



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-memoires-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>



**UNIVERSITÉ
DE LORRAINE**

MASTER FAGE

Biologie et Ecologie pour la Forêt, l'Agronomie et l'Environnement

Spécialité Fonctionnement et Gestion des Ecosystèmes (FGE)

Dynamique de l'azote après recépage d'une plantation d'Eucalyptus au Congo



**LA RECHERCHE AGRONOMIQUE
POUR LE DÉVELOPPEMENT**

Mémoire de stage soutenu à Nancy le 05/09/2012 par

TCHICHELLE Sogni Viviane

Maître de stage: Daniel Epron,
Professeur

Tuteur universitaire : Louis
Mareschal, Chercheur CIRAD

Organisme d'accueil : CRDPI, BP :
1291, Pointe Noire - République du
Congo. Tel : (+242)598 77 80



**CENTRE DE RECHERCHE
SUR LA DURABILITE
ET LA PRODUCTIVITE
DES PLANTATIONS
INDUSTRIELLES
(EX URZPI)
BP 1291 Pointe Noire
République du Congo
Tél. : (242) 598 77 80**

Remerciements

Je remercie toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce travail. Mes remerciements s'adressent à:

- Philippe Vigneron, pour son accueil au sein du Centre de Recherche sur la Durabilité et la Productivité des Plantations Industrielles (CRDPI);
- Daniel Epron et Louis Mareschal pour leur encadrement durant ce travail ;
- Lydie-Stella Koutika pour ses conseils sur la méthodologie du travail en recherche. Sincère reconnaissance.
- Morgane Pluchon pour la collaboration et la gentillesse.

Je remercie aussi tous les agents du CRDPI pour leur esprit d'équipe qui a contribué à installer une bonne humeur durant toute la période de cette étude. Un merci particulier à Jean-Claude Mazoumbou, Antoine Kinana, Tiburce Mazoumbou, Sylvain Ngoyi, Alpiche Diamesso, et Evariste Banguissa pour leur motivation.

Je remercie enfin le Centre International de Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD) pour le support financier qui a favorisé la réalisation pratique de ce travail.

Introduction	4
I. Matériels et Méthodes	5
I.1 Présentation du site	5
I.1.1 Localisation.....	5
I.1.2 Contexte pédoclimatique	5
I.1.3 Dispositif expérimental	5
I.1.4 Approche expérimentale	7
I.1.4.1 Suivi de croissance en longueur et en diamètre.....	7
I.1.4.2 Biomasse et minéralomasse azotée.....	7
I.1.4.2.1 Biomasse et équations allométriques.....	7
I.1.4.2.2 Minéralomasse et équation allométrique	7
I.1.4.2.3 Souche et carottes de souche	8
I.1.4.3 Minéralisation <i>in situ</i>	8
II. Résultats	8
II.1 Croissance en longueur et en diamètre	8
II.1.1 Longueur des rejets	8
II.1.2 Diamètre des rejets	9
II.2 Biomasse aérienne et équations allométriques	10
II.3 Minéralomasse azotée des rejets	11
II.4 Vitesse de croissance et vitesse d'utilisation de l'azote	12
II.5 Modélisation de l'utilisation de N pour la croissance	14
II.6 Estimation de la quantité d'azote utilisée pour la croissance du taillis à l'échelle de la parcelle. 15	
II.7 Minéralisation <i>in situ</i>	16
III. Discussion	18
□ Biomasse, minéralomasse	18
□ Minéralisation de l'azote.....	18

□ Minéralisation et utilisation de l'azote.....	19
Conclusions	20
Bibliographie	21
ANNEXE	23
Résumé.....	24

Introduction

La forte demande en biomasse énergie dans le monde se traduit par un besoin accru en bois et favorise l'essor d'une sylviculture intensive, basée en particulier sur l'expansion des plantations d'espèces à croissance rapide en zone intertropicale. Ce mode de gestion occasionne en contrepartie un appauvrissement des sols en éléments nutritifs, et de ce fait, une réduction de la productivité des plantations à moyen terme après plusieurs rotations.

Des espèces d'arbres à croissance rapide, comme l'eucalyptus (*Eucalyptus* spp.) et le peuplier (*Populus* spp) font l'objet d'expériences visant à concilier la production de biomasse, la préservation du milieu et la rentabilité économique.

La fertilité des sols est dépendante d'un ensemble de facteurs chimique et biologique qui caractérise la capacité de production de biomasse (Ranger et al., 2002). De plus, l'équilibre des cycles biogéochimiques dans les plantations forestières représente le garant du maintien à court, moyen et long terme de la productivité de celles-ci. La quantification des stocks et des flux d'éléments nutritifs permet d'identifier les principaux processus qui contrôlent les cycles biogéochimiques. Le sol, support de la production et des fonctions environnementales, est une ressource non renouvelable à l'échelle de la vie humaine. La capacité de rétention des éléments minéraux du sol est la fonction déterminante de la productivité des plantations forestières (Bernston et al., 2000). La gestion durable du sol est de ce fait essentielle pour maintenir sa capacité productive. (Hopmans et al., 2009).

La fertilisation est apparue comme la solution la plus aisée à mettre en œuvre pour maintenir la productivité d'une plantation. Cependant, en raison des points négatifs que présente cette pratique comme par exemple le coût économique et les risques potentiels d'eutrophisation, la recherche s'oriente de plus en plus vers l'intensification écologique. Cela peut se traduire d'une part, par la mise en place de plantation mixte associant espèces à croissance rapide et espèce fixatrice d'azote, et d'autre part, à travers la gestion des rémanents d'exploitation. Ces modes de gestion permettent de minimiser les pertes en éléments nutritifs liées à l'exportation importante de biomasse dans les plantations à courtes rotations.

Cette étude dont les résultats seront présentés dans ce rapport, entre dans le cadre du projet Intens&fix soutenu par le programme SYSTERRA de l'ANR (Agence Nationale de la Recherche). Ce projet vise à comprendre les interactions biophysiques inter et intra-spécifiques au sein de plantations forestières associant des espèces fixatrices d'azote afin de proposer des schémas de gestion innovante des plantations forestières dans un contexte d'intensification écologique de la production de bois (<http://intens-fix.cirad.fr/>).

Les travaux ont été réalisés au sein de l'unité Plante&Milieu du Centre de Recherche sur la Durabilité et la Productivité des Plantations Industrielles (CRDPI) (http://www5.montpellier.inra.fr/ecosols/implantations_et_ateliers/Afrique-Centrale-Congo). Les recherches conduites dans ce centre concernent trois thèmes de l'UMR Eco&Sol sur des plantations pérennes, mono et pluri spécifiques d'Eucalyptus et d'Acacia. Située à Pointe-Noire, capitale économique du Congo Brazzaville, le centre dispose de plantations d'Eucalyptus et de savane avec des dispositifs instrumentés pour l'étude des cycles biogéochimiques.

L'objectif principal de ce travail a été de suivre la dynamique de l'azote dans une plantation d'eucalyptus gérée en taillis après exploitation d'une plantation mixte d'un hybride *Eucalyptus urophylla* X *grandis* et d'*Acacia mangium* dans la région du Kouilou au Congo Brazzaville.

Ce travail a pour but de suivre le cycle de l'azote dans un peuplement d'Eucalyptus géré en taillis. Les résultats permettront d'évaluer la pertinence de ce mode de gestion et contribueront à la définition d'itinéraires de gestion garantissant le maintien à long terme de la fertilité. Nous étudierons pour cela la dynamique temporelle de la production de biomasse et de l'accumulation de l'azote ainsi que la production d'azote dans le sol par minéralisation. Nous testerons l'hypothèse selon laquelle (1) la demande d'azote pour la croissance initiale est supérieure à la minéralisation et que (2) les rejets mobilisent les réserves en azote présent dans la souche et dans les grosses racines. Ces réserves se seraient accumulées à la fin de la précédente rotation, avant la récolte.

I. Matériels et Méthodes

I.1 Présentation du site

I.1.1 Localisation

L'étude a été réalisée à Pointe-Noire (Région du Kouilou, 4°S, 12°E, 100 m d'altitude), au Congo Brazzaville précisément à Kissoko, dont la parcelle expérimentale est située dans le massif d'environ 40 000 ha d'eucalyptus de la zone côtière du Congo. Le massif, planté sur des savanes à *Loudetia simplex*, fournit principalement du bois de trituration pour l'exportation et secondairement du charbon de bois pour un usage local (<http://intensif.cirad.fr/sites-et-experimentations/congo>).

