l'eucalyptus.

Le processus d'immobilisation se produit lorsque le rapport C/nutriments de la matière en décomposition est plus élevée que celui des microorganismes vivants, et à ce moment-là, les nutriments se trouvent immobilisés au sein de la biomasse microbienne .

La plupart des travaux se basent sur le rapport C/N, car l'azote est un des éléments limitants dans la plupart des écosystèmes, et joue en général un rôle très important dans les fonctions biologiques.

Les différentes analyses chimiques nous ont montré que la litière d'eucalyptus était très riche en éléments hydrosolubles et donc facilement lessivables par l'eau de pluie. Par contre cette litière était très pauvre en éléments nutritifs, et surtout en azote (C/N=67).

Ce rapport est de 5-7/1 pour les bactéries et de 7-25/1 pour les champignons (Lavelle, Spain, 2001). Or le rapport calculé pour l'eucalyptus, *A.mangium* et *A.auriculiformis* est respectivement de 67, 17 et 14.

Au cours de la décomposition, le rapport C/nutriments est ajusté par l'élimination progressive du carbone sous forme de CO₂ respiré par les microorganismes, conduisant par la suite à de la minéralisation nette des nutriments contenus auparavant dans la biomasse microbienne. La limite admise pour ce rapport est de 20-25, au delà duquel l'immobilisation aura lieu (Lavelle, Spain, 2001).

Or nous avons vu que les deux acacias ont une valeur, pour ce rapport, inférieure à cette limite donc ils ne devraient normalement pas présenter ce phénomène d'immobilisation. Mais si nous comparons ce rapport avec celui des microorganismes précédemment cités, nous voyons que les décomposeurs ont une valeur de ce rapport inférieure à celle de toutes les litières.

Donc il est normal que les acacias présentent ce phénomène d'immobilisation mais avec une amplitude plus faible que pour la litière d'eucalyptus, car les microorganismes n'ont pas besoin de respirer beaucoup de CO₂ pour ajuster le rapport des acacias, contrairement à celui de l'eucalyptus, où la quantité de carbone est tout de même très importante par rapport à celle des autres nutriments. De plus il a été montré par Bernhard-Reversat en 1999, que la quantité de carbone dissout dans la litière d'acacia était très basse voir nulle après 6 jours. Ces résultats sont en accord avec nos expériences car nous constatons le début de la minéralisation après 7 jours d'incubation.

C'est pour cela que, sur la figure, nous pouvons visualiser la phase de minéralisation pour les acacias alors que pour l'eucalyptus, celle-ci n'est pas observée car l'expérience n'a pas été faite sur une assez grande période, et tout le carbone qui devrait être respiré pour permettre l'ajustement du rapport, ne l'a pas été durant le temps de l'expérience.

Les acacias seuls ont toujours des quantités d'azote minéral assez élevées. Quant à l'eucalyptus, ses concentrations sont constamment faibles.

Ce que nous pouvons remarquer par ailleurs, c'est que lorsque la concentration est la plus faible pour tous les traitements (au 7^{ème} jour), celle-ci reste tout de même élevée pour les acacias.

