

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université EL HADJ LAKHDAR

**Faculté des Sciences
Département d'Agronomie**

MEMOIRE

**Pour l'obtention du diplôme
de magister en Sciences Agronomiques**

Option : Agrotechnie

Présenté par :

CHADDA DOUNIAZED

Influence des matières organiques (feuilles, châtons et racines) du noyer (*Juglans regia* L.) sur le comportement de jeunes plants de pommier (*Malus domestica* Borkh) dans la région de R'haouat (Hidoussa) (Belezma)

Soutenu le :

Devant la commission d'examen :

M ^f . HALITIM A.	Prof	UNIVERSITE DE BATNA.....Président
M ^f . MESSAADIA H.	D ^r C.C	UNIVERSITE DE BATNA.....Rapporteur
M ^f . HALILAT M-T.	M.C	UNIVERSITE DE OURGLA.....Examinateur
M ^f . OUDJEHIH B.	Prof	UNIVERSITE DE BATNA.....Examinateur
M ^f . BENTOUATI A.	M.C	UNIVERSITE DE BATNA.....Examinateur

2007-2008

Remerciements

Au terme de cette période consacrée à la réalisation de mon travail de magister, je tiens chaleureusement à exprimer mes remerciements à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'achèvement de ce document.

Mes remerciements s'adressent à :

M^r.MESSADIA H. Docteur des sciences, chargé de cours en pédologie biologique pour son parrainage, pour la confiance placée en moi, pour même ses conseils judicieux qu'il m'a prodigués tout au long de ma préparation de thèse et pour avoir suscité en moi lors d'une sortie au terrain, mon intérêt pour le phénomène de dépérissement des pommiers plantés dans les sols de noyeraies dans la région de R'Haouat (Hidoussa).

Mr. HALITIM A., Professeur à l'Université de Batna, pour avoir l'un des premiers professeurs à avoir développé la filière des sciences agronomiques à Batna et toujours œuvré pour la promotion de différentes post-graduations.

Je suis heureuse qu'il juge ce travail où les interactions MO-sol-comportement végétal constituent les parties de cette thèse.

Mr. HALILAT M-T., Maître de Conférences à l'Université de Ouargla, pour avoir accepté de juger ce travail et d'être membre de jury malgré les charges lourdes qu'il assume actuellement et les désagréments provoqués par les longs voyages.

Je suis heureuse qu'il apporte ses critiques sur la problématique de reconversion des vergers dans cette région.

Mr. OUDJEH H B. Professeur à l'Université de Batna, pour avoir été le premier enseignant qui m'a initié à la recherche scientifique, dans le cadre de l'ingénierat et pour avoir accepté d'être examinateur d'un thème relatif aux antagonismes dans le monde des espèces fruitières.

Mr. BENTOUATI A. Maître de Conférences à l'Université de Batna d'avoir accepté d'être examinateur de mon travail et pour les efforts qu'il a déployés et du temps qu'il s'occupait du service post-graduation.

Je suis heureuse qu'il débâte sur le problème d'allélopathie en arboriculture comparable souvent aux problèmes posés dans les écosystèmes forestiers.

Mes remerciements s'adressent également aux techniciens de laboratoires d'agronomie de Batna (**Mr. HADJI N., Mr. ABOUBOU A et Mr. AMOURI M., ...**) dont les différentes aides m'ont permis de mener à bien les différentes études analytiques.

SOMMAIRE

Introduction Partie bibliographique

Chapitre I Le noyer (*Juglans regia* L.)

I- Le noyer	04
Introduction	04
1.1- Origine du noyer	04
1.2- Systématique et botanique.....	04
1.3- Aire de répartition du noyer	05
1.4- Importance de la culture du noyer.....	06
1.5 Caractéristiques morphologiques.....	07
II- Le phénomène d'allélopathie	08
2.1- Introduction.....	08
2.2- Historique.....	09
2.3- Définition.....	09
2.4- Compréhension du phénomène de l'allélopathie.....	10
2.5- L'allélopathie et les différents processus écologiques.....	14
2.6- Etapes d'étude allélopathie.....	19
2.7- Les exemples d'allélopathie.....	19
6.5- Gestion forestière et diversité végétale.....	25
III- L'allélopathie chez le noyer	26
3.1-Introduction.....	26
3.2- Les phenols.....	26
3.3- La juglone.....	30

Chapitre II

Le précédent cultural et l'effet de la matière organique

Avant propos.....	37
Le précédent cultural	38
2.2- Le précédent cultural.....	38
2.2.1- L'influence des précédents culturaux.....	38
2.2.2- L'effet de la matière organique	40
2.3.1- La matière organique.....	40
2.2.3- Influence de la constitution (partie aérienne et souterraine) des substances organiques.....	42

Chapitre III

L'azote dans le sol et la plante

3.1- L'azote dans le sol	45
3.1.1- Importance de l'azote dans le sol.....	45
3.2- Comportement de l'azote dans le sol.....	45
3.3- Dynamique de l'azote dans le sol.....	47
3.4- Facteurs écologiques influençant la minéralisation dans le sol.....	48
3.5- L'azote dans la plante	49
3.5.1- Formes assimilables d'azote.....	49
3.5.2- Nutrition azotée et physiologie de la plante.....	49
3.5.3- Nutrition nitrique des plantes.....	51
3.5.4- Nutrition ammoniacale des plantes.....	55
3.5.5- Répercussions de la carence en azote.....	56
3.6- Les plantes pérennes et l'azote	57
3.6.1- Gestion de l'azote chez les espèces ligneuses.....	57
3.6.2- Cycle interne de l'azote chez les espèces pérennes.....	57
3.6.3- Transport de l'azote chez les espèces ligneuses.....	58

3.7- Les interactions entre le système racinaire et les parties aériennes.....	58
3.7.1-Le développement du système racinaire chez le pommier.....	59
3.7.2- Supports nutritionnels importants.....	60
3.7.3- Les conséquences pratiques.....	62
3.7.4- Le rôle des hormones végétales.....	62
3.7.5- Le rôle des éléments minéraux.....	63
3.8- Les carences chez les arbres fruitiers à pépins.....	64

Partie expérimentale

Chapitre I

Matériel et méthodes

1- Objectif de l'étude.....	67
2- Situation géographique de la région de R'Haouat.....	67
-Caractéristiques de la région d'étude.....	67
3- Matériel et méthode.....	69
3.1-Matériel d'étude	69
3.1.1- Le sol.....	69
3.1.2- Matières organiques employées.....	69
3.1.2.1- Débris foliaires et racinaires.....	69
3.1.2.2- Le fumier	70
3.1.3- Matériel végétal.....	70
3.2- Méthodologie.....	70
3.2.1- Dispositif de plein champ.....	70
3.2.1.1- Description du dispositif expérimental.....	71
3.2.1.2- Irrigation.....	71
3.2.1.3- paramètres mesurés.....	72
3.2.1.4- Méthodes d'analyse.....	72
3.2.2- Expérimentation au laboratoire (incubation).....	73
3.2.2.1- Description du dispositif expérimental.....	73
3.2.2.2- Systèmes expérimentaux testés.....	74
3.2.3- Dosage de l'azote.....	75
3.2.3.1- L'azote ammoniacal et nitrique.....	75
3.2.3.2- L'azote total.....	75
3.2.4- Autres méthodes analytiques complémentaires.....	75
- Le carbone organique.....	75
- La matière organique.....	75
- Granulométrie.....	76
- La conductivité électrique (CE).....	76
- Le pH eau.....	76
- Calcaire total.....	76
- Cations échangeables.....	76
- Capacité de rétention.....	76
- Phosphore total.....	76

Chapitre II

Résultats et discussions

A- Résultats de plein champ	77
I- Influence de matières organiques de noyer sur la biomasse et la croissance des jeunes pommiers	77
1- Variation de la biomasse et la croissance des jeunes pommiers.....	77
1.1- Variation de la biomasse des tiges des jeunes pommiers	80
1.2- Variation de la biomasse des feuilles des jeunes pommiers	82
1.3 - Variation de la biomasse racinaire des jeunes pommiers	87
2- Variation de la croissance des jeunes pommiers.....	87
2.1-Variation de la croissance en hauteur des jeunes pommiers.....	87
2.2- Variation de la croissance du système racinaire des jeunes pommiers.....	92
Conclusion	97
II- Influence des matières organiques du noyer sur l'évolution quantitative de N.P.K dans les différentes parties (tiges, feuilles et racines) des jeunes pommiers	98
2.1- Variation de l'évolution quantitative de N.P.K dans les tiges des jeunes pommiers.....	98
2.2- Variation de l'évolution quantitative de N.P.K dans les feuilles des jeunes pommiers....	101
2.3- Variation de l'évolution quantitative de N.P.K dans les racines des jeunes pommiers....	102
Conclusion	113
B- Résultats de laboratoire (incubation)	115
I- Influence des matières organiques du noyer sur l'évolution quantitative de l'azote dans le sol de la région de R'Haouat	115
1.1- Influence des matières organiques du noyer sur l'évolution quantitative de l'azote ammoniacal dans le sol de la région de R'Haouat.....	115
1.2- Influence des matières organiques du noyer sur l'évolution quantitative de l'azote nitrique dans le sol de la région de R'Haouat.....	117
1.3- Influence des matières organiques du noyer sur l'évolution quantitative de l'azote minéral dans le sol de la région de R'Haouat.....	120
Conclusion	124
Conclusion générale	
Bibliographie	
Annexes	

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Dans la région des Aurès, le noyer de R'haouat (type local) possède des caractéristiques remarquables : on peut citer leur mode de fructification sur brindilles latérales, leur grande rusticité leur permettant de résister à un nombre important de maladies, leur production facile, la saveur délicieuse de leur fruit, leur calibre important, leur longue conservation, leur teneur élevée en éléments minéraux et vitamines, ainsi que le port particulier de l'arbre offrant une esthétique paysagère remarquable.

Cependant, ces noyeraies sont aujourd'hui menacées de disparition, soit par manque d'entretien, soit que les arboriculteurs procèdent à leur substitution par des espèces plus rentables qui entrent rapidement en production telles que le pommier et le poirier.