I.1.2 Contexte pédoclimatique

Le climat est de type tropical humide (85% d'humidité et 25°C de température moyenne annuelle) avec une saison sèche marquée de mai à septembre (précipitations annuelles moyennes de 1400 mm). Le sol profond est très sableux. Il se caractérise par un pH acide, variant entre 4,7 et 5,3 (Mareschal et al., 2011) avec une très faible capacité de rétention en eau et une pauvreté chimique marquée.

I.1.3 Dispositif expérimental

La parcelle expérimentale est constituée de 5 blocs dans lesquels sont répartis sept traitements. Chaque placette élémentaire a une surface de 1248 m² avec une partie centrale de 36 arbres et deux rangs de bordure. La plantation a été mise en place en mai 2004 avec le clone UxG 18-52 qui est un hybride d'*Eucalyptus grandis* et d'*urophylla*. De l'*Acacia mangium* a été introduit dans les rangs de plantation, (trois modalités de type additive et une substitutive). Trois témoins (parcelle monospécifique) sont plantés en *Acacia* pur ou en

Eucalyptus pur. Après coupe en Janvier 2012, seule la modalité T4 a été reconduite en taillis (Tableau 1).

Tableau 1 : Densité de plantation dans les différents traitements. T= traitement, A= Acacia, E= Eucalyptus.

	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
	100A:0E	0A:100E	0A:100E	50A:100E	50A:100E	25A:100E	50A:50E
<i>Eucalyptus</i>	0	800	800	800	800	800	400
<i>Acacia</i>	800	0	0	400	400	200	400

L'étude porte uniquement sur les traitements T4 des blocs 1 à 4, correspondant à une répétition d'un même traitement, le taillis. Le schéma ci-dessous montre le positionnement des souches et la délimitation de la centrale (Figure 1).

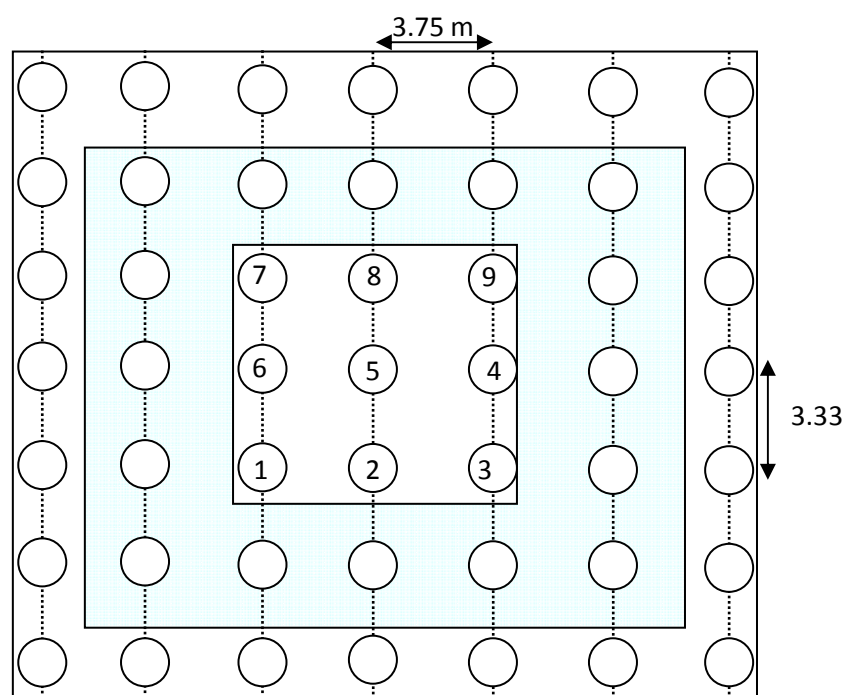


Figure 1 : Dispositif expérimental de la modalité taillis. 1-9, numéros des souches définissant la zone centrale, soit 3x3 souches.

I.1.4 Approche expérimentale

I.1.4.1 Suivi de croissance en longueur et en diamètre

Deux rejets préalablement identifiés sur neuf souches de la zone centrale délimitée, ont été suivis en croissance. La longueur de ces rejets a été estimée à l'aide d'un ruban métré, et le diamètre avec un pied à coulisse. Cette dernière mesure a été effectuée à 5 cm au-dessus de la base du rejet. Pour les rejets ramifiés au niveau de ces 5 cm, la mesure était faite à 7 cm.

I.1.4.2 Biomasse et minéralomasse azotée

I.1.4.2.1 Biomasse et équations allométriques

Dans le but de quantifier les teneurs en azote dans les feuilles et les tiges des rejets formés après la coupe, nous avons effectués des prélèvements de deux rejets par souche à l'âge juvénile, puis d'un seul lorsque les houppiers sont devenus plus importants. Au laboratoire, avant de séparer les feuilles des tiges, des mesures de hauteur et de diamètre ont été réalisées sur ces rejets. Les feuilles et les tiges ont ensuite été séchées à l'étuve à 65°C, broyées puis envoyées à Nancy pour une analyse CHN (carbone, hydrogène et azote) à l'aide d'un analyseur élémentaire. En partant des masses sèches totales des feuilles et des tiges ; et des données de croissance des rejets échantillonnés, nous avons établi des équations allométriques de la forme :

$$Y = aX^b$$

avec X , représentant soit la longueur d'un rejet (L), soit son diamètre (D), soit son index de volume (D^2L).

Y la biomasse des feuilles (B_F) ou la biomasse des tiges (B_T).

Nous avons calculé les coefficients a et b , ainsi que le coefficient de détermination R^2 pour chaque date et séparément pour les feuilles et les tiges, en considérant la longueur, le diamètre et l'index de volume. Le choix de X a été dépendant de la qualité de la corrélation estimée par R^2 . Les biomasses de feuilles, tiges et totale ont donc été obtenues selon les équations suivantes :

$$B_F(t) = a_F X_F^b, \text{ pour la biomasse des feuilles ;}$$

$$B_T(t) = a_T X_T^b, \text{ pour la biomasse des tiges ;}$$

$$B_A = B_T + B_F, \text{ pour la biomasse totale.}$$

I.1.4.2.2 Minéralomasse et équation allométrique

Les relations allométriques établies, nous ont permis de calculer la minéralomasse des feuilles (N_F), des tiges (N_T) et totale (N_A).

En tenant compte des valeurs de N% dans les feuilles et dans les tiges des rejets prélevés, nous avons calculé pour chaque date la masse d'azote exprimée en gramme dans les feuilles et les tiges des rejets suivis en croissance. Nous avons pour cela multiplié la teneur en azote (N%) et la biomasse (B) dans les compartiments tige et feuille comme illustrés ci-dessous :

$$N_F = BF * [N_F]/100; N_T = B_T * [N_T]/100; N_A = N_F + N_T$$

I.1.4.2.3 Souche et carottes de souche

Nous avons également souhaité estimer les quantités initiales d'azote dans les souches. Pour cela, deux souches sur lesquelles on a retiré tous les rejets, ont été prélevées dans la zone de bordure du traitement. Ces souches ont été sciées en rondelles, et les racines séparées en différentes classes de taille. L'ensemble a été séché à 65°C. Les échantillons n'ayant pas encore été analysés, nous ne présenterons aucun résultat sur ce point.

Outre cela, nous avons effectué des carottages de souches sur 5 souches dans la zone centrale et deux souches en bordure de la zone délimitée. Deux carottes ont été prélevées par souches dans les quatre blocs en l'intervalle d'un mois et à partir de fin mars pour suivre la dynamique de l'azote dans les souches sur la période considérée.

I.1.4.3 Minéralisation *in situ*

Cette partie de l'étude a été réalisée entre décembre 2011 et mai 2012. Des tubes PVC de diamètre 75 mm et de longueur 30 cm, ont été enfoncés de 20 cm dans le sol à raison de 3 par plateau de taillis. Ces tubes sont restés « en incubation » *in situ* durant un mois avant d'être récupérés et renouvelés pour le mois suivant. Au moment de l'installation de chaque tube dans le sol, un autre échantillon prélevé juste à côté (0-20cm), est prélevé à proximité du tube mis pour incubation. Ce prélèvement constitue l'échantillon de sol témoin (t0) qui servira de point initial pour le calcul de l'azote produit entre deux dates à l'intérieur du tube *in situ* (Raison et al., 1987). L'extrémité supérieure des tubes est couverte par un plastique, pour empêcher le lessivage de l'azote minéral par pénétration de l'eau de pluie.