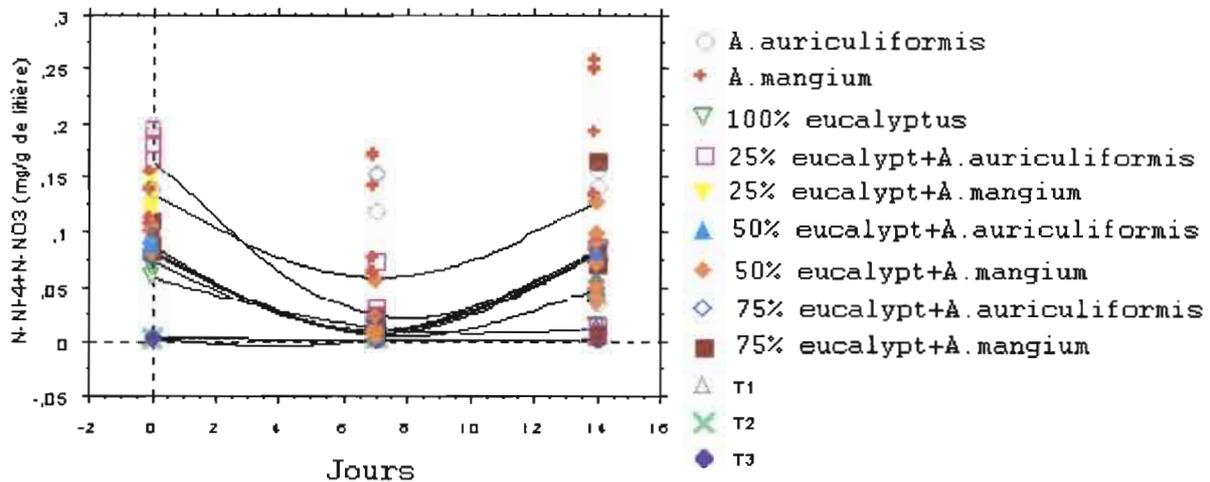


Figure 15 : Evolution de l'azote minéral en fonction des traitements durant les 14 jours d'expérience.

Mais il est intéressant de voir que lorsque les litières sont mélangées, nous obtenons des valeurs intermédiaires (Figure 15).

Les résultats obtenus sont en accord avec ce qui était attendu à savoir que la quantité d'azote dosée dans les mélanges de litière est supérieure à celle dosée dans les litières d'eucalyptus seul. Donc il y a eu un enrichissement en azote par l'association des acacias. Or la translocation d'azote d'une litière riche vers une litière pauvre en azote pourrait augmenter le taux de décomposition, étant donné que cette décomposition est supérieure pour des litières de faible rapport C/N (Kaneko N., Salamanca E.F. 1999).

Nous pouvons également étudier la teneur en azote minéral à 14 jours, et la comparer à la teneur théorique (figure 16) :

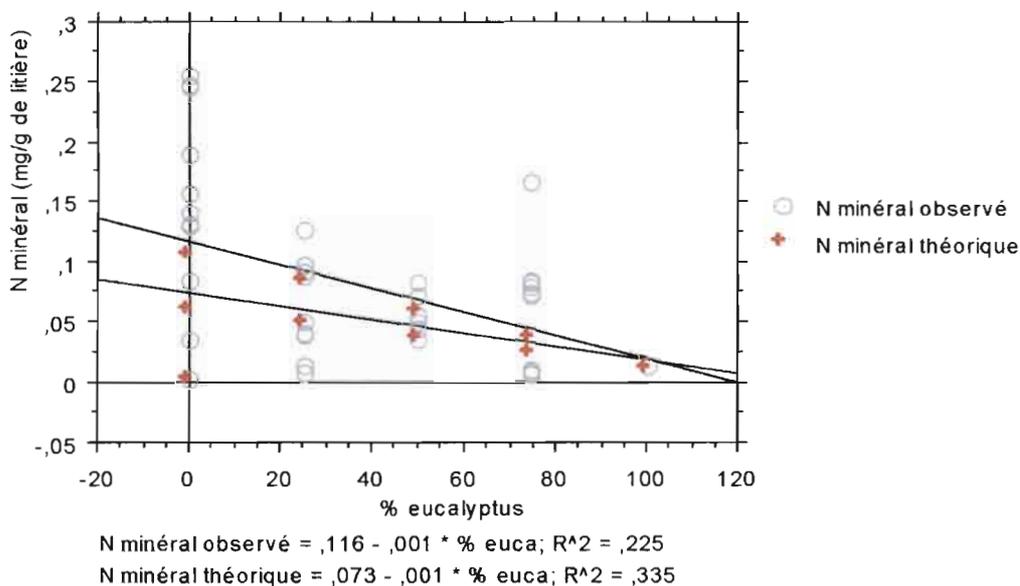


Figure 16 : Comparaison de la teneur en azote minéral observée à celle théorique.