Dans cet ordre d'idées, Bousquet-Mélou et al., (2004) signalèrent que la généralisation des échanges mondiaux serait à l'origine de l'introduction massive d'espèces exotiques à l'échelle planétaire. Mais ces "invasions" biologiques constituent, à l'heure actuelle, un problème majeur en écologie végétale. En bref, cela représente une véritable "guerre" dans le monde végétal (Boullard, 1995).

En outre, les difficultés de production du noyer qui n'entre en production qu'après six (06) ans sont d'ailleurs très souvent à l'origine de la substitution d'essences par d'autres. Le noyer fait rarement l'objet de plantation ces derniers temps, cette espèce arboricole est au contraire remplacée dans la région par le pommier, le poirier, le pêcher ou le cognassier, espèces à reprise plus rapide et souvent plus productives.

Toutefois, le problème de l'hétérogénéité du matériel végétal, le risque d'érosion génétique et les exigences des nouveaux marchés rendent nécessaire la sauvegarde et la valorisation des ressources génétiques relative à cette espèce (Msallem et al, 2000).

Cependant, l'observation dans le cadre de la reconversion des vergers du phénomène du jaunissement et du dépérissement des pommiers plantés sur des sols de noyeraie ou sur des sites plus proches de leur environnement a incité quelques spécialistes à mettre en cause dans cette difficulté de croissance des arbres un éventuel phénomène de phytotoxicité c'est-à-dire un phénomène d'antagonisme entre différentes espèces végétales, très connu en écologie végétale sous le terme d'allélopathie.

Dans la région de R'Haouat, le noyer (*Juglans regia* L.) constitue une espèce pionnière très riche en métabolites secondaires qui sont susceptibles de jouer un rôle important au niveau des relations biotiques vraisemblablement via un phénomène allélopathique. Les mécanismes et l'intensité relatifs à ce phénomène constituent autant de thèmes forts intéressants qui méritent d'être élucidés afin d'identifier les différents processus régissant cet aspect important d'écologie végétal.

Aussi, il serait intéressant de savoir comment ces matières organiques provenant des parties aériennes et souterraines des arbres peuvent-elles agir sur la croissance des jeunes pommiers? et entraîne par la suite leur jaunissement puis leur dépérissement?

Aussi, il serait judicieux au plan pédologique de préciser le rôle de ces matières organiques et leurs effets sur la biodynamique de l'azote minéral (azote ammoniacal et azote nitrique) dans les sols sur la nutrition azotée des arbustes dans les sols portant le pommier?

Comme il serait aussi intéressant de déterminer les teneurs en matières organiques à partir desquelles se déclenche un effet dépressif sur les jeunes plants de pommiers?

Du fait de l'existence avérée de ce potentiel allélopathique chez le noyer (Dana et Rosie Lerner, 2004; Appleton et al., 2000; Rood, 2001; Sparks et Meyer, 2003 et Wrobel et al., 2003), il serait judicieux de caractériser ce phénomène aussi bien au niveau du comportement du végétal à travers la croissance, la production de biomasse et l'état foliaire du peuplement que sur des considérations nutritionnelles.

Beaucoup d'études ont été réalisées sur les phénomènes de compétition (Delabays et Mermillod, 2002, Delabays, 2005 et Rizvi et Rizvi, 1991), mais peu se sont intéressées aux potentialités allélopathiques des espèces envahissantes et au rôle de ces processus dans les mécanismes d'invasion (Bousquet-Mélou et al., 2004) et de disparition d'autres espèces.

Compte tenu de ces considérations et de l'absence de travaux dans ce contexte, il a été jugé essentiel d'étudier l'effet de la matière organique du noyer (feuilles, châtons et débris racinaires) à différentes concentrations sur la dynamique et l'évolution de l'azote minéral (N-ammoniacal et N-nitrique) et sa disponibilité pour la culture, ainsi que la détermination du taux de matière organique à partir duquel il y a un effet défavorable sur le comportement des jeunes pommiers.

Ce présent travail, réalisé au terrain et au laboratoire, porte sur trois aspects :

- Effet de différentes matières organiques du noyeraie sur la croissance et la biomasse des jeunes pommiers.
- Effet de différentes matières organiques du noyeraie sur la minéralomasse des jeunes pommiers.
- Effet de différentes matières organiques du noyer sur l'évolution de l'azote minéral dans les sols de la noyeraie.

Première partie

ETUDE

BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I

Le noyer (*Juglans regia* L.)

I- Le noyer (*Juglans regia* L.)

Introduction

Le noyer commun (*Juglans regia* L.) est pratiquement absent des statistiques officielles; il se trouve souvent sous forme de peuplement dans différentes régions de l'Algérie constitués généralement d'hybrides naturels (Vatov, 1983).

C'est une espèce forestière et fruitière de grande importance, du fait que ses fruits, son bois, son écorce et ses feuilles trouvent une large utilisation dans la vie quotidienne (Bonev, 1973). Elle est cultivée traditionnellement en Algérie et sa culture n'a pas connue une grande extension car elle est confrontée à plusieurs problèmes entravant son développement.

1.1 Origine du noyer

Le noyer sauvage été sans doute indigène dans les Balkans et il paraît que l'arbre soit venu d'Asie par l'intermédiaire des Perses, et que sa culture se soit répandue aussi bien en Extrême-Orient qu'en Europe occidentale.

L'introduction dans la région de R'haouat (les moulins), du noyer commun a commencé dès le début du siècle dernier, par l'apport de noix qui sont semées dans la zone qui répond mieux aux exigences écologiques de l'espèce : altitude, lumière, chaleur, sol profond en irrigués (Vatov, 1983).

D'après Vanier (1999), *Juglans* vient de *Jovis glans* qui signifie « gland de Jupiter ».

1.2 Systématique et botanique

Selon Crete (1956), le noyer blanc ou noyer commun appartient :

Embranchement	: Phanérogames
S/embranchement	: Angiospermes
Classe	: Dicotylédones
S/classe	: Apitales
Ordre	: Amentales
Famille	: Juglandacées
Genre	: Juglans
Espèce	: <i>Juglans régia</i>.

1.3. Aire de répartition du noyer

1.3.1. Aire de la culture du noyer dans le monde

La culture s'est développée en Asie, en Europe, en Afrique du nord, en Amérique ainsi qu'en Australie (Ounis et Zitouni, 1996).

La production mondiale des noix

Tableau n° 01 : Production mondiale des noix (2004-2005)

Pays producteurs	Production en tonne	Taux de production
Chine	415 000,00	29 %
États-Unis	294 840,00	20 %
Iran	150 000,00	10 %
Turquie	126 000,00	9 %
Ukraine	90 700,00	6 %
France	26 422,00	2 %
Inde	34 000,00	2 %
Égypte	27 000,00	2 %
Serbie-et-Monténégro	22 684,00	2 %
Espagne	25 700,00	2 %
Grèce	20 181,00	1 %
Mexique	19 000,00	1 %
Moldavie	18 000,00	1 %
Autriche	17 735,00	1 %
Allemagne	16 900,00	1 %
Italie	15 000,00	1 %
Roumanie	15 608,00	1 %
Autres pays	121 358,00	8 %
Total	1 612 128,00	100 %

Source : FAO STAT (2006)

NB : poids donné avec la coquille.

1.3.2. Aire de la culture du noyer en Algérie :

Selon Bonev (1973), on trouve le noyer dans le massif de l'Aurès, les régions de Annaba, de Sétif, la grande Kabylie, Tlemcen, Tebessa, Djelfa, Saïda, près de Sougueur au sud de Tiaret.

1.3.3. Aire de la culture du noyer dans la région de Batna :

Le noyer se trouve presque dans toutes les régions de Batna (Vatov, 1983). Les surfaces plantées appartiennent généralement aux privés.

Dans la région de R'haouat, il existe certains individus (écotypes) présentant des caractéristiques agronomiques très recherchées qui peuvent constituer dans le futur de véritables variétés locales. Son cycle de végétation est court, il débourre assez tard et perd tôt ses feuilles (Garavel, 1971).

1.4 Importance de la culture du noyer

1.4.1 Importance médicinale

L'espèce *Juglans regia* a été abondamment utilisée en médecine; les feuilles du noyer étaient astringentes et aromatiques, tandis que l'écorce était réputée pour être astringente amère.

Légèrement laxatifs, ses fruits verts confits étaient employés pour combattre la constipation.

Les principaux emplois internes de l'espèce ont porté sur la tuberculose et la scrofule (ou écrouelles), maladie d'origine tuberculeuse qui s'accompagnait de fistules. On disait le noyer reconstituant et capable de remettre sur pied les faibles, les asthéniques et les lymphatiques.

Mais ce sont ses usages externes qui impressionnent tout particulièrement par leur nombre. On l'a employé pour soigner toutes sortes d'affections cutanées - eczéma, impétigo, psoriasis, abcès froids, plaies atones - de même que la transpiration excessive des mains et des pieds. On l'a dit efficace contre la bactérie de la maladie du charbon. En outre, il soulage les piqûres d'insectes, combat les puces des chiens et des chats, préserve le bétail des mouches et des taons, éloigne les fourmis, soigne les pellicules et freine la chute des cheveux. D'ailleurs, il est censé rendre la chevelure souple et luisante et, à ce titre, il entre dans la composition de certains shampoings du commerce. On lui attribue le pouvoir de faire disparaître les cors, les durillons, les verrues. Jadis, on l'employait dans toutes les maladies infectieuses qui entraînaient la formation de cicatrices permanentes (syphilis, pustule maligne, etc.) car il était réputé pour effacer ces dernières ou, du moins, les atténuer considérablement (Vanier, 1999).

1.4.2 Importance économique

1.4.2.1 Le bois

Son bois est d'une valeur inestimable car très recherché dans l'armurerie et l'ébénisterie; il est bien connu pour sa grande résistance et sa dureté, par sa couleur caractéristique. Les ébénistes utilisent cette essence sous forme de plaquage ou sous forme massive. La partie extérieure de l'écorce, surtout de la racine, est utilisée par les femmes pour se frotter les gencives (souak) (Ounis et Zitouni, 1996).