Les échantillons de sol collectés à chaque date sont transportés au laboratoire dans des glacières et placés au réfrigérateur. Les extractions d'azote minéral sont effectuées le lendemain, à l'aide d'une solution de KCl 1 M. L'ammonium et le nitrate sont ensuite dosés par colorimétrie. L'accumulation d'azote minéral dans les tubes calculée par soustraction ($N_{min} = N_{t1} - N_{t0}$) est considérée comme la minéralisation nette. Le cumul des résultats obtenus tous les mois permet de calculer la quantité d'azote minéralisé sur la période considérée.

II. Résultats

II.1 Croissance en longueur et en diamètre

II.1.1 Longueur des rejets

La figure 2 ci-dessous, nous montre l'évolution dans le temps de la longueur des rejets sélectionnés sur le terrain pour les suivis. Sur la période considérée l'accroissement des rejets en longueur a atteint 150 cm en moyenne soit une vitesse de croissance moyenne de 1.23 cm par jour.

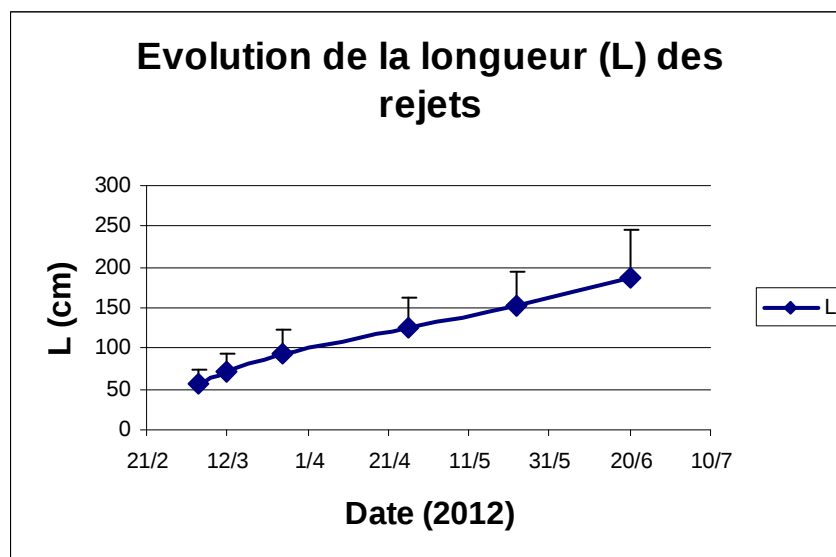


Figure 2 : Variation moyenne dans le temps de la longueur (L en cm) des rejets. Les longueurs sont exprimées en cm.

II.1.2 Diamètre des rejets

La figure 3 présente l'évolution en moyenne des diamètres des rejets. Ceux-ci présentent une augmentation de 12mm en moyenne sur la période considérée avec une croissance relativement régulière dans le temps.

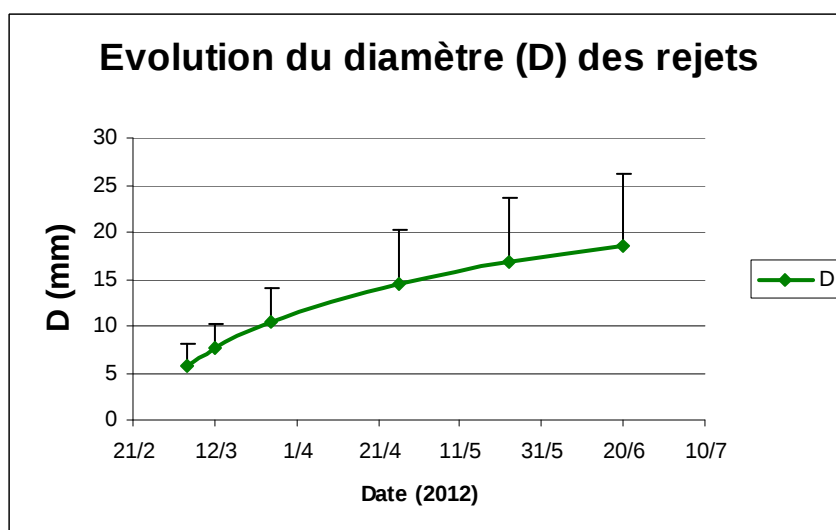


Figure 3: Variation moyenne dans le temps du diamètre (D) des rejets. Les valeurs de diamètre sont exprimées en mm.

II.2 Biomasse aérienne et équations allométriques

Les relations allométriques précédemment décrites nous ont permis d'estimer la croissance des rejets suivis sur le terrain.

Nous avons en effet constaté que l'index de volume paraissait être la valeur de X la plus à même d'établir la relation allométrique souhaitée. La figure 4 ci-dessous est un exemple de relation obtenue entre l'index de volume (D^2L) et la masse sèche des tiges le 26/03/2012.

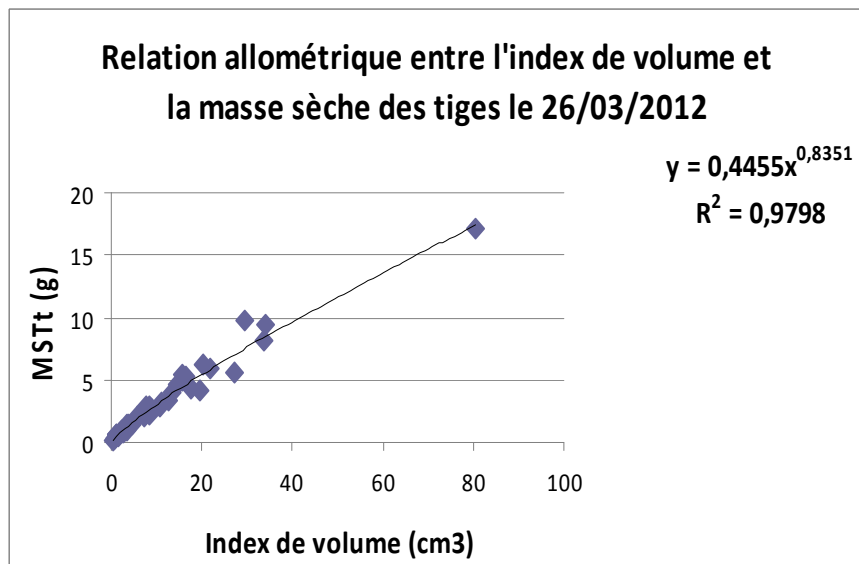


Figure 4 : Relation allométrique entre l'index de volume et la masse sèche des tiges. Les coefficients $aT=0.4455$, $bT=0.8351$. Y =biomasse des tiges et X =index de volume D^2L . D =diamètre et L =longueur

Il en ressort une relation allométrique importante entre la masse sèche et l'index de volume, traduite par un R^2 élevé.

Les coefficients aT et bT obtenus pour les tiges puis aF et bF pour les feuilles pour chaque date de prélèvement, ont été appliqués aux données de suivi de croissance des rejets non prélevés. Le graphe ci-dessous, présente l'évolution dans le temps de la biomasse moyenne pour un brin des feuille (B_F), tige (B_T) et le totale (B_A), exprimée en gramme de matière sèche.

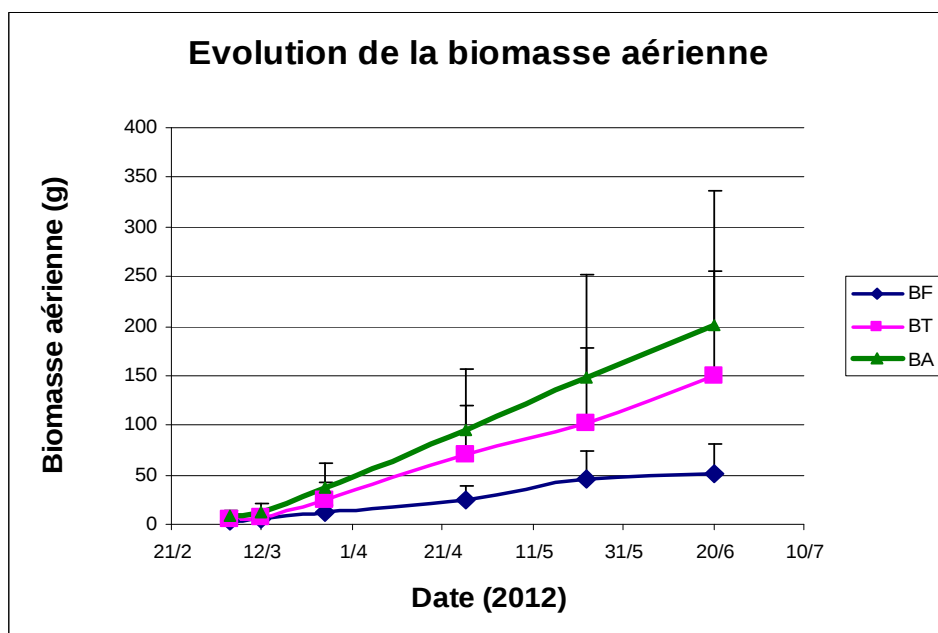


Figure 5 : Evolution de la biomasse aérienne dans le temps. B_F = biomasse des feuilles, B_T = biomasse des tiges et B_A = biomasse totale.