Afin de tester si la différence entre les valeurs observées et théoriques sont significatives, nous calculons les résidus qui correspondent à la différence entre les valeurs observées et théoriques. Ensuite, par une ANOVA, nous testons la significativité des résidus en fonction des traitements.

Dans le cas de l'azote minéral, l'ANOVA n'est pas significative ($p=0.056$) en fonction des traitements. Cette valeur de p est tout de même proche du seuil de significativité et nous pouvons penser que le fait de faire l'expérience sur une plus longue durée pourrait permettre d'attendre le seuil de significativité. Donc il n'y a pas d'augmentation significative de la teneur en azote minéral par la coplantation des deux litières.

Il y a seulement une différence en azote minéral entre les traitements ($p=0.012$) au 14^{ème} jour due au mélange des deux litières.

IV- CONCLUSIONS

Le but de ce travail était donc de caractériser l'effet d'une coplantation d'acacias australiens proche d'eucalyptus hybrides, afin de diminuer les effets allélopathiques démontrés des eucalyptus et d'améliorer la dégradation, et donc le recyclage, des nutriments à partir de cette litière pauvre en éléments nutritifs. Nous avons obtenus des résultats intéressants dont on peut tirer plusieurs conclusions ou suggestions.

Pour résumer nous avons montré grâce à trois expériences que les litières d'acacia permettaient une amélioration globale de la dégradation de la litière d'eucalyptus.

Or une meilleure dégradation de la litière permet d'avoir des effets positifs considérables quant à la nutrition des plantes, du sol et de la macrofaune. Toutefois, il est nécessaire que toute la litière ne soit pas dégradée trop rapidement pour deux raisons essentielles.

La première est que, si cette litière est dégradée trop rapidement, les nutriments libérés sont en trop grande quantité par rapport au besoin immédiat des plantes. Donc cela n'équivaut qu'à une perte inutile de ressources, pour l'écosystème en question, à cause du lessivage par l'eau de pluie ou à cause de l'immobilisation de ces nutriments par la faune du sol. Mais si la quantité de litière tombée au sol est assez élevée, cela permet alors d'avoir constamment une quantité de ressources importante pour la plante qui ne souffrira donc que peu de la perte rapide de ces nutriments. Les acacias correspondent assez bien à ce profil car la dégradation de leur litière est assez rapide mais nous avons vu aussi que leur quantité de litière tombée au sol par an et par hectare était de 8-10 tonnes. Les eucalyptus quant à eux n'avaient une chute annuelle que de 5 tonnes et une dégradation plus lente.

La deuxième raison est que cette couche de litière est une protection importante pour le sol contre les facteurs du milieu qui sont souvent très perturbants comme par exemple l'érosion. Elle a aussi un rôle de contrôle de l'humidité et de la température (Palm 1995 ; Sanchez 1995) et peut empêcher aussi le développement des mauvaises herbes (Horn N., Montagnini F., 1999). Par exemple, une litière de couleur claire est efficace pour diminuer la température du sol. Il est de plus évident qu'il existe de la faune dont l'habitat se situe dans la litière et donc une dégradation trop rapide de ces habitats engendrerait alors des effets négatifs sur ces animaux.

Par contre, il n'est pas non plus souhaitable que la litière se décompose trop lentement car elle ne libèrera pas à temps les nutriments nécessaires à la croissance des plantes.

Donc les litières qui se décomposent, soit trop vite, soit trop lentement, produisent l'humus de moins bonne qualité. Cela suggère que la caractéristique idéale d'un humus est de provenir d'une litière à décomposition modérée (Kershner R. et Montagnini F., 1998).

Par conséquent l'humus d'un mélange d'espèces peut permettre de plus grands bénéfices et une meilleure protection, par rapport à un humus monospécifique.

La qualité des litières a donc une influence directe sur le taux de décomposition de la matière organique, et le fait que l'on obtiennent des valeurs intermédiaires lors de nos expériences de mélange, pourrait conduire, grâce à un ajustement des proportions de chaque matériel végétal, au calibrage d'un modèle de synchronisation idéale entre la libération des nutriments et le besoin des plantes.