1.4.2.2 Les brous

Les brous entrent dans la préparation d'une teinture employées en ébénisterie pour donner une couleur brune au bois blanc. Les coquilles sont recherchées pour la préparation des colles de synthèse (Ounis et Zitouni, 1996).

1.4.2.3 Le fruit

Les noix sont utilisées pour la table, la confiserie, la pâtisserie et l'extraction de l'huile de noix, riche en acides gras. La noix se conserve bien et elle est facilement transportable.

L'amande de noix constitue un aliment riche (eau, matières azotées, amidon, sucre,...); la composition moyenne d'amande est de 625 calories pour 100g (Ounis et Zitouni, 1996).

1.5 Caractéristiques morphologiques

Les *Juglans* sont des arbres de grandes tailles, à feuilles caduques, alternes, imparipennées.

Ce sont des plantes monoïques à sexes séparés, à pollinisation anémophile (Hobel, 2002).

1.5.1 Les racines :

Le système racinaire est pivotant, avec un chevelu abondant et ramifié, recouvert de mycorhizes (Bretaud, 1981), ses racines sont traçantes et ont toujours tendance à remonter à la surface vers la couche fertile et aérée du sol (Garavel, 1971).

1.5.2 Les feuilles :

Elles laissent échapper une odeur aromatique et possèdent une saveur amère et astringente.

Elles contiennent un tanin, une huile essentielle de couleur jaune verdâtre, une matière acre appelée "juglandine" et une matière sucrée (Lessourd, 1920).

1.5.3 Les fleurs

1.5.3.1 Induction florale mâle :

Elle commence très tôt dès le début, à la fin mai, les châtons sont nettement reconnaissables à l'aisselle des feuilles. Les fleurs mâles (staminées) sont groupées en épis ou chatons allongés, elles comptent jusqu'à 36 étamines (Jacoboni, 1969).

1.5.3.2 Induction florale femelle :

Selon Krumbiecel, (1954) la différenciation a lieu beaucoup plus tard, au début du mois d'octobre.

1.5.3.3 Epoque de floraison :

La floraison mâle s'étend en moyenne du 10 avril à fin mai selon les variétés.

Les fleurs femelles (pistillées) sont réunies par groupes de 2 à 4, elles ont un stigmate bilobé.

Les fruits sont généralement des drupes indéhiscentes, à endocarpe sclérifié, contenant une seule graine à cotylédons développés et riches en matière grasse (Germain, 1985).

1.5.4 Le brou

C'est une enveloppe charnue, originaire de la paroi externe de l'ovaire, mince, de 4mm d'épaisseur, le brou est fortement vasculaire (Germain, 1985).

II- Le phénomène d'allélopathie

2.1- Introduction

Les plantes présentes dans une parcelle cultivée interfèrent entre elles de différentes manières.

Traditionnellement, cette interférence est attribuée principalement à des effets de compétition pour les ressources de l'environnement telles que l'eau, la lumière ou les substances nutritives. Depuis quelques années, un autre volet de cette interférence est postulé par certains chercheurs (Delabays, 2005).

Dans le même ordre d'idées, Rizvi et Rizvi (1991) et Delabays (2004) soulignèrent que les phénomènes de concurrence entre végétaux se composent d'une part de la compétition pour les ressources du milieu et d'autre part de l'allélopathie (ou télétoxicité).

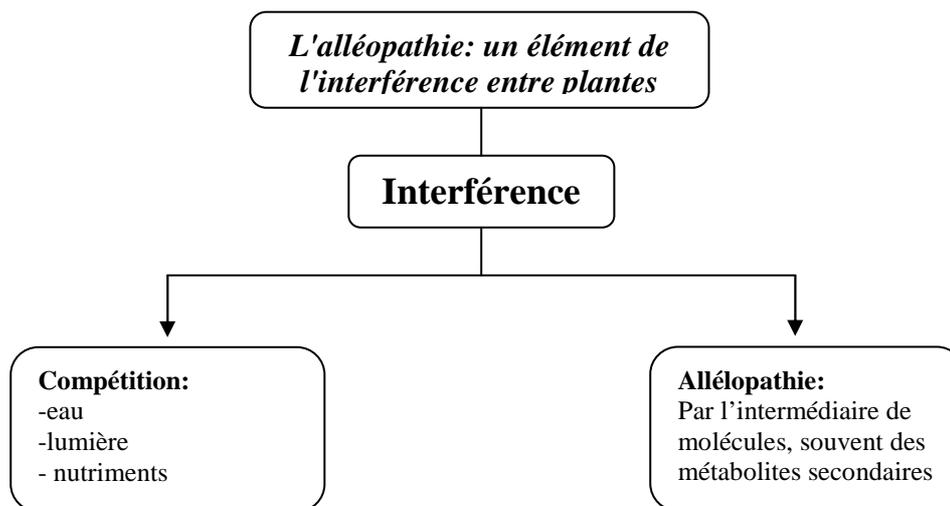


Figure n° 01: Interférence entre plantes (Delabays et Mermillod, 2002)

Elle a été souvent considérée comme une part de la compétition ou complètement ignorée. Actuellement, ces deux mécanismes sont bien différenciés et sont généralement regroupés sous le terme d'interférences négatives. Les effets de ces interactions dépendent des facteurs physiques environnementaux et de la combinaison entre la compétition pour les ressources, les composés allélopathiques émis dans l'environnement et les facteurs de facilitation (Delabays., 2004).

Aujourd'hui, il s'est avéré que de nombreuses espèces végétales synthétisent des molécules capables d'inhiber la germination et le développement des plantes croissant dans leur voisinage.

Ces mécanismes peuvent être interdépendants, il est donc difficile d'évaluer les effets de chaque mécanisme expérimentalement (Callaway et al.1991 et Weidenhamer et al. 1989 in Delabays., 2004).

Néanmoins, les résultats de plusieurs travaux récents plaident pour leur réalité, tant dans les milieux naturels que dans les écosystèmes agricoles (Anaya, 1999 et Kohli et al., 2001 in Delabays et Mermillod, 2002).

2.2- Historique

Dès l'antiquité, l'homme a observé que certains végétaux gênaient le développement d'autres espèces voisines : Théophraste (III^e av.JC) remarquait que le pois chiche détruisait les mauvaises herbes et Pline (après J.C) avait noté dans son temps que le noyer ne laissait pousser aucune plante sous son feuillage. Au siècle dernier, De Candolle suggéra que la fatigue des sols pourrait être due à des exsudats des cultures. En 1937, Molisch précisa le phénomène et créa le terme d'allélopathie (Rizvi et Rizvi , 1991).

2.3- Définitions

2.3.1- Définition de l'allélopathie

Molish a été le premier à définir le mécanisme de l'allélopathie en 1937 en regroupant les interactions biochimiques entre tout type de plante et incluant les micro-organismes (Rice, 1984).

Actuellement, Beaucoup d'auteurs Hulot et Lacroix (2005), De Raissac (2002), Desaynard (1977), Uk-Chon et al., (2004), Singh et al., (2001), Delabays, (2005), Delabays et Mermillod (2002), Kim (2004) Leconte (2004), Pellissier (2002). Brunel (2002), Lacroix, (2003), Caussanel (1975), Drapier (1983), Lelong et al., (2004) et Cordonnier (2004) s'accordent pour définir l'allélopathie comme l'ensemble des phénomènes qui sont dus à l'émission ou à la libération de substances organiques par divers organes végétaux, vivants ou morts et qui s'expriment par l'inhibition ou la stimulation de la croissance des plantes se développant au voisinage de ces espèces ou leur succédant sur le même terrain.

2.3.2- Définition de l'allélopathie de limite

Selon Molisch in Hoque et al.(2003), l'allélopathie de limite signifie que les interactions entre les plantes pourraient mener à l'un ou l'autre une stimulation ou une inhibition de la croissance.

2.4-Compréhension du phénomène de l'allélopathie

Selon Appleton et al. (2000), l'allélopathie implique la sécrétion végétale de matériaux biochimiques dans l'environnement pour empêcher la germination ou la croissance de la végétation vivante dans l'environnement de l'espèce.

Elle augmente la survie et la reproduction d'arbre. Quelques plantes qui produisent des allélochimiques peuvent être employées dans la production comme récoltes de couverture pour combattre les mauvaises herbes. Les chercheurs essaient actuellement de multiplier les récoltes et les plantes de paysage qui sont allélopathiques aux mauvaises herbes.

2.4.1-Les plantes cibles

Les plantes subissant les effets d'une autre plante sont appelées plantes cibles ou receveuses. Les plantes cibles peuvent réagir différemment face aux actions de leurs plantes voisines, cela peut alors avoir de l'effet sur la composition des communautés et la coexistence des espèces. Jusqu'à présent, aucune étude n'a pris en compte tous les facteurs compétitifs (Liancourt, 2005). Cet auteur insiste sur la nécessité de la connaissance de l'allélopathie car elle peut être impliquée dans la hiérarchie d'aptitude compétitive des espèces et influencer leur stratégie.

2.4.2-Les composés allélopathiques (les allélochimiques)

Les allélochimiques sont les métabolites secondaires des plantes ou les déchets du métabolisme tels que les acides organiques hydrosolubles et insolubles simples, les acides gras et phénoliques, les alcools de chaîne droite, les aldéhydes et cétones aliphatiques, les lactones insaturées simples, les naphthoquinones acétyléniques de composés, les anthraquinones, les quinones complexes; les phénols, les flavonoïdes et tannins simples, les terpénoïde de beaucoup de catégories; les alcaloïdes et les saponines sont des groupes de métabolites secondaires qui ont été produits dans des interactions allélochimiques (Elrefai et Moustafa, 2004).

Einhellig et Leather (1988), Purvis (1990) et Watson (1992) cités par Kim (2004) ont rapporté que les produits chimiques normaux exerçant un effet allélopathique peuvent être les composés secondaires simples ou complexes.