Nous voyons une augmentation de la biomasse des feuilles moins importante que celle des tiges.

II.3 Minéralomasse azotée des rejets

Le tableau 2 ci-dessous présente les teneurs en azote dans les feuilles et les tiges pour chacune des dates dans chaque bloc.

Tableau 2 : Teneurs en azote des feuilles et des tiges des rejets prélevés pour la biomasse.

N%F						
Date (2012)	5/3	12/3	26/3	26/4	23/5	20/6
Bloc 1	3,21	3,94	3,63	3,44	3,43	2,99
Bloc 2	3,62	3,63	3,76	3,51	3,13	2,70
Bloc 3	3,59	3,79	3,62	3,30	1,75	2,87
Bloc 4	3,43	3,62	3,79	3,46	1,74	2,96
N%T						
Date (2012)	5/3	12/3	26/3	26/4	23/5	20/6
Bloc 1	1,03	1,15	0,95	0,92	0,79	0,61
Bloc 2	1,11	1,07	0,96	0,92	1,11	0,70
Bloc 3	1,19	1,09	0,86	0,86	0,87	0,88
Bloc 4	0,95	1,11	0,44	0,83	1,13	0,78

La figure 6, ci-dessous, présente l'évolution dans le temps de la minéralomasse azotée.

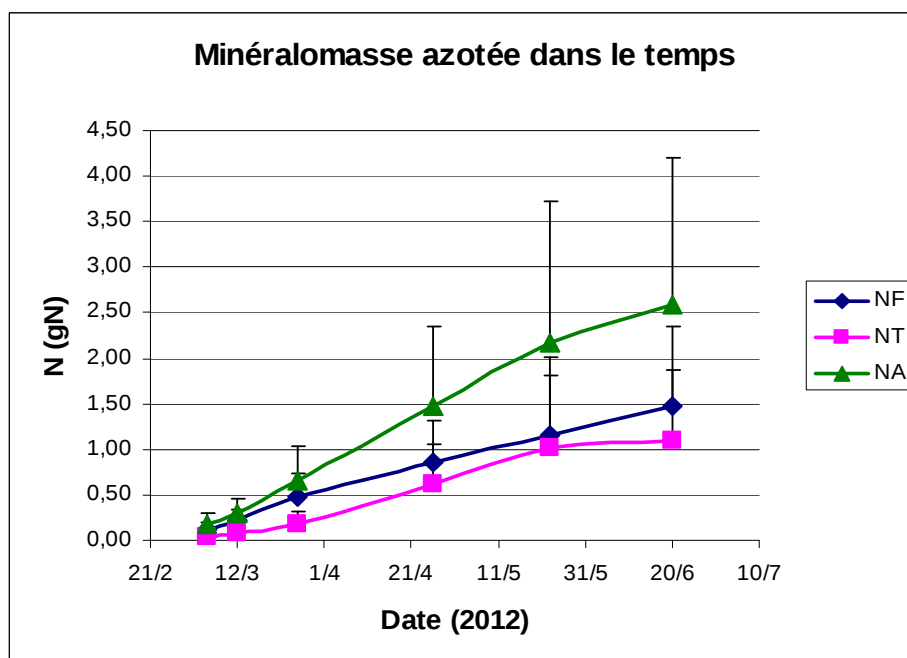


Figure 6 : Minéralomasse azotée des rejets suivis en croissance (N). N_F , N_T , N_A sont respectivement la masse d'azote dans les feuilles, les tiges et totale.

Cette illustration permet d'évaluer la minéralomasse azotée des feuilles et des tiges des rejets suivis en croissance. Relativement à leur biomasse, la masse d'azote est importante dans les feuilles par rapport aux tiges.

II.4 Vitesse de croissance et vitesse d'utilisation de l'azote

La vitesse de croissance aérienne (aboveground growth rate, GR_A) est dépendante de la quantité de biomasse aérienne (B_A) produite entre deux dates consécutives et tient compte de la chute de litière aérienne (L_A). Elle est donnée par la relation suivante :

$$GR_A = \Delta B_A + L_A$$

Dans ce contexte L_A est considéré comme nul en raison de l'âge juvénile du matériel végétal étudié. On définit à partir de cette vitesse de croissance absolue, une vitesse relative (RGR : relative growth rate) exprimée en fonction du temps. Celle-ci correspond à l'augmentation en masse des rejets par unité de temps par rapport à sa masse, et est obtenue d'après le calcul suivant :

$$RGR = dB_A/B_A = \Delta \ln B_A / \Delta t$$

La figure 7 ci-après montre la vitesse de croissance relative aérienne à partir de la biomasse aérienne et la vitesse d'utilisation de l'azote.

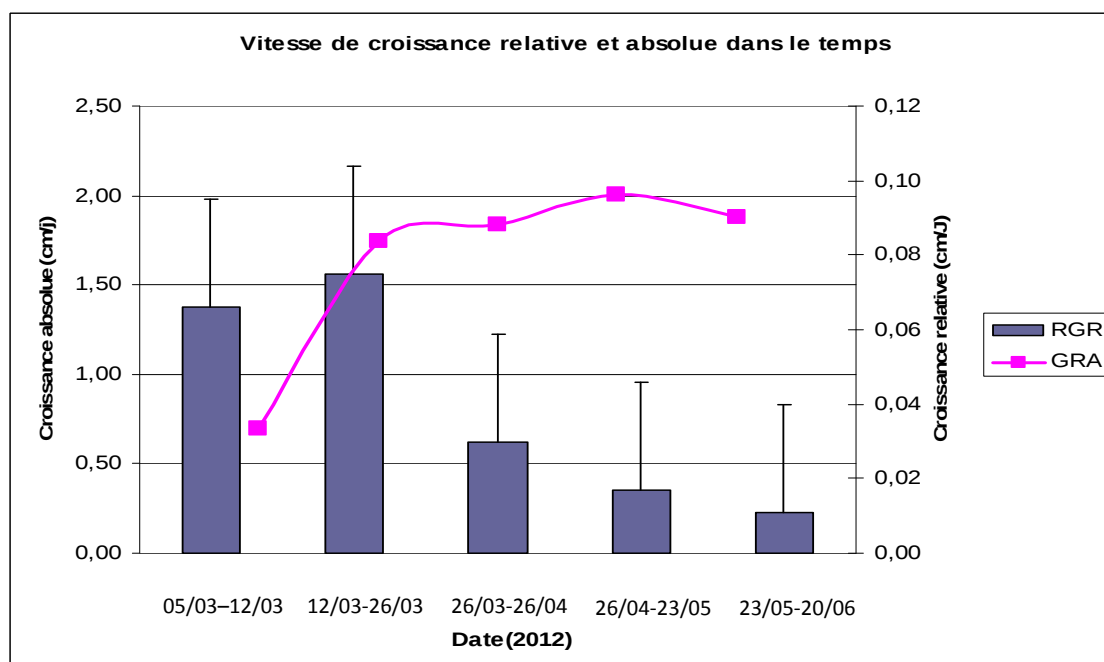


Figure 7 : Vitesse de croissance relative RGR et absolue GRA (J-1) dans le temps.

On observe une vitesse de croissance relative et absolue qui s'élève en début de croissance. La vitesse relative diminue quand l'âge des rejets augmente, tandis que la vitesse absolue se stabilise.

Nous avons en outre défini une vitesse d'utilisation de l'azote (NUR : nitrate utilization rate) qui varie avec la minéralomasse azotée aérienne (N_A). Cette vitesse est donnée par la formule ci-dessous :

$$NUR = \Delta N_A + N_{LA}$$

avec N_{LA} la minéralomasse azotée aérienne retrouvée dans la litière, également nulle à ce stade de développement.