Donc la plantation des ces acacias intercalés avec des eucalyptus permettra de produire des litières de qualités différentes et entraînant une hétérogénéité dans le système litière (feuilles, racines, invertébrés et microorganismes) et cela à de petites échelles de l'ordre du mètre ou du décimètre. Zinke, en 1962, propose le concept de « single-tree circle of influence » qui représente l'influence du mélange de litières de qualité différente due à une hétérogénéité dans les plantations. Et cela a un effet sur les propriétés du sol, les communautés de décomposeurs et les microorganismes dont le rôle est d'augmenter la capacité des racines à absorber les nutriments et l'eau (Conn C., Dighton J., 1999).

Il a été montré par Kaneko et al. en 1999 que l'abondance de la faune dans un mélange de litière de chêne et de pin était significativement plus élevée que dans des litières monospécifiques. Il attribue cela à une hétérogénéité des habitats due au mélange.

Nous pouvons tout à fait penser que ce schéma se reproduise dans les plantations étudiées, ce qui permettrait donc une augmentation encore plus efficace de la dégradation des litières d'eucalyptus en présence d'une faune diversifiée.

Toutefois il faut bien noter que nous avons travaillé sur des espèces particulières d'eucalyptus et d'acacias et que d'autres études n'obtiennent pas les mêmes résultats quant aux difficultés de dégradation des litières ou à l'amélioration de la dégradation par les acacias. Il existe en effet une grande quantité d'espèces d'eucalyptus et d'acacias à la surface de la terre, et leur comportement est très différent. Des résultats contraires aux nôtres ont été montrés pour l'association de l'*Acacia melanoxylon* avec l'*Eucalyptus pauciflora* (Küppers B., 1996), où aucune amélioration n'avait pas été observée par la coplantation de ces deux espèces.

De plus, toutes les litières d'eucalyptus ne présentent pas les mêmes difficultés pour se dégrader, et certaines études ont par ailleurs été menées avec des eucalyptus dans leur régions d'origines, ayant alors à leur disposition toute la faune et la microflore adéquates pour la dégradation de ces litières. Donc nous ne pouvons pas généraliser ce travail à tous les acacias ou à tous les eucalyptus. De même tous les acacias n'ont pas la même capacité de fixation de l'azote atmosphérique.

En conclusion générale, nous pouvons dire que la plupart de nos objectifs ont été atteints car nous avons montré une amélioration globale du système litière des eucalyptus par la coplantation des acacias australiens, *Acacia auriculiformis* et *Acacia mangium*. Ils apparaissent donc comme étant de bons candidats pour une coplantation en agroforesterie. Mais la gestion des plantations est assez complexe et les nouvelles études de l'UR2PI s'orientent à présent vers des plantations associées de légumineuses herbacées.