De leur côté, Ferguson et al. (2003) et Fanny (2005) ont rappelé que ces composés allélopathiques sont des métabolites secondaires appartenant à différentes classes de composés chimiques, issus souvent de la voie du Shikimate. Ces substances varient qualitativement et quantitativement dans les différentes parties de la plante (fleurs, feuilles, épines, racines, tiges) et selon les saisons. Ainsi Bourgoïn (1999) a indiqué que chez les graminées, les composants

responsables de l'allélopathie sont présents partout dans la plante, mais leur concentration est plus élevée dans les feuilles et les semences

Elles peuvent persister dans le sol et donc affecter plusieurs successions de végétation et les plantes voisines. La majorité de ces composés ont un effet inhibiteur sur la germination des graines et sur la croissance des germes; leurs effets peuvent être synergiques ou additifs.

Les composés allélopathiques sont le plus souvent des composés phénoliques. Pour être considérés comme composés allélopathiques, les acides phénoliques doivent notamment être sous forme active (libre et protonée) (Blum, 2004).

Ces composés, ajoutent Dobremez et al. (1995) ne jouent aucun rôle dans le métabolisme de base de la plante émettrice. Il s'agit de :

- **Gaz toxiques** : le cyanure ou l'ammoniac inhibe la germination et la croissance des plantes, alors que l'éthylène stimule la germination.
- **Acides organiques** : l'acide citrique inhibe la germination à (0,1%) ; les acides oxalique ou acétique, très abondants, peuvent inhiber la germination.
- **Composés aromatiques** : acides phénoliques, coumarines (parmi les composés naturels les plus phytotoxiques) ; alcaloïdes (caféine et nicotine) ; flavonoïdes, tannins (peu efficace) ; quinone (la juglone du noyer, inhibe la croissance des plantes herbacées comme la luzerne, mais également des arbres comme le pommier); terpénoïdes : Salvia et Eucalyptus (camphre).

2.4.2.1- Voies d'émission des composés allélopathiques

D'après Caussanel (1975), De Raissac (2002) et Bourgoïn (1999), les substances allélopathiques peuvent être émises par quatre voies :

- **Volatilisation** : notamment pour les plantes des régions arides et de la garrigue méditerranéenne (*Eucalyptus*, *Salvia*).
- **Lessivage des parties aériennes** : c'est le cas du noyer. Le lessivage des feuilles d'*Abutilon theophrasti* Médik. inhibe le développement du soja.
- **Décomposition des organes morts** : les résidus de récolte ou les paillis peuvent poser des problèmes pour la culture suivantes ;
- **Exsudats racinaires** : il peut y avoir émission par les racines vivantes ou libération par les parties mortes.

Dans les situations naturelles, il est difficile de différencier l'importance relative de ces deux aspects. Ces phénomènes d'allélopathie ont souvent été décrits chez des espèces de la famille des *Asteraceae* (Rice, 1984).

Quel que soit le mode d'émission par la plante productrice, les substances vont évoluer et migrer dans le milieu : volatilisation, ruissellement, lessivage et dégradation (Lance et al., 1996).

2.4.2.2- Devenir des composés allélopathiques

Des travaux de Chiapusio (2000) ont précisé le devenir des composés allélopathiques après leur libération par la plante productrice. Dans le modèle étudié, l'humus des pessières subalpines, une interaction très nette a été mise en évidence entre les phénols et les micro-organismes du sol. Ainsi, une part importante des premiers (jusqu'à 90 %) peut être métabolisée par les seconds en l'espace de six jours. Il en résulte une modification de la dynamique des principaux groupes fonctionnels de micro-organismes, notamment un incrément des populations bactériennes et fongiques.

L'absorption et le transit de composés allélopathiques au sein de plantes cibles. L'acide para-hydroxybenzoïque (POH) et la 2-benzoxazolinone (BOA), deux composés phytotoxiques de la germination, ont été sélectionnés afin d'étudier leur devenir durant la germination et la croissance primaire de plantules de radis.

Une première quantification du POH et BOA dans les différents organes du radis a été réalisée. Ces deux composés étaient absorbés dès la germination des graines (respectivement 25 et 172 $\mu\text{g g}^{-1}$ poids frais) et pénètrent dans tous les organes de la plantule au cours de la croissance primaire (les 4 premiers jours). Toutefois, seule la BOA se concentre dans les cotylédons lorsque la dose utilisée est élevée (1mM). L'utilisation de faibles concentrations (10^{-5} M) confirme la rapide biodégradation observée avec les phénols de l'humus : en moins de 48 heures, la totalité du POH appliquée sur les graines est dégradée.

La mise en place d'une technique de suivi de ces molécules par marquage radioactif au ^{14}C a permis notamment de mieux préciser le rôle de ces micro-organismes. Les concentrations de POH retrouvées dans les plantules sont plus élevées en condition de culture axénique que non stérile. De plus, en 4 jours le POH du milieu de culture subit une minéralisation en CO_2 qui fait chuter sa concentration de 10^{-3} M à 10^{-4} M. Au contraire, c'est en condition non stérile que le BOA 10^{-3} M est le plus absorbé par les plantules. Dans les graines non germées inhibées par le BOA, des concentrations très élevées ont été retrouvées (à 3 jours, 2.2 $\mu\text{moles g}^{-1}$ Poids Frais). Des extractions de ces substances par combustion ou par broyage à l'éthanol de ces plantules ont aussi été comparées.

La moitié du POH retrouvé dans les racines et les feuilles à 4 jours n'est pas extractible par l'éthanol et donc probablement intégrée aux parois cellulaires.

Ces travaux mettent en évidence le rôle important des micro-organismes dans les interactions allélopathiques (Chiapusio, 2000).

Ainsi, Lance et al. (1996) ont montré le rôle important des micro-organismes du sol : par exemple, la dhurrine émise par *Sorghum halepense* (L.) Pers. est transformée par l'action des microorganismes en acide cyanhydrique et p-hydroxybenzaldéhyde.

2.4.2.3-Modes d'action des composés allélopathiques

Rice (1984) a indiqué que les effets des substances allélopathiques sur la germination ou sur la croissance des plantes-cibles ne sont que les signes secondaires de modifications primaires.

En fait, peu d'effets spécifiques sont attribuables à ces produits, qui ont aussi bien des actions inhibitrices que des actions stimulantes. Il est important de remarquer que les doses efficaces sont la plupart du temps très élevées ($\mu\text{M/l}$) et qu'on observe de fortes variations (inhibition ou stimulation) en fonction de la dose.

Selon Ferguson et al. (2003), les substances allélopathiques agissent sur :

- **la division cellulaire** : la coumarine inhibe la mitose dans les racines d'oignon.
- **la croissance et synthèse** : les composés phénoliques ont une action sur la régulation des hormones de croissance.
- **la photosynthèse et respiration** : la scopolétine réduit la photosynthèse chez le tournesol et le tabac par fermeture des stomates.
- **la perméabilité membranaire** : les composés phénoliques accroissent le flux de potassium hors des tissus racinaires.
- **l'absorption minérale** : l'acide férulique inhibe l'absorption de potassium par les plantes (confusion avec les effets de la compétition).
- **le cycle de l'azote** : fixation de l'azote et nitrification.

Ainsi, Rice (1984) attire l'attention sur qu'un même composé peut avoir de multiples sites d'action : par exemple, l'acide férulique agit aussi bien sur la respiration mitochondriale que sur la synthèse de la chlorophylle et l'activité des hormones de croissance.

2.4.2.4-Facteurs influant la production des composés allélopathiques

Les stress physiologiques et environnementaux peuvent moduler l'allélopathie (Ferguson et al. 2003).

- **Conditions du milieu** : lumière (qualité, intensité et photopériode), température, stress hydrique.
- **Éléments minéraux** : une déficience en azote ou en phosphate augmente la production de scopolétine chez le tabac.

- **Espèces productrices** : variétés, organes (racines, feuilles, fleurs, fruits).
- **Facteurs biotiques** : attaques parasitaires (et emploi de pesticides).

En règle générale, les stress ont tendance à augmenter la production de composés allélopathiques (réponse à l'agressivité du milieu), mais on observe de nombreuses exceptions (Rice, 1984).

2.4.2.5- Facteurs influant l'activité des composés allélopathiques

D'après Thomson (1985), les facteurs influant l'activité des composés allélochimiques sont :

- **Nature du sol** : les composés allélopathiques ont une activité réduite lorsqu'ils sont fixés par les argiles ou la matière organique, alors qu'ils sont totalement disponibles dans un sol très sableux ; un amendement calcaire aurait la propriété de lier ces composés et de les inactiver.
- **Eau** : un apport d'eau dilue les substances et diminue leur activité (rôle du drainage).

Soni et Vasistha in Bourgoin (1999) ont indiqué que les effets sont moindres lorsque les éléments toxiques sont lessivés, par exemple dans des régions connaissant des pluies abondantes. On peut en déduire que les effets allélopathiques nuisent davantage à la production herbacée dans les régions semi-arides que dans d'autres régions

- **Etat de la plante réceptrice** : stress.
- **Substance actives** : durée de vie des substances (décomposition, migration) – synergie.

2.5-L'allélopathie et les différents processus écologiques

Des interactions d'allélopathie sont largement connues. Différents groupes de plantes telles que des algues, lichens, récoltes, aussi bien que les mauvaises herbes annuelles et pérennes (Rice, 1984 et Hoque et al., 2003).

Selon Drapier (1983), de nombreux auteurs ont montré la participation de l'allélopathie dans divers processus d'écologie forestière :

- Régénération
- Succession et distribution de la végétation
- Alternance d'essence
- Evolution des sols : microflore, nitrification etc...

Ils ont ainsi mis en évidence divers types d'interactions :

- Arbres \longleftrightarrow Arbres
- Plantes herbacées \longleftrightarrow Arbres
- Mousses-lichenes \longleftrightarrow Arbres
- Arbres, arbustes \longleftrightarrow microflores.

2.5.1- Les manifestations de l'allélopathie

L'allélopathie est assurément un phénomène complexe: entre la molécule synthétisée dans une plante et l'effet allélopathique proprement dit en conditions naturelles, de multiples facteurs peuvent intervenir, tels que le niveau de production des composés phytotoxiques dans les plantes, leur relâchement dans le milieu, leur persistance ou leur transformation éventuelle (Delabays, 2005).