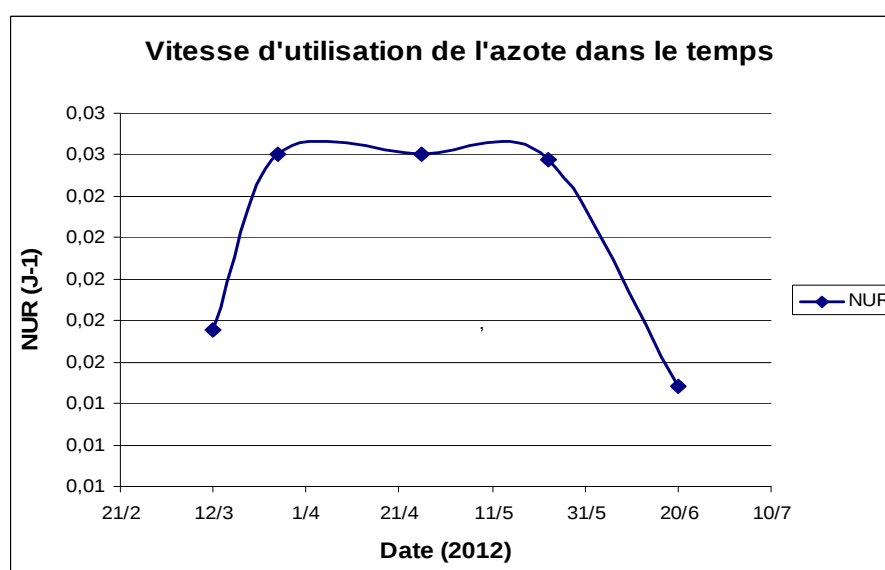


Figure 8 : Vitesse d'utilisation de l'azote (NUR en gN/J) en fonction du temps.

L'utilisation de l'azote est forte au début du développement des rejets jusqu'à atteindre un plateau puis faible d'avril à juin.

II.5 Modélisation de l'utilisation de N pour la croissance

L'utilisation cumulée de l'azote (NA) pour la croissance aérienne a été estimée en utilisant un modèle du type $NA = a (1 - \exp(-b t))^c$ avec t, le temps écoulé depuis le 1^{er} janvier 2012 ; a, b et c sont les paramètres du modèle. Les valeurs obtenues prédictent par le modèle renseignent sur les teneurs totales en azote à une date. Sur le graphe ci-dessous nous voyons la comparaison du modèle avec la minéralomasse mesurée à chaque date.

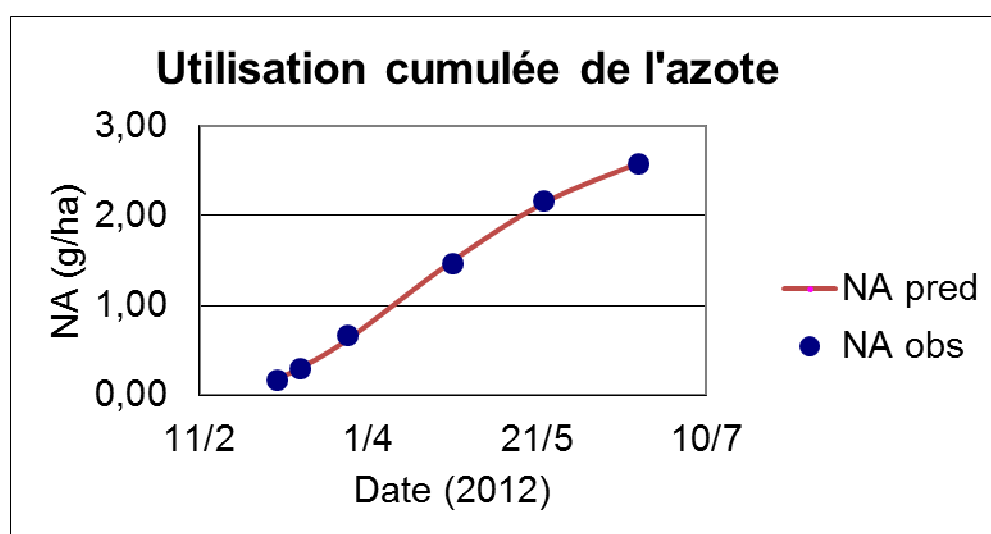


Figure 9 : Modèle de l'utilisation cumulée de l'azote (NA pred) ajustée à l'utilisation cumulée d'azote observée (NA obs) pour la croissance aérienne.

Les paramètres du modèle sont présentés dans le tableau ci-après, ainsi que le coefficient de détermination R^2 .

Tableau 3 : Paramètres d'ajustement du modèle (a, b et c) et coefficient de détermination R^2

Paramètres du modèle	Valeurs
A	3,142
B	0,024
C	11,453
R2	0,999

II.6 Estimation de la quantité d'azote utilisée pour la croissance du taillis à l'échelle de la parcelle.

En établissant une relation allométrique sur 36 rejets représentatifs (un rejet par souche), nous avons estimé la biomasse de tous les rejets. Un inventaire a donc été réalisé le 31 Juillet, inventaire au cours duquel nous avons mesuré la longueur et le diamètre de tous les rejets des 9 souches de la zone centrale des 4 blocs. Les masses sèches totales des tiges et feuilles sont représentées sur les graphes des figures 10 et 11 en fonction de l'index de volume D²L.

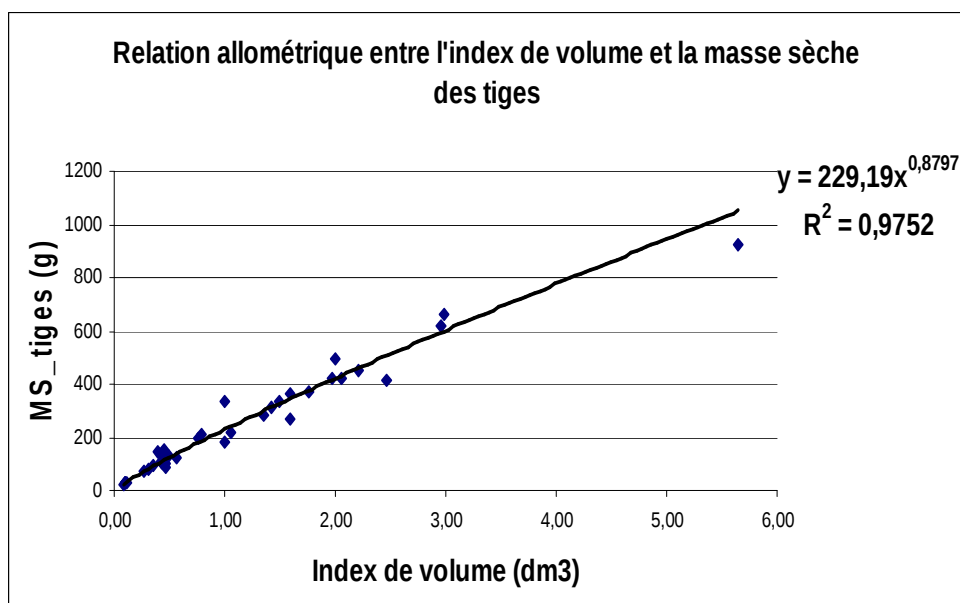


Figure 10 : Relation allométrique entre l'index de volume D²L et la biomasse des tiges. Les coefficients allométriques aT=229.19 et bT=0.8797 sont représentés sur le graphe avec le coefficient de détermination R².