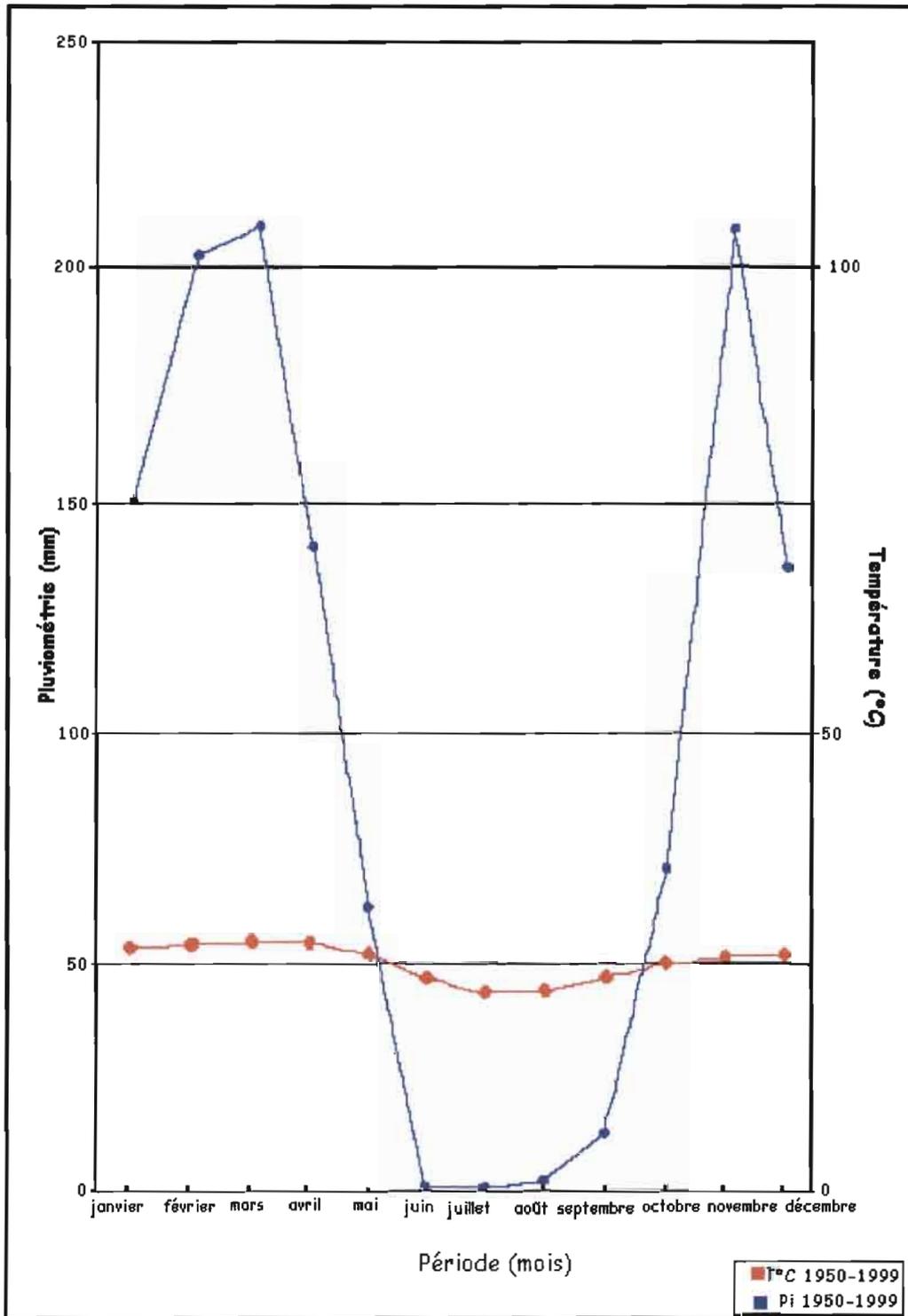
REFERENCES

- 1- Anonyme, 1994, Model DR/700 portable colorimeter instrument manual, Hach company, Loveland, 69.7-69.12.
- 2- Bernhard-Reversat F., 1999. The leaching of Eucalyptus hybrids and Acacia auriculiformis leaf litter : laboratory experiments on early decomposition and ecological implications in Congolese plantations tree plantations, *Applied Soil Ecology*, **12** :251-261.
- 3- Bernhard-Reversat F., Schwartz D.,1997. Change in lignin content during litter decomposition in tropical forest soils (Congo) : comparison of exotiques plantations and native stands. *Earth and Planetary Sciences*, **325** : 427-432.
- 4- Bernhard-Reversat,F.,1993. Dynamics of litter and organic matter at the soil-litter interface in fast-growing tree plantations on sandy ferrallitic soils (Congo). *Acta Oecologica* **14**(2) : 179-195.
- 5- Conn C., Dighton J., 1999. Litter quality influences on decomposition, ectomycorrhizal community structure and mycorrhizal root surface acid phosphatase activity. *Soil Biology and Biochemistry* **32** : 489-496.
- 6- Cornejo F.H., Varela A. and Wright S.J., 1994. Tropical forest litter decomposition under seasonal drought: nutrient release, fungi and bacteria. *Oikos*, **70** : 183-190.
- 7- Craswell E.T., Lefroy R.D.B., 2001. The role and function of organic matter in tropical soils, *Nutrient cycling in Agroecosystems*, **61** : 7-18
- 8- Gutteridge, R.C., 1990. The use of the leaf of nitrogen fixing trees as a source of nitrogen for maize. *Nitrogen Fixing Tree Research Reports*. **8** : 27-28
- 9- Horn N., Montagnini F., 1999. Litterfall, litter decomposition and maize bioassay of mulches from four indigenous tree species in mixed and monospecific plantations in Costa Rica. *International Tree Crops Journal* **10** : 37-50.
- 10- Kaneko N., Salamanca E.F.,1999. Mixed leaf litter on decomposition rates and soil microarthropod communities in an oak-pine stand in Japan. *Ecological Research* **14**, 131-138.
- 11- Kershner R.,Montagnini F.,1998.Leaf Litter Decomposition, Litterfall, and Effects of Leaf Mulches from Mixed and Monospecific Plantations in Costa Rica. *Journal of Sustainable Forestry*, **7** (3/4) 95-118
- 12- Küppers B.I.L., 1996. Nitrogen and Rubisco contents in eucalypt canopies as affected by Acacia neighbourhood. *Plant Physiol.Biochem* **34**(5), 753-760.