Une fois les allélochimiques sont relâchés dans l'environnement, ils provoquent l'inhibition qui peut résulter d'une action directe sur la plante cible et son métabolisme (division cellulaire, synthèse des protéines, perméabilité membranaire,...) ou d'un effet indirect, par exemple, dans le cas des légumineuses, sur les nodosités responsables de la fixation biologique de l'azote (Elrefai et Moustafa, 2004).

Appleton et al. (2000) soulignèrent que des processus physiologiques peuvent être affectés tels que la respiration et le prélèvement de l'eau et des éléments nutritifs.

De son côté, Fanny (2005) à son tour, expliquait que les allélochimiques font partie des métabolites secondaires mais interviennent aussi dans les fonctions internes de la plante. Ils interfèrent avec plusieurs enzymes et dans les processus physiologiques majeurs des plantes cibles.

Il a déjà été observé que ces composés sont impliqués dans l'inhibition de la croissance des germes car ils provoquent un stress hydrique pour la jeune plantule.

Les composés allélopathiques affectent les processus fondamentaux de la plante comme la photosynthèse, la balance hormonale, la synthèse des protéines, la production de chlorophylle, les relations plante-eau, la perméabilité membranaire, la division cellulaire, la germination et le prélèvement de nutriments (Ferguson et al., 2003).

Ainsi Drapier (1983) a confirmé que les manifestations de l'allélopathie observées sont diverses : réduction de la croissance des semis, inhibition totale ou retardée de la germination, étiolement des plantes..., mais les mécanismes directement responsables sont peu connus.

Selon le même auteur, plusieurs études ont montré que les processus de multiplication cellulaire, de respiration, de photosynthèse, les processus enzymatiques, les synthèses d'hormones végétales et de protéines peuvent être affectés.

L'auxine ou acide indol acétique, la germination des pollens, des spores et des graines sont aussi inhibés par les allélochimiques (Elrefai et Moustafa, 2004).

2.5.2- Allélopathie et agriculture

En situation naturelle, il semble que l'allélopathie contribue à la répartition spatiale des espèces et à l'organisation des successions végétales; les phénomènes allélopathiques trouvent également de nombreuses applications dans le domaine de l'agriculture : Les propriétés allélopathiques ont été mises en évidence pour plus de 90 espèces de mauvaises herbes, par exemple, *Agropyrum repens* (L.) P.Beauv. (chiendent), *Chenopodium album* L. (chénopode) (Delabays, 2005).

2.5.2.1- L'allélopathie et la maîtrise des mauvaises herbes

Bien que l'allélopathie soit connue et décrite depuis longtemps, son importance réelle dans les agro-écosystèmes fait encore l'objet de vives discussions scientifiques. Une meilleure connaissance de ce phénomène pourrait offrir des perspectives intéressantes dans le contexte du difficile problème de la maîtrise des mauvaises herbes, notamment en agriculture biologique (Liancourt, 2005).

Cependant, malgré cette complexité, la réalité de l'allélopathie et son influence significative sur le développement et l'évolution de la flore de parcelles cultivées ont maintenant été démontrées à plusieurs reprises, notamment dans des situations où les molécules impliquées ont pu être déterminées. Ce constat justifie l'intérêt grandissant que l'agronomie porte aujourd'hui à l'allélopathie, en particulier dans le cadre de la production intégrée (ou raisonnée), ainsi qu'en agriculture biologique. En effet, alors que la maîtrise des mauvaises herbes reste un facteur de succès déterminant pour nombre de productions végétales, les alternatives aux herbicides demeurent peu nombreuses, et elles sont souvent coûteuses (Delabays, 2005).

Birkett et al. (2001) et Delabays et Mermillod (2002) indiquèrent qu'en agriculture, en particulier en production intégrée et en agriculture biologique, ces propriétés pourraient évidemment constituer des moyens intéressants pour la gestion des mauvaises herbes, par exemple en utilisant des plantes allélopathiques comme couverture végétale, en sous-semis ou comme cultures intercalaires «nettoyantes»

Dans ce contexte, la prise en compte des phénomènes d'allélopathie dans les réflexions menées autour de la gestion de la flore spontanée des parcelles cultivées constitue certainement une démarche constructive.

2.5.2.2- Adventices ou mauvaises herbes

L'emploi des herbicides chimiques, aussi efficaces qu'ils puissent être n'est pas toujours à recommander car ils créent des situations souvent irréversibles et dommageables à l'environnement. On a ainsi vu disparaître des zones cultivées un grand nombre d'espèces appréciées par ailleurs. C'est le cas, par exemple, de la nielle des blés (*Lychnis githago*) ou du cirse des champs, faux bleuet (*Cirsium arvense*) qui ont disparu des cultures et sont recherchées par les paysagistes (Blum, 2004).

Fanny (2005) affirme que les effets allélopathiques sélectifs peuvent présenter un intérêt considérable pour le contrôle des mauvaises herbes dans les cultures. En effet, l'allélopathie pourrait remplacer les produits phytosanitaires néfastes pour l'environnement. Contrairement aux herbicides qui doivent être appliqués régulièrement et qui voient leur concentration dans le sol diminuer au cours du temps, les substances allélopathiques sont continuellement libérées dans le sol.

2.5.2.3- Substances naturelles

Blum, (2004) a classé les "herbicides naturels" en 2 catégories:

- les produits qui agissent par contact et brûlent les parties aériennes des adventices; la sélectivité de ces produits vient de leur mode d'épandage: soit traitement hors de la présence des cultures (désherbage préventif ou sur jachères) ou grâce à des pulvérisation dirigées.
- les produits qui, par leur nature chimique, agissent sur le développement des adventices (allélopathie), modifient les caractéristiques physico-chimiques, principalement le pH des sols et mettent certains types d'adventices en difficulté.

2.5.2.4- lutte contre les mauvaises herbes :

Schématiquement, on peut envisager trois manières d'utiliser l'allélopathie pour la maîtrise des mauvaises herbes en agriculture (Delabays, 2005) :

- sélectionner des variétés cultivées allélopathiques, donc susceptibles de mieux concurrencer les mauvaises herbes;
- mettre en place des cultures « nettoyantes » (cover crop) durant l'interculture ;
- installer des couvertures végétales (ground cover) allélopathiques, notamment en cultures pérennes.

Pour une lutte efficace contre les mauvaises herbes, Putnam et Tang (1986) et Dupaigne (1999) avaient envisagé :

La sélection de variétés ayant un pouvoir allélopathique : avoine, tournesol, concombre et riz.

- **Elaboration d'herbicide :** par exemple pour le riz ; des substances allélopathiques peuvent servir à l'élaboration d'herbicides, comme la cynméthylène développé par Shell à partir de cinéol (composé terpénique de l'eucalyptus) pour le désherbage des cultures de soja, d'arachide et de cotonnier ;

- **gestion des rotations culturales :** on observe des effets d'une culture sur la suivante, soit à cause de phénomènes d'autotoxicité (le sorgho ou le riz pluvial peut subir un effet dépressif s'il est implanté après un précédent de la même culture, avec de fortes variations variétales), soit à travers des successions nettoyantes (dans le cas de la culture de tournesol) ; les associations de cultures peuvent être perturbées par des substances allélopathiques (par exemple, leur action sur la fixation de l'azote peut gêner l'établissement des légumineuses dans les prairies).

* **itinéraires techniques :**

- **Résidus de récoltes :** c'est actuellement un problème qui prend de l'importance avec le développement des techniques de travail minimum. L'enfouissement des résidus de récoltes permet de diluer les composés allélopathiques libérés par leur décomposition et de limiter leurs effets sur la culture suivante.

- **Plantes de couverture :** une couverture permanente du sol réduit la prolifération des mauvaises herbes par l'obscurité qu'elle dispense, par la compétition pour les ressources du milieu et, aussi, par des effets allélopathiques fréquemment suggérés par l'expérience.

De leur côté, Fontar et Thomas (1992) expliquaient qu'avec certaines plantes de couverture ou lors de la dégradation des résidus de récolte, il peut se produire une stimulation de la germination, puis une lyse des tubes germinatifs de certains champignons pathogènes du sol par des phénomènes d'allélopathie. On peut citer les exemples suivants :

- la pourriture des racines de cotonnier due à *Phymatotrichum omnivorum* peut être contrôlée par la présence de résidus de culture ;

- la pourriture noire des racines de haricots due à *Thielaviopsis basicola* est contrôlée à 90% en mettant sur le sol de la paille d'avoine, des résidus de maïs ou de la paille de luzerne.

Les plantes de couverture peuvent constituer une barrière physique à la dissémination d'un inoculum primaire du pathogène. Par exemple, à la Réunion, une couverture de kikuyu sur culture de géranium empêche les éclaboussures de terre et donc l'infestation du géranium par l'antracnose (*Glomerella vanillae* Zim.).

De même, une couverture morte d'avoine ou de canne à sucre peut constituer un leurre pour les larves de vers blancs (*Haplochelus marginalis*) qui ne sont plus concentrées uniquement sur les racines de géranium.

La couverture végétale peut servir de réservoir de parasitoïdes et donc constituer une forme de contrôle biologique contre les ravageurs et les pathogènes des cultures (Michellon, 1996 in Fontar et Thomas, 1992).

De plus, ces auteurs montrèrent que les composés allélopathiques peuvent jouer un rôle de défense contre les herbivores en rendant la plante inappétante, ils peuvent influencer la vitesse de décomposition de la litière, donc influencer également la pédofaune associée.

2.6- Etapes d'étude de l'allélopathie

Pour montrer qu'une plante exerce une action allélopathique phytotoxique envers une autre plante, plusieurs étapes sont nécessaires. La première consiste à identifier et à quantifier les composés sécrétés par les plantes productrices (terpènes, stéroïdes, phénols...), puis d'étudier leur devenir dans le sol. Ces composés allélopathiques doivent ensuite être absorbés par la plante cible où ils peuvent alors avoir des effets phytotoxiques (Chiapusio, 2000).