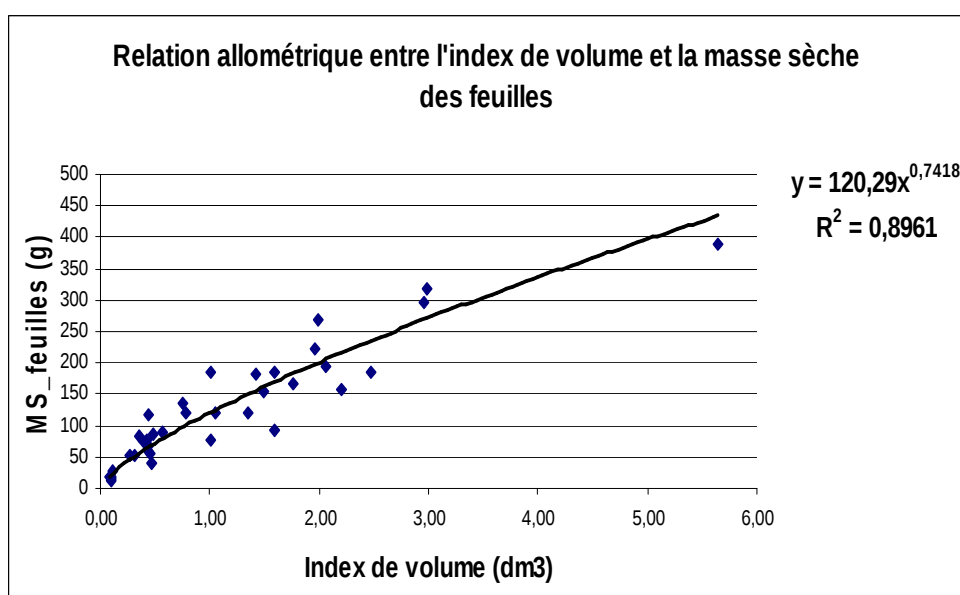


Figure 11 : Relation allométrique entre l'index de volume et masse sèche des feuilles. Les coefficients allométriques aT=120.29 et bT=0.7418 sont représentée sur le graphe avec le coefficient de détermination R²=0.8961

Ces relations allométriques ont permis de calculer par la suite la masse des feuilles et des tiges du taillis au 31 juillet dans un premier temps, puis d'estimer la minéralomasse azotée des rejets en second lieu. Cette minéralomasse a été obtenue en multipliant les biomasses de juillet par les concentrations en azote des feuilles et des tiges du mois de juin, l'azote des échantillons de juillet n'ayant pas encore été dosé. Ces données de biomasse et de minéralomasse des feuilles et des tiges sont présentées dans le tableau ci-dessous

Tableau 4 : Biomasse (MgMS/ha) et minéralomasse totale (KgN/ha) de tout le taillis

Bloc	MgMS/ha	kgN/ha
1	3,91	57,30
2	3,21	47,10
3	2,55	38,26
4	4,03	58,74

Cet ajustement nous a permis de prédire la quantité de biomasse produite au 31 juillet 2012. **50 kg/ha** d'azote ont été utilisés jusqu'au 31 juillet 2012 par le taillis. Après avoir ajusté dans le modèle le paramètre **a** à cette quantité d'azote utilisée, nous avons simulé la dynamique de l'azote dans le taillis à l'échelle de la parcelle (Figure 12).

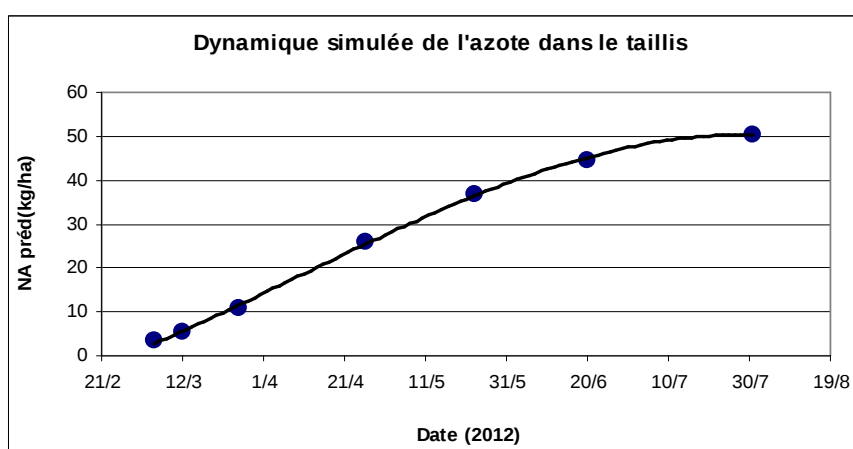


Figure 12 : Simulation de la dynamique de l'azote dans le taillis. $NA = a (1 - \exp(-bt))^c$ = utilisation cumulée de l'azote.

II.7 Minéralisation *in situ*

Les données d'incubation obtenues après analyses des échantillons de sol prélevés entre le 4 décembre 2012 et le 14 mai nous ont permis de calculer les quantités d'azote minéralisé dans les taillis des 4 blocs. La figure 13 ci-dessous présente l'évolution dans le temps de cette minéralisation.

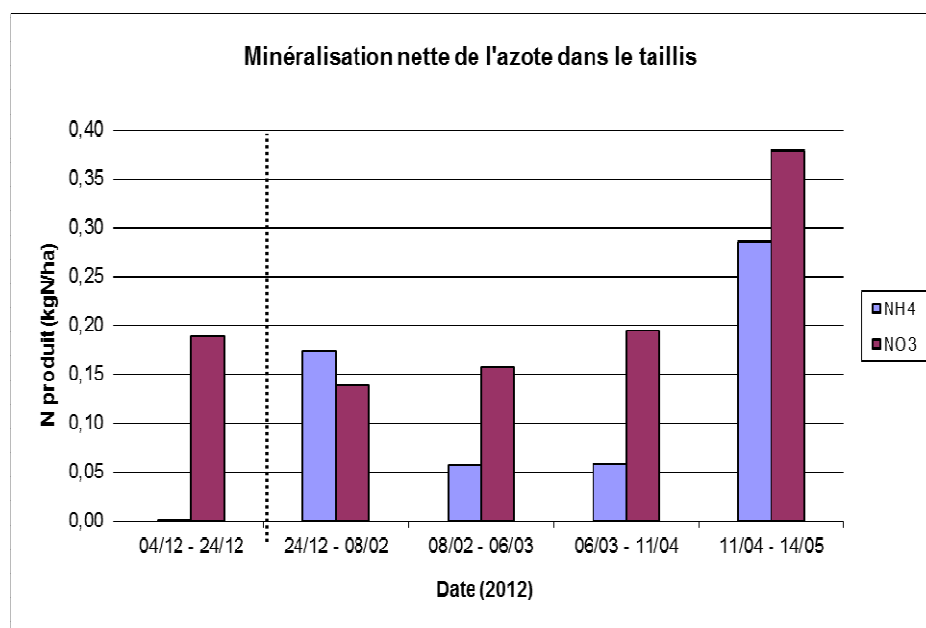


Figure 13 : Minéralisation nette azotée évaluée entre deux dates sur toute la période d'étude. Le trait en pointillé indique la date de coupe.

Sur cet histogramme nous constatons que la quantité de NH_4^+ dosé est quasi nulle avant la coupe contrairement au NO_3^- . Après la coupe les deux molécules azotées sont présentes dans le sol. On note un pic d'avril à mai pour les deux formes d'azote. La figure 14 représente la minéralisation cumulée de NH_4^+ et NO_3^- , et le total des deux formes.

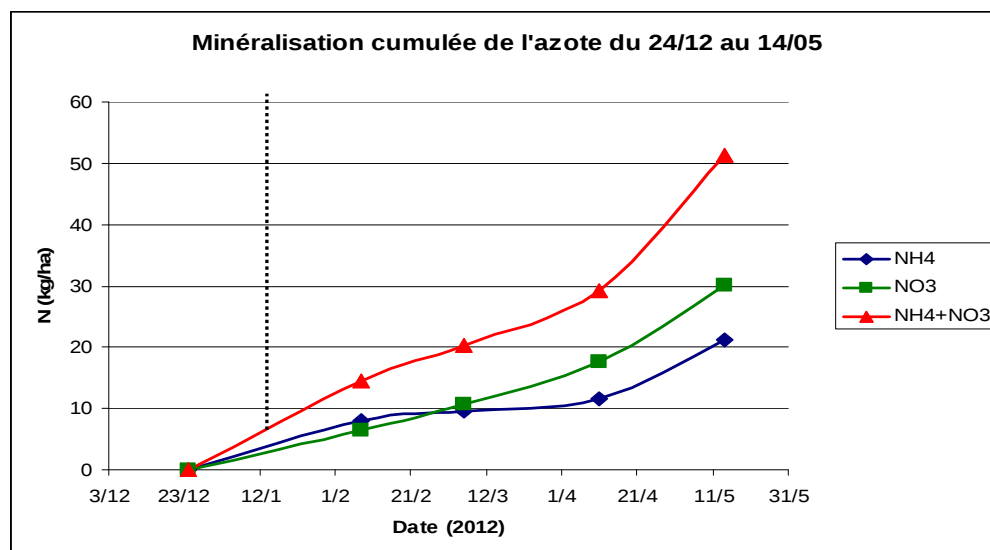


Figure 14 : Minéralisation cumulée de l'azote du 24/12/2011 au 14/05/2012. Le trait en pointillé indique la coupe.