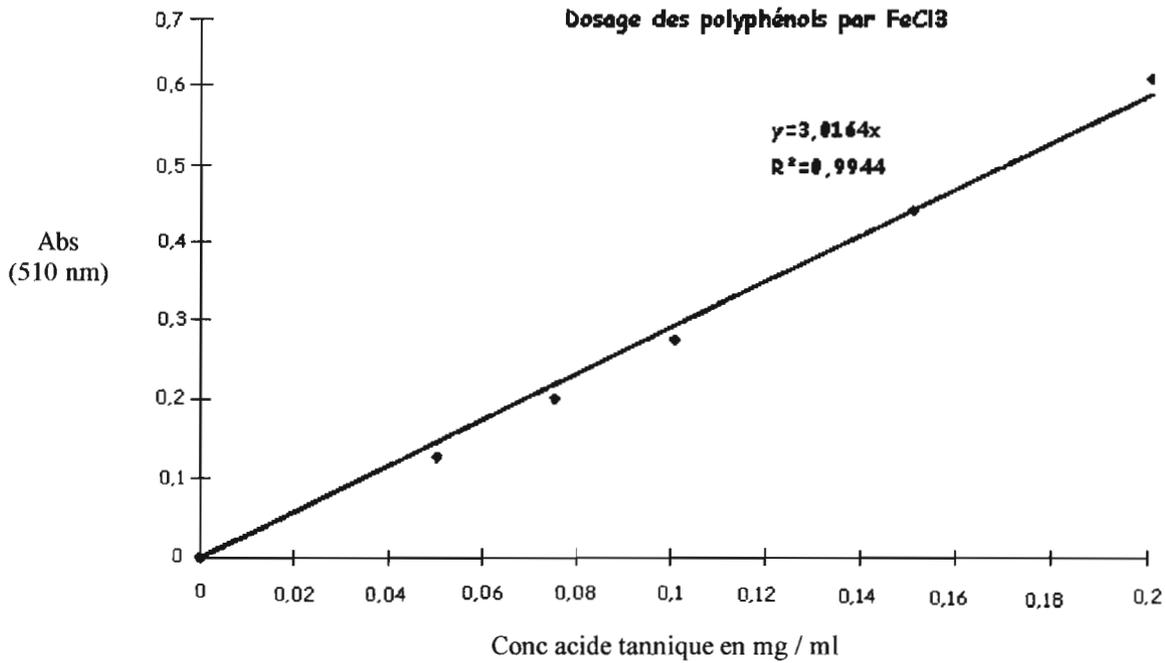
- 13- La Caro, F. and Rudd, R.L., 1985. Leaf litter disappearance rates in Puerto Rican Montane Rain Forest. *Biotropica* **17**(4) : 269-276.
- 14- Lavelle P., Spain A.V., 2001. *Soil Ecology*. Kluwer Academic Publishers, 360-391.
- 15- Lawrie A.C., 1981. Nitrogen fixation by native Australian legumes. *Aust.J.Bot.*,**29**, 143-157.
- 16- Murata M., Yamakoshi Y., Homma S., Aida K., Hori K. et Ohashi Y., 1990. -Macropal A, a novel antibacterial compound from *Eucalyptus macrocarpa*. *Agric. Biol. Chem.*, **54**, 3221-3226.
- 17- Palm, C.A., 1995. Contribution of agroforestry trees to nutrient requirements of intercropped plants. *Agroforestry Systems* **30** : 105-124.
- 18- Palm, C.A. and Sanchez,P.A., 1991. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. *Soil Biol. Biochem.* **23**(1) : 83-88.
- 19- Palm, CA. and Sanchez, P.A., 1990. Decomposition and nutrient release patterns of the leaves of three tropical legumes. *Biotropica* **22**(4) : 330-338.
- 20- Parton W.J., Shimel D.S., Cole D. V. et Ojima D.S., 1987. - Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plain grasslands. *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, **51**, 1173-1179.
- 21- Roger R. W. and Westman W. E., 1977. Seasonal nutrient dynamics of litter in a subtropical eucalypt forest, north Stradbroke Island. *Austr. J. Bot.*, **25**, 47-58.
- 22- Sanchez, R.A., 1995. Science in agroforestry. *Agroforestry Systems* **30** : 5-55.
- 23- Tian,G., Kang, B.T. and Brussaard, L., 1992. Biological effects of plant residues with contrasting chemical compositions under humid tropical conditions-decomposition and nutrient release. *Soil Biol. Biochem.* **24**(10) : 1051-1060.
- 24- Zinke, P.J., 1962. The pattern of influence of individual forest trees on soil properties. *Ecology*, **43**, 130-3.