2.7- Les exemples d'allélopathie :

- Bennett (1979) in Drapier (1983) a étudié les propriétés allélopathiques des lessivats de fétuque (*Festuca silvatica* Vill) sur le sapin. Les lessivats de fétuque n'inhibe pas la germination mais réduisent la croissance des jeunes semis de sapin.

- Drapier (1980) a poursuivi les travaux de Bennett par l'étude des propriétés allélopathiques de plusieurs espèces végétales pouvant être très dominantes dans les sapinières vosgiennes, *Festuca silvatica* Vill., *Luzula silvatica* Huds., *Deschampsia flexuosa* L. Dans son expérience, Drapier a noté que les lessivats de ces espèces ne réduisent pas le taux de germination et la croissance des jeunes semis de sapin. Par contre, la macération de broyats d'aiguilles de sapin inhibe la germination du sapin (34% du témoin). L'emploi d'une plante test, le cresson alénois (*Lepidium sativum* L.), a permis de préciser ce phénomène d'auto-allélopathie et de retrouver les propriétés allélopathiques de *Festuca silvatica*, déjà observées par Bennett (1979) sur cette espèce (Drapier, 1983).

a- L'allélopathie chez les myrtilles et les fougères

Le tapis herbacé des zones de forêt de montagne (myrtilles, fougères) libère des acides phénoliques qui empêchent la germination des épicéas, qui pourraient être protégés par des mycorhizes sélectionnés (Putnam et Tang , 1986).

b- L'allélopathie chez le bran de scie de cèdre (thuya)

L'utilisation de bran de scie issu de cèdre est déconseillée. Plusieurs articles parlent d'éviter son utilisation. En fait, la méfiance envers le bran de scie de cèdre est liée à un phénomène allélopathique (Lacroix, 2003).

c- L'allélopathie chez les mauvaises herbes

L'incorporation des traits allélopathiques des espèces sauvages ou cultivées dans les plantes cultivées par les croisements traditionnels ou par les méthodes de modifications génétiques pourrait induire la biosynthèse et la libération de composés allélochimiques dans le sol. Une espèce au pouvoir allélopathique peut également être plantée avec la variété cultivée (si elle-même est insensible) afin de la protéger contre les mauvaises herbes (Ferguson et al., 2003).

Les produits allélochimiques sont libérés de certaines mauvaises herbes dans le sol et réduisent la croissance de récolte. Approximativement 6700 espèces, hors d'environ 300.000 espèces des plantes fleurissantes sont enregistrées comme mauvaises herbes dans l'agroécosystème du monde (Holm et al., 1979 in Hoque et al., 2003).

▪ L'allélopathie chez le kikuyu (*Pennisetum clandestinum*)

Les travaux de Chou et al. (1987, 1989, cités par Fontar et Thomas 1992), ont montré un effet allélopathique significatif d'une couverture végétale de kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) sur le nombre et la croissance des adventices en vergers à Taiwan. En moyenne, cette graminée diminue de moitié la croissance des adventices. Le kikuyu a été utilisé également comme plante de couverture à la Réunion et à Madagascar.

▪ L'allélopathie chez la fétuque (*Festuca paniculata*)

Les effets des extraits aqueux de *Festuca paniculata* varient selon les espèces. Certaines ne sont pas affectées significativement (les herbacées *Salvia pratensis*, *Hypochaeris maculata* et *Sesleria coerulea*); d'autres subissent un effet inhibiteur sur leur germination comme la centaurée *C.uniflora* (espèce testée la plus sensible) et le brome *B.erectus*, en empêchant les graines de brome et de centaurée de germer (Fanny, 2005).

▪ L'allélopathie chez le brome des toits (*Bromus tectorum*)

Le mulch que forme les restes secs de brome des toits contribue à limiter le développement d'une flore spontanée indésirable. Le brome des toits s'est révélé être une des espèces parmi les plus allélopathiques (Delabays et Memillod, 2002). Au laboratoire, les extraits de brome ont montré une forte action inhibitrice sur le développement de deux adventices importantes, l'amarante réfléchie (*Amaranthus retroflexus*) et le chénopode blanc (*Chenopodium album*) (Delabays, 2005).

▪ **L'allélopathie chez l'orge des rats (*Hordeum murinum*)**

Une autre graminée, l'orge des rats (*Hordeum murinum*), par ailleurs présente spontanément dans de nombreux vignobles de Suisse romande, possède de puissantes propriétés phytotoxiques et allélopathiques en laboratoire et en serre.

Avec cette espèce, le développement de la flore spontanée reste très limité, formant moins de 20 % du recouvrement, et ceci sans intervention particulière, ni application d'herbicides (Delabays, 2005).

d-L'allélopathie chez certaines graminées

L'emploi des résidus des récoltes telles que l'orge, le blé et le seigle afin d'utiliser leur potentiel allélopathique:

- Les résidus du seigle introduits ont réduit de manière significative toute la biomasse de mauvaises herbes.
- L'orge utilisée comme récolte d'étouffement peut être réussie dans l'élimination des mauvaises herbes parce qu'elle empêche la germination de graine et la croissance de l'espèce choisie de la plante cultivée.
- Le blé semble également offrir des possibilités intéressantes allélopathiques en réprimant la germination de beaucoup de graines de mauvaises herbes et également la croissance des jeunes plantes de mauvaises herbes (Kim, 2004).

En outre, Kwak et Kim (1984) et Kwon et Kim (1985) cité par Kim (2004) ont rapporté que les extraits aqueux des résidus d'orge, de blé et de seigle ont empêché la germination et la croissance des mauvaises herbes de riz et celles de montagne. Ces extraits étaient particulièrement efficaces contre *le distinctus* une mauvaise herbe feuillue qui croît dans les rizières.

Ainsi, Douze acides phénoliques libres simples ont été identifiés dans la paille de l'orge, du blé et du seigle. L'acide férulique était le plus abondant (au sujet de 20% ou plus), suivi de l'acide p-coumarique, sinapique, protocatecheuic et cafféique, et des polyphénols tels que le scopoletin et la rutine.

En outre, Cloutier et Leblanc (2004) ajoutèrent que certaines espèces sont beaucoup plus agressives contre les mauvaises herbes (seigle ou trèfle incarnat, par exemple) mais elles ont aussi tendances à réduire le rendement du maïs surtout si elles sont semées trop tôt.

e- L'allélopathie chez les légumineuses (*Desmodium uncinatum*)

Certaines cultures céréalières d'Afrique et d'Asie sont envahies par une angiosperme du genre *Striga* abritant des parasites racinaires qui diminuent la productivité des céréales. Pour contrecarrer ce problème, une légumineuse du genre *Desmodium uncinatum* est souvent plantée avec les céréales en raison du fait qu'elle soit capable de supprimer par ses effets allélopathiques, les angiospermes nuisibles aux cultures de graminées. (Tsanuo, 2003 in Fanny, 2005).

f- L'allélopathie chez les crucifères

Les effets allélochimiques des crucifères proviennent de l'effet de leurs tissus en décomposition ou de leurs exsudats racinaires sur des micro-organismes du sol ou des insectes, par le biais des molécules issues de la dégradation des glucosinolates et les isothiocyanates.

Les crucifères de production et les cultures intermédiaires peuvent donc être utilisées pour développer la lutte intégrée dans les systèmes de culture, par leur action allélopathique sur certains agents pathogènes nuisibles pour d'autres cultures de la rotation.

- **Les bienfaits des crucifères contre la pourriture molle**

Les tissus issus de certaines crucifères inhibent la croissance mycélienne du pathogène (*Aphanomyces eutiches*).

- **Les bienfaits des crucifères contre piétin –échaudage du blé**

Les résidus des colzas de production seraient à l'origine d'une plus faible pression de la maladie sur le blé suivant (Reau et al., 2003).

g- L'allélopathie chez la luzerne

La luzerne aurait la capacité naturelle d'inhiber la germination de certaines adventices (Waligora, 2004).

h- L'allélopathie chez le soja

La culture du soja sur une rotation annuelle dans des rizières a nettement réduit l'apparition des mauvaises herbes aquatiques et a considérablement réduit des problèmes de mauvaise herbe dans la récolte suivante de riz (Kim, 2004).

i- L'allélopathie chez les plantes aquatiques (macrophytes, *Myriophyllum spicatum* L)

Lors de dommages occasionnés aux tissus végétaux, le 2-phényléthyl-glucosinolate est hydrolysé par la myrosinase pour donner le 2-phényléthyl-isothiocyanate, un produit toxique pour les invertébrés. Le macrophyte *Myriophyllum spicatum* L. (Haloragaceae) excrète des polyphénols hydrolysables qui inhibent la croissance algale, le plus probablement par complexation des enzymes algales extracellulaires (Gross et al., 1996 in Waridel, 2003). Des métabolites de diverses classes

présentes dans les macrophytes, tels les acides gras, les stérols, les phénylpropanes, les lignanes, les néolignanes et les phénanthrènes, ont également un effet algicide. Ce type d'activité fait plus spécifiquement partie des interactions entre les organismes végétaux regroupées sous le terme d'allélopathie. Un effet allélopathique a ainsi été démontré pour près de 100 espèces de plantes aquatiques, bien que dans la plupart des cas, l'identité des principes actifs ne soit pas connue. Parmi celles-ci, quatre espèces de potamots, *Potamogeton amplifolius* Tuck., *P. foliosus* Raf. , *P. illinoensis* Morong et *P. nodosus* Poir exercent une activité allélopathique envers d'autres macrophytes (Waridel, 2003).

j- L'allélopathie chez le phytoplancton

Parmi les mécanismes pouvant expliquer l'effet des macrophytes, on peut citer: les phénomènes d'allélopathie par la production de substances inhibant la croissance du phytoplancton (Hootsman et Blindow 1994 in Bertolo, 1998).

k- L'allélopathie chez les nénuphars :

Dans le cas du nénuphar *Nuphar lutea* Sibth. et Sm. (Nymphaeaceae), l'activité allélopathique de l'extrait aqueux envers le macrophyte *Lemna minor* L. (Lemnaceae) a pu en partie être attribué à un alcaloïde soufré, la 6,6'-dihydroxythiobinupharidine (Elakovich et al., 1996 in Waridel, 2003).

l- L'allélopathie chez les algues

Les substances produites par les algues peuvent avoir des effets négatifs sur d'autres espèces d'algues ou des organismes qui utilisent les matériaux d'origine algales (Hulot et Lacroix, 2005).

m- L'allélopathie chez la verge d'or et l'épervière

Certaines plantes émettent des substances chimiques qui empêchent la croissance d'autres plantes, c'est le cas de la verge d'or et de l'épervière (C.R.P.F, 1999).

n- L'allélopathie chez l'iris

Chez les iris, un phénomène progressif de décoloration se produit à proximité des racines; cette décoloration serait plus ou moins grande et l'on devrait observer des couleurs intermédiaires.