En se basant sur le modèle décrit précédemment, nous avons évalué à **34 kg/ha**, la quantité d'azote utilisé par le taillis jusqu'au 14 mai 2012 contre **51 kg/ha** minéralisée sur la même période.

III. Discussion

Les sols sableux sur lesquels ont été installées les plantations d'Eucalyptus au Congo ont de très faibles réserves nutritives (Bouillet et al., 2004). Principal facteur limitant de la croissance des plantations d'Eucalyptus (Nzila et al., 2002), l'azote est l'un des éléments nutritifs indispensables à la survie d'un écosystème forestier. Après plusieurs rotations de courte durée (7 années) le stock de N du sol peut devenir limitant pour la croissance des peuplements. Cette baisse de productivité résulte de l'exportation de biomasse qui est souvent aggravée par le retrait des rémanents d'exploitation par les populations locales (écorces, branchages), et par le lessivage avec la décomposition de la matière organique. La production de biomasse dans les plantations d'Eucalyptus subit de ce fait des pressions multiples susceptibles de nuire à la pérennité de la production. Il est en conséquence important de cibler et de quantifier l'effet des différents facteurs susceptibles de limiter la production de biomasse dans ces types de plantation, et ensuite de proposer des approches de gestion pour accroître la durabilité des peuplements.

- **Biomasse, minéralomasse**

La croissance des feuilles et la production de biomasse sont principalement déterminées par les ressources azotées. (Dickmans et al., 2002). Nous avons observé une production de biomasse de tige plus importante que celle des feuilles au cours du suivi (Figure 5). En effet pour tout arbre, la masse des feuilles est généralement inférieure à celle du bois. La lignification et la production de protéine sont par exemple des processus qui consomment de l'azote. (Dickmans et al., 2002). Par ailleurs, on a noté une concentration importante d'azote dans les feuilles par rapport aux tiges (Figure 6). D'après Nzila et al. (2002), 70% de l'azote total se trouve dans les feuilles. Notons également que la production des feuilles est déterminée par des ressources internes d'azote. (Dickmans et al., 2002). Dès les premiers stades de développement les feuilles et les tiges utilisent l'azote disponible pour leur constitution. Il n'existe cependant pas de relation linéaire en termes de production entre les feuilles et les tiges (Bartelink, 1999).

- **Minéralisation de l'azote**

La gestion des sols forestiers en général et des plantations forestières intensive en particulier, est essentielle pour maintenir leur capacité productive. Nous avons dans notre étude évaluée les quantités d'azote produites après incubation par période successive d'un mois. Les résultats obtenus montrent une absence de NH_4^+ dans le peuplement mature (Figure 13). Outre ce constat, à l'exception de la minéralisation entre décembre et février pour laquelle il y'a plus de NH_4^+ que de NO_3^- , on remarque que la production des nitrates est importante sur toute la période de l'étude. Cela confirme le fait que les plantations d'eucalyptus se caractérisent par un taux élevé de nitrification. (Nzila et al., 2002). Ce constat se répète lorsque l'on cumule la minéralisation nette de l'azote du 24 décembre au 14 mai. En effet 30.13 kg/ha de NO_3^- a été minéralisé du 24 décembre au 14 mai, alors que seulement 21.11 kg/ha de NH_4^+ l'a été. La quantité totale d'azote minéralisée durant cette période est de 51 kg ha⁻¹ ce qui est considérable en comparaison d'un peuplement mature d'eucalyptus où les quantités produites sont de l'ordre de 4 kg ha⁻¹ an⁻¹. (Nzila et al., 2002). Cette différence

s'explique par la quantité importante de rémanent au sol suite à la coupe et par le précédent constitué d'un mélange acacia-eucalyptus. En effet, la fixation symbiotique de l'acacia mesuré en peuplement pur dans cet essai atteint 400 kg ha^{-1} durant les 3 premières années de croissance.

- **Minéralisation et utilisation de l'azote**

La combinaison des variables dendrométriques, ici la longueur et le diamètre des rejets, peut être utilisée comme variable prédictive de l'estimation de la biomasse (Ramarson et al, 2011). Nous avons prédit la croissance des rejets à partir des équations allométriques qui lient la masse sèche aérienne des rejets représentatifs à un index de volume. Nous avons en outre considéré une vitesse de croissance relative qui augmente dès le début de la croissance (Figure 7) et une vitesse d'utilisation de l'azote disponible dans le taillis (Figure 8). Cette augmentation de vitesse d'utilisation de N et de croissance peut être liée au stade juvénile des rejets qui utilisent activement les éléments nutritifs azotés disponibles soit dans le sol, soit sous forme de réserves dans les souches. Le modèle que nous avons utilisé pour prédire la dynamique de l'azote dans le taillis à l'échelle de la parcelle, nous a également permis d'estimer les quantités d'azote minéralisées et utilisées par ce mode de sylviculture. Nous avons noté 51 kg/ha d'azote minéralisé, contre 34 kg/ha utilisé jusqu'au 14 mai 2012. Cette différence peut être le fait du lessivage, mais on pourrait également penser que l'arbre a accumulé une quantité d'azote qui reste stocké dans les souches tant que la fourniture en azote du sol est supérieure à la demande pour la croissance initiale. Pour vérifier l'hypothèse des pertes par drainage profond des analyses de solution du sol sont en cours sur le site de Kissoko.

Vérifier le stock initial d'azote, en réserve dans les souches, pour estimer la quantité d'azote disponible au début et à la fin de l'étude nous permettrait de vérifier la seconde hypothèse. Pour cela, nous nous référerons aux analyses des rondelles de souches prélevées au début de l'expérience et au suivi temporel des quantités d'azote dans les carottes de souches que nous avons prélevées mensuellement sur toute la période de l'étude.

La dynamique d'incorporation des éléments minéraux dans la biomasse renseigne sur l'évolution de la nutrition des plantations au cours de leur croissance (Laclau, 2001). Suivre le devenir de l'azote dans une plantation industrielle gérée en taillis permettrait d'apprécier sa capacité productive à long terme. Ceci à travers l'allocation des éléments nutritifs azotés et en analysant le compartiment (sol vs souche) de prélèvement de ces éléments nutritifs. Dans cet optique, un marquage au sulfate d'ammonium ($^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) a été réalisé dans les taillis en février dans les blocs 2 et 4, puis en mars dans les blocs 1 et 3. Une série de prélèvements de feuilles, tiges et de sol a été réalisée et est en cours de traitement. Les dernières feuilles produites avant le marquage ont été identifiées à l'aide d'une ficelle de laine placée juste en dessous de celles-ci. Par ce procédé il a été possible de distinguer lors des prélèvements, les feuilles et les tiges néoformées après le marquage. Ces prélèvements ont été réalisés 24h, 1 semaine, 2 semaine, un mois, puis tous les mois après le marquage jusqu'à la fin de l'étude.

L'analyse de ces échantillons nous permettra de déterminer si l'azote mobilisé pour la croissance provient des souches ou provient directement du sol en suivant l'évolution du signal isotopique.

Conclusion

Nous avons étudié au cours de ce travail la dynamique de l'azote à travers son utilisation pour la croissance initiale des rejets d'eucalyptus. Nous avons également évalué la production d'azote du sol par une expérience de minéralisation *in situ*. Pour cela nous nous sommes basés sur les hypothèses selon lesquelles la demande d'azote pour la croissance initiale était supérieure à la minéralisation dans le sol, et que les rejets mobilisaient les réserves d'azote accumulées dans les souches et les grosses racines avant la coupe. Les résultats démontrent cependant que, la minéralisation est plus importante que les besoins en azote avec une différence de 17 kg/ha. Cette observation peut être liée au fait que les acacias également plantés sur cette parcelle améliorent par la fixation symbiotique le stock d'azote du sol et donc la fertilité. Il en ressort l'intérêt de gérer en taillis les plantations industrielles car les souches semblent s'être comportées en puits d'azote.

Comprendre la dynamique de l'azote pour maintenir à long terme la fertilité des sols des plantations forestières est au centre des grandes questions actuelles avec l'émergence de la biomasse énergie. La modélisation de cette dynamique aide à prédire l'utilisation de l'azote à long terme, et donc, de prévoir des schémas de gestion innovants à court terme.

Bibliographie

ABOU JAOUDE, R., LAGOMARSINO A., DE ANGELIS P. Impacts of nitrogen fertilisation and coppicing on total and heterotrophic soil CO₂ efflux in a short rotation poplar plantation. *Plant and Soil*. 2011. Vol. 339, n°1, p. 219-230.