ANNEXES

Annexe 1 : Diagramme ombro-thermique de la région de Pointe-Noire



Courbe étalon du dosage des tanins précipitants :



Calculs :

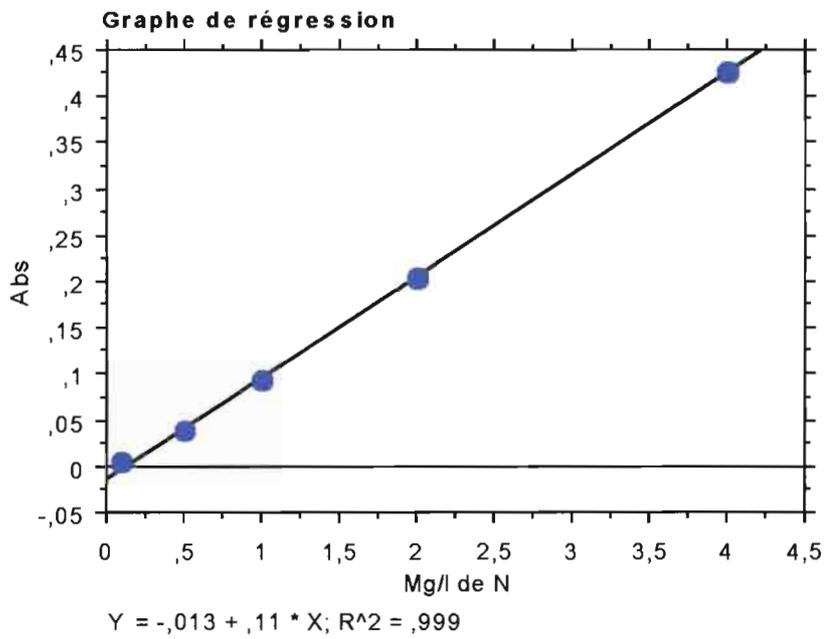
Absorbance lue / 3,0164 = mg / ml

mg / ml * Volume SDS utilisé = mg de tanins

mg de tanins / X ml d'extrait = mg / ml

(mg / ml * ml H₂O * dilution) / g litière = mg / g de litière

Courbe Étalon des Nitrates :



$$\text{mg/l} = (\text{ABS} + 0.013) / 0.11$$