A cela, Brunel (2002) suggérait une sécrétion agissant au niveau des racines pour inhiber la couleur et pour empêcher cela, il suffirait selon lui d'intercaler une tuile entre les différents pieds.

o- L'allélopathie chez le chiendent

La nuisibilité directe du chiendent concerne l'action du chiendent rampant sur la qualité et la quantité des plantes cultivées.

Elle résulte d'un phénomène de concurrence qui serait fonction d'un certain nombre de facteurs liés à la fois au chiendent lui-même et à la culture concernée; la concurrence s'exerce soit par un phénomène de compétition, soit par un phénomène d'allélopathie).

Ainsi, l'exsudation par les racines d'une substance appelée agropyrene inhibe la croissance des plantes cultivées.

Par ailleurs, la nuisibilité de l'espèce est davantage proportionnelle à la longueur des rhizomes qu'à leur biomasse pesée. Une phytotoxine inhibait la germination et la croissance chez le maïs, l'avoine, le concombre et la luzerne. Elle fut isolée et purifiée à partir de rhizomes de chiendent rampant aux USA. Il s'agirait d'un glycoside (Michez, 1994).

En outre, lors de la décomposition de ses rhizomes, le chiendent rampant inhibe la croissance de plantules de colza en produisant des toxines; cette production augmente avec la température du sol et diminue notablement lorsque la température est inférieure à 10°C.

Selon Grodinsky in Michez (1994), il faudrait une période de 10 à 15 ans pour provoquer une auto-intoxication de ce chiendent.

p- L'allélopathie chez les espèces ligneuses

Le processus d'allélopathie peut expliquer la production herbacée limitée sous les feuillages de certaines espèces ligneuses. Elle a été rapportée chez plusieurs espèces ligneuses, dont *Eucalyptus* spp., *Casuarina* spp., *Leucaena leucocephala*, *Prosopis juliflora* et *Tectona grandis*. La faible production herbacée peut être attribuée en partie à la décomposition lente de la litière déposée sous les couverts (Suresh et Vinaya Rai 1988 in Bourgoin, 1999).

*** L'allélopathie chez les arbres**

Le phénomène d'allélopathie est aussi prouvé chez certains arbres forestiers:

- **L'allélopathie chez le cèdre (*Cedrus atlantica*)**

On retrouve selon Lacroix (2003), deux composés chimiques qui semblent phytotoxiques :

- **La thujaplicine** : composé soluble ayant des propriétés anti-microbiennes. Ce composé est probablement responsable de la résistance naturelle du cèdre à la décomposition et au pourrissement.

- **La thujone** : huile essentielle qui agit comme agent répulsif chez plusieurs insectes dont plusieurs espèces de fourmis.

- **L'allélopathie chez le peuplier (*Populus deltoide*)**

D'après Singh et al., (2001) la croissance et la productivité du blé est réduite dans les domaines abrités par *Populus deltoides* et la réduction observée était due à l'interférence allélopathique de *Populus deltoide*.

- **L'allélopathie chez le Kalmia (*Kalmia angustifolia*)**

Des superficies importantes de forêts exploitées en milieu boréal sont occupées par le kalmia, ce qui peut souvent se traduire par un blocage de la succession. Ce phénomène retarde l'établissement ou la croissance de l'épinette noire. Même en plantation, la croissance de l'épinette peut stagner de nombreuses années ; plusieurs causes ont été identifiées par divers chercheurs pour expliquer le phénomène. La principale serait un effet d'allélopathie (interaction chimique entre végétaux) (Bernier, 2005 et Thiffault, 2003).

- **L'allélopathie chez le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Miller)**

Au plan analytique, les macérations racinaires de pin contiennent plusieurs acides phénoliques (exp. acide p-hydroxybenzoïque ou acide p-coumarique), connus comme étant des allélochimiques potentiels. Les résultats des bio-essais montrèrent des effets significativement différents sur la germination et sur la taille des deux espèces cibles, selon les facteurs âge, concentration, et tissus des pins d'Alep. L'effet inhibiteur le plus flagrant est observé sur le lin en présence des macérations foliaires de jeunes pins d'Alep (± 10 ans), et des macérations racinaires de pins plus âgés (> 30 ans).

Aussi, le pin d'Alep pourrait alors avoir en Provence calcaire, par l'intermédiaire des substances allélopathiques libérées dans l'environnement (pluvio-lessivats ou exsudats racinaires), une forte influence sur le fonctionnement des écosystèmes méditerranéens, et en particulier sur la succession végétale (Lelong et al., 2004).

- **L'allélopathie chez l'Eucalyptus**

Les effets allélopathiques de l'eucalyptus (influence sur le développement d'autres végétaux) sont souvent mentionnés. La littérature ne rapporte cependant que peu de cas d'effets allélopathiques avérés. Cet effet ne semble pas décisif pour qualifier l'impact de l'eucalyptus sur la biodiversité (A F O C E L, 2004).

2.8- Gestion forestière et diversité végétale

Les modifications de la flore peuvent avoir des conséquences fonctionnelles souvent mal connues. Par exemple, certaines plantes provoquent des phénomènes d'allélopathie, c'est-à-dire une toxicité vis-à-vis d'autres plantes. Une augmentation de leur densité peut influencer sur l'avenir d'un peuplement forestier (Marc Deconchat, 2004).

III- L'allélopathie chez le noyer

Le noyer contient un composé chimique phénolique soluble dans l'eau qui peut nuire et détruire certains compétiteurs (Lacroix , 2003).

3.1-Introduction

Certains végétaux émettent des composés phytotoxiques. Ainsi, les tissus des crucifères qui sont riches en soufre, libèrent rapidement en se décomposant divers sulfures de méthyle et vraisemblablement des isothiocyanates. Ces composés atteignent, en 2 jours, des concentrations suffisantes dans l'atmosphère du sol pour inhiber irréversiblement un champignon parasite tel que *Aphanomyces euteiches*.

Lorsque les litières des résineux ou de feuillus entrent en décomposition, leurs extraits deviennent plus toxiques, probablement par suite de libération progressive de composés aromatiques qui, par eux-mêmes ou par leurs produits d'oxydation, sont transformés en produits inhibiteurs (Lewis et Papavizas, 1971 in Davet, 1996).

3.2- Les phénols

Le sol reçoit des quantités appréciables de composés aromatiques apportés de l'extérieur par la végétation ou synthétisés dans l'écosystème édaphique par sa microflore, en particulier les champignons filamenteux. Pourtant, il renferme fort peu de dérivés phénoliques libres. Par exemple, les feuilles d'*Anthoxanthum odoratum*, la flouve, contiennent environ 4% de coumarine potentiellement phytotoxique dans leur matière sèche totale.

Ainsi, une litière de chêne contient environ 330 ppm d'acides-phénols courants alors que les sols forestiers les plus riches, les podzols, en renferment moins de 1 ppm.

Il est vrai que la transformation des phénols des feuilles commence au sein des litières : le vieillissement de celles-ci, indépendamment de tout lessivage, réduit leur taux, dans les feuilles de chêne, à 25-30% de leur teneur initiale, dans celles de hêtre, à moins de 10%, et ceci en quelques semaines seulement (King et Bloomfield in Dommergues et Mangenot, 1970).

3.2.1- Variation et concentration

Selon Tissaux (1996), la concentration en polyphénols varie selon la taille et l'âge de l'arbre ainsi que selon les espèces. Effectivement, les plus grandes teneurs se retrouvent dans le bois de cœur à la base du tronc. Elles diminuent en fonction de la grosseur des parties de l'arbre considérées. Ainsi, la concentration en polyphénols dans les rameaux est la moins élevée.

De même, la teneur en composés phénoliques dans les tissus végétaux est corrélée avec la fertilité du site. En effet, la concentration en polyphénols s'accroît avec la pauvreté du site. Ce phénomène est expliqué par un excès de carbone fixé par rapport à la disponibilité des nutriments. Il en résulte une accumulation des composés phénoliques dans les tissus.

La teneur en composés phénoliques peut affecter la décomposition et le turn-over de la matière organique. Les composés secondaires (résines, gommes, composés phénoliques) peuvent inhiber l'action des micro-organismes, voire même avoir des effets toxiques, fongicides et antibiotiques, ceci étant particulièrement vrai pour le bois des Gymnospermes. Les phénols sont enfermés dans la vacuole où ils se combinent à des sucres pour former des glycosides inactifs.

D'après ce même auteur, quand les organismes biologiques (champignons, insectes et herbivores) attaquent le bois ou le feuillage, les glycosides sont hydrolysés, libérant ainsi les phénols sous leur forme active. Ces derniers peuvent être oxydés en quinones, devenant alors beaucoup plus toxiques et permettent ainsi à l'arbre de se défendre.

La relation qualité de site-polyphénols implique donc un feed-back positif, qui, dans les sites pauvres, accroît la production de polyphénols, qui à leur tour, réduisent la qualité du site par réduction de la minéralisation des nutriments.

L'existence de composés toxiques pouvant inhiber, au moins partiellement, la croissance végétale (Morel, 1996).