AUBREY, D. P., COYLE D. R., COLEMAN M. D. Functional groups show distinct differences in nitrogen cycling during early stand development: implications for forest management. *Plant and Soil*. 2012. p. 1–18.

BOUILLET, J.P., SAFOU-MATONDO, R., LACLAU, J.P., NZILA, J.D.D., RANGER, J., DELEPORTE, P., 2004. Pour une production durable des plantations d'eucalyptus au Congo : la fertilisation. *Bois et Forêt des Tropiques*. 279, 23-35.

CALVO-ALVARADO, J. C., MCDOWELL, N. G., WARING R. H. Allometric relationships predicting foliar biomass and leaf area:sapwood area ratio from tree height in five Costa Rican rain forest species. *Tree Physiol*. 9 février 2008. Vol. 28, n°11, p. 1601-1608.

DRAKE, P. L., MENDHAM, D. S., WHITE D. A., OGDEN G. N. Acomparaison of growth, photosynthetic capacity and water stress in Eucalyptus globulus coppice regrowth and seedlings during early development. *Tree physiology*. 2009. Vol. 29, n°5, p. 663–674.

DUGUET, F. Minéralisation de l'azote et du phosphore dans les sols organiques cultivés du Sud-Ouest du Québec. *Maitrise en Sols et Environnement: Faculté des Sciences de l'Agriculture et de l'Alimentation, Québec (Canada)*. 2005.

DYCKMANS, J., FLESSA H., BRINKMANN K., MAI C., POLLE A. Carbon and nitrogen dynamics in acid detergent fibre lignins of beech (*Fagus sylvatica* L.) during the growth phase. *Plant, Cell & Environment*. 2002. Vol. 25, n°4, p. 469–478.

DYCKMANS, J., FLESSA H., BRINKMANN K., MAI C., POLLE A. Carbon and nitrogen dynamics in acid detergent fibre lignins of beech (*Fagus sylvatica* L.) during the growth phase. *Plant, Cell & Environment*. 2002. Vol. 25, n°4, p. 469–478

ELHANI S., LEMA, B. F., ZELLER B., BRÉCHET C., GUEHL J.-M., DUPOUEY J.-L. Inter-annual mobility of nitrogen between beech rings: a labelling experiment. *Annals of Forest Science*. septembre 2003. Vol. 60, n°6, p. 503-508.

EPRON, D., MARESCAL, L., MARRON, N., LACLAU, J.-P., MARSDEN, C., RANGER, J., NOUVELLON, Y., SAINT-ANDRE, L., BOUILLET, J.-P., 2011. Les enjeux environnementaux des plantations forestières intensives. *La Forêt Privée*. 320, 66-74.

FORRESTER D. I., BAUHUS J., COWIE A. L. Carbon allocation in a mixed-species plantation of Eucalyptus globulus and Acacia mearnsii. *Forest Ecology and Management*. 15 septembre 2006. Vol. 233, n°2–3, p. 275-284.

HOPMANS P., ELMS S. R. Changes in total carbon and nutrients in soil profiles and accumulation in biomass after a 30-year rotation of Pinus radiata on podzolized sands: Impacts of intensive harvesting on soil resources. *Forest Ecology and Management*. 30 octobre 2009. Vol. 258, n°10, p. 2183-2193.

KING D. A. « A model to evaluate factors controlling growth in Eucalyptus plantations of southeastern Australia ». *Ecological Modelling* [En ligne]. juin 1996. Vol. 87, n°1–3, p. 181-203.

LACLAU J. P., RANGER J. DYNAMIQUE DU FONCTIONNEMENT MINERAL D'UNE PLANTATION D'EUCALYPTUS. Effets du reboisement sur un sol de savane du littoral congolais; conséquences pour la gestion des plantations industrielles. Thèse. 2001.

LACLAU J.-P., RANGER, J., DE MORAES GONCALVES, J.L., MAQUERE, V., KRUCSHE, A.V., M'BOU, A.T., NOUVELLON, Y., SAINT-ANDRE, L., BOUILLET, J.-P., DE CASSIA PICCOLO, M., DELEPORTE, P., 2010. Biogeochemical cycles of nutrients in tropical Eucalyptus plantations: Main features shown by intensive monitoring in Congo and Brazil. *Forest Ecol. Manag.* 259, 1771-1785

MARESCHAL L., NZILA J. D. D., TURPAULT M. P., THONGO M'BOU A., MAZOUNBOU J. C., BOUILLET J. P., RANGER J., LACLAU J. P. Mineralogical and physico-chemical properties of Ferralic Arenosols derived from unconsolidated Plio-Pleistocenic deposits in the coastal plains of Congo. *Geoderma*. 15 avril 2011. Vol. 162, n°1-2, p. 159-170.

NZILA, J.D.D., BOUILLET J.-P., LACLAU J.-P., RANGER J. The effects of slash management on nutrient cycling and tree growth in Eucalyptus plantations in the Congo. *Forest Ecology and Management*. 1 novembre 2002. Vol. 171, n°1-2, p. 209-221.

RAISON R. J., CONNELL M. J., KHANNA P. K. Methodology for studying fluxes of soil mineral-N in situ. *Soil Biology and Biochemistry*. 1987. Vol. 19, n°5, p. 521-530.

RAZAKAMANARIVO R. H., RAZAKAVOLOLONA A., RAZAFINDRAKOTO M.-A., VIEILLEDENT G., ALBRECHT A., Below-ground biomass production and allometric relationships of eucalyptus coppice plantation in the central highlands of Madagascar. *Biomass and Bioenergy* [En ligne]. octobre 2012. Vol. 45, n°0, p. 1-10.

SMETHURST P., BAILLIE C., CHERRY M., HOLZ G. Fertilizer effects on LAI and growth of four Eucalyptus nitens plantations. *Forest Ecology and Management*. 17 mars 2003. Vol. 176, n°1-3, p. 531-542.

VALLET P., DHÔTE J.-F., MOGUÉDEC G. L., RAVART M., PIGNARD G. Development of total aboveground volume equations for seven important forest tree species in France. *Forest Ecology and Management*. 1 juillet 2006. Vol. 229, n°1-3, p. 98-110.

YONEYAMA T., ITO O., ENGELAAR W. M. H. G. Uptake, metabolism and distribution of nitrogen in crop plants traced by enriched and natural ¹⁵N: Progress over the last 30 years. *Phytochemistry Reviews*. 2003. Vol. 2, n°1, p. 121-132.

ANNEXE



Annexe : Dispositifs expérimentale de Kissoko (Pointe-noire). T=traitement. T4 (jaune) = taillis.

Résumé

Les espèces à croissance rapide représentent de plus en plus des alternatives à la production de biomasse énergie. L'eucalyptus est l'une de ces espèces à croissance rapide plantées dans le monde. Son développement accéléré a un impact important sur son milieu. De ce fait, de nombreuses études s'intéressent aux stratégies à mettre en œuvre pour maintenir à court-moyen et long terme la fertilité des plantations industrielles d'eucalyptus. Le cycle interne de l'azote a dans ce travail été au centre des questions en raison de son importance dans le maintien de la capacité productive des forêts. La minéralisation et le lessivage modifient les stocks d'azote dans le sol. Le but de ce travail a été de suivre le cycle de l'azote dans un peuplement d'Eucalyptus géré en taillis en déterminant la quantité d'azote utilisée et minéralisée sur la période considérée. 34Kg/ha d'azote a été utilisés pour la production de biomasse aérienne jusqu'au 14 mai 2012 et 51kg/ha minéralisés du 24 décembre au 14 mai.

Mots-clés : Azote, cycle de l'azote, minéralisation de l'azote, utilisation de l'azote, biomasse aérienne

Summary

Nitrogen dynamics after coppicing of a plantation of Eucalyptus in the Congo

Fast growing species represent more and more alternatives to the production of biomass energy. Eucalypt is one of them. His accelerated development has a huge impact on its environment. Therefore, numerous studies are interested on the strategies to be implemented to maintain short-average and long term fertility of the industrial plantations of eucalypt. In this work, nitrogen cycle was mainly studied because of its importance to maintain forest productivity. The mineralization and the leaching modify the stocks of nitrogen in the ground. The purpose of this work was to follow the nitrogen cycle in a populating of Eucalypt managed in coppice by determining the quantity of nitrogen used and mineralized over the considered period. 34Kg / ha nitrogen was used for the production of air biomass until May 14th, 2012 and 51kg / ha was mineralized from 24 December to 14 May.

Key-words: Nitrogen, nitrogen cycle, nitrogen mineralization, nitrogen uptake, air biomass