3.2.2- Importance des phénols

L'importance des quinones est plus qualitative que quantitative : les masses de carbone engagées dans ces combinaisons sont faibles, tandis que leur activité biologique est considérable. Ce sont souvent des polyphénols qui interviennent dans la résistance des plantes aux champignons parasites ; ce sont encore eux que l'on retrouve dans les phénomènes d'allélopathie qui permettent à une espèce végétale de s'opposer à la germination ou à la croissance d'autres espèces (Reviere et Chaussat in Dommergues et Mangenot, 1970). Ils rappellent qu'un sol contenant quelques ppm seulement de coumarine inhibe la levée et le développement des racines chez de nombreuses plantes.

Cependant, la rhizosphère de la flouve permet le développement de micro-organismes capables de dégrader l'inhibiteur et dont l'effet est d'assurer une désintoxication du sol dont on comprend l'importance.

Au plan du développement végétal, ces mêmes auteurs citeront encore les actions toxiques exercées par les phénols des végétaux supérieurs à l'égard de la microflore du sol. La structure chimique de chaque substance détermine son activité et la possibilité de son utilisation par un plus ou moins grand nombre d'organismes en réduisant l'intensité des phénomènes de compétition auxquels ils étaient soumis.

3.2.3- Structure des polyphénols

Les métabolites secondaires du bois peuvent être repartis en quatre grandes classes principales:

- Les terpènes et terpénoïdes ;
- Les composés phénoliques ;
- Les graisses, les cires ainsi que leurs divers composants ;
- Les composés divers comme les alcanes, les éthènes...

Ces métabolites sont concentrés dans les canaux résinifères et dans les cellules des parenchymes de rayon mais aussi, en quantité moindre dans la lamelle moyenne et dans les parois cellulaires.

De toutes ces classes, celle des composés phénoliques est de loin la plus répandue. On distingue en effet diverses sous-classes comme les phénols simples (vanilline, aldéhyde p-hydroxybenzoïque, aldéhyde coniférylique...) et les polyphénols (flavonoïdes, quinones, tannins).

Tous ces composés ont comme caractéristique commune d'avoir un contenu en méthoxyles élevé.

Les polyphénols qui sont pour la plupart solubles dans l'eau, ont un poids moléculaire compris entre 500 et 3 000 daltons et peuvent se complexer avec des protéines. Parmi eux, les tannins révèlent un intérêt à cause du rôle qu'ils peuvent jouer dans la pédogenèse. On caractérise ces composés plus par leur action tannante sur les protéines que par leur structure chimique. Tous les tannins sont des composés phénoliques (des phénols simples aux flavonoïdes condensés) (Tissaux, 1996).

D'après cet auteur, deux catégories se distinguent :

- Les tannins hydrolysables, qui sont des esters de l'acide gallique et de ses dimères ;
- Les tannins condensés ou phlobaphènes, qui sont constitués de 3 à 8 unités flavonoïdes disposées sur la structure de base.

3.2.4- Le devenir des composés phénoliques

Les composés phénoliques dérivent de plusieurs sources : la dégradation du matériel végétal (lors de la dépolymérisation de la lignine), les biosynthèses microbiennes et les exsudations racinaires ou foliaires. Ils sont, de plus, impliqués dans plusieurs processus pédogénétiques comme la formation d'humus, la complexation avec les métaux ou minéraux argileux et dans les cas d'allélopathie (Dommergues et Mangenot, 1970).

Selon ces auteurs, quatre étapes permettraient d'expliquer la formation de phénols à partir de la dépolymérisation de la lignine et de leur rôle comme précurseurs de substances humiques. Pendant la décomposition des débris végétaux, la lignine est libérée de ses liens avec les polysides. En second lieu, la lignine subit alors une attaque oxydative et subit un clivage la réduisant en unités structurales de base. Troisièmement, ces unités sont oxydées et déméthylées se transformant alors en polyphénols. Ces polyphénols sont à leur tour oxydés en quinones par les phénoloxydases.

Enfin, les quinones sont polymérisées durant l'oxydation avec des composés azotés pour former des polymères de couleur sombre.

La synthèse des composés phénoliques par les micro-organismes peut s'expliquer comme suite en prenant comme exemple les champignons de germe *Epicoccum nigrum*. Ce champignon fabrique à partir de composés aliphatiques (glucose et asparagine), de l'acide orsellique et de l'acide crésorsellique. Ces composés sont ensuite transformés en polyphénols par oxydation des groupements méthyles en groupements carboxyles ou par décarboxylation puis formation de groupements hydroxyles (Tissaux, 1996).

D'après ce dernier, les substances phénoliques sont transformées par hydroxylation enzymatique, déméthylation des groupes méthoxyles, oxydation des chaînes latérales, décarboxylation et oxydation des groupes méthyles pour former de nombreux mono- di-, et trihydroxyphénols et acides benzoïques. Une partie des phénols est ensuite dégradée par plusieurs organismes et utilisée comme énergie ainsi que pour les synthèses cellulaires. L'autre partie peut, par le biais des activités enzymatiques ou de réactions auto-oxydatives, former des radicaux hautement réactifs ou hydroxybenzoquinones qui se lient avec d'autres unités phénoliques, des peptides et des acides aminés pour former de grosses molécules d'acides humiques. Ceci expliquerait le processus d'humification des matières organiques dans les sols par les groupes microbiens.

3.2.4.1-Oxydation des phénols

Selon Dommergues et Mangenot (1970), les phénols sont des composés relativement instables, susceptibles d'être dégradés avec ouverture du cycle aromatique sous l'influence de nombreux micro-organismes telluriques ; ils peuvent d'autre part être oxydés avec formation de quinones ou de radicaux libres

On est donc en droit de penser que les phénols sont assez rapidement transformés dans le sol et ce même avant l'incorporation à ce dernier des cadavres et des exsudats végétaux. C'est ce que laisse supposer la formation des solutions brunes que l'on voit s'écouler des litières ou des herbes en décomposition. Il en résulte que le sol contient peu de phénols libres bien que les faibles quantités présentes soient peut-être capables d'exercer une influence réelle sur l'activité biologique totale et sur la croissance des végétaux supérieurs.

3.2.5- Les facteurs qui influent la production des métabolites

La production des métabolites peut subir l'influence du climat, des variations saisonnières, de la lumière, de la phase de végétation, des conditions de milieu. Ils sont surtout présents dans les feuilles, les racines et, à un degré moindre, dans les graines, les fruits, les tiges et les fleurs. Leur libération se fait par exsudation par volatilisation ou lors de la décomposition de ces végétaux (Drapier, 1983).

Ainsi, Hulot et Lacroix (2005) indiquent que le noyer empêche les plantes de se développer autour de lui par la production de juglone, substance toxique pour de nombreuses espèces de plantes.

3.3- La juglone

3.3.1- Historique

La prise de conscience du phénomène de la toxicité du noyer remonte au moins aux périodes romaines, quand Pliny avait noté un effet d'empoisonnement par les noyers sur toutes les plantes (Dana et Rosie Lerner, 2004).

L'allélopathie est un phénomène complexe que Pliny a démontré la première fois dans 77 ans avant J.C. Dans ses écritures il a noté les effets toxiques du noyer sur les plantes voisines dans le paysage (Appleton et al., 2000).

*** La défense des plantes contre d'autres plantes**

Les plantes emploient la guerre chimique contre d'autres plantes; un processus connu sous le nom d'allélopathie.

Beaucoup de terpènes et composés phénoliques simples tels que l'acide 4-hydroxybenzoïc sont également allélopathiques.

Les plantes déchargent des produits chimiques dans la rhizosphère qui peuvent négativement affecter la croissance et le développement des plantes voisines. Les quinones et les phénols sont la classe la plus commune des allélochimiques souterrains (Wrobel et al., 2003).

3.3.2- Définition de la juglone

La juglone est une naphthoquinone (Shaw, 2002), qui est isolée des feuilles et de la coque des fruits du noyer (Lavoie et al., 2003).

Dana et Rosie Lerner, (2004), Bhosale et al., (1999) et Anderson, (2003) ont défini la juglone (5-hydroxy-1,4-naphthoquinone) comme un composé allélopathique qui est produit naturellement dans toutes les parties du noyer .

3.3.3- Effets de la juglone

3.3.3.1- Données humaines

Accordant la monographie de la commission allemande sur le brou de la noix, l'utilisation topique et quotidienne des préparations d'écorce de noix (le brou) contenant du juglone est attachée à une plus grande occurrence du cancer de la langue et du leukoplakia des lèvres (Blumenthal, 1998).

3.3.3.2- Données animales

Les chiens a qui on administre la juglone à 5mg/kg ont développé des hémorragies dans les poumons (Boelkins et al., 1968).

Les chevaux consommant des copeaux en bois contenant plus de 20% du noyer peuvent développer des signes cliniques du liminitis.

La consommation de ces copeaux peut également causer une douce colique (Funt et Martin, 1999).

3.3.3.3- Données végétales

La juglone est très toxique lorsqu'elle était injectée dans la l'alfa et la tomate et elle élimine le pommier lorsqu'il est planté près du noyer (Rood, 2001).

3.3.4- Identification chimique

Synonymes et noms commerciaux : 5-Hydroxy-1,4-naphthlenedione; 5-Hydroxy-p-naphthoquinone Akhnot, Le marron naturel 7, 5 hydroxy -1,4- naphthoquinone, 5-hydroxynaphthoquinone, juglone, extrait du noix (Merck, 1997 et Wrobel, Matvienko et Yoder, 2003).

Description: À l'origine d'isolement dans les coquilles de fruit et les différentes parties du noyer, la juglone est fortement un sélectif, la cellule perméable, inhibiteur irréversible de la famille de parvulin des isomérasés peptidyles du prolyl cis/trans (PPIase).

Elle perturbe la formation des complexes fonctionnels de pré-déclenchement par l'intermédiaire de la modification des groupes de sulhydryl (Wrobel et al., 2003).

Nom chimique : 1,4- naphthoquinone, 5 hydroxy.

Poids Moléculaire: 174,2.

Point de diffusion : 155°C.

Formule Moléculaire: C₁₀H₆O₃ (Merck, 1997 et Wrobel et al., 2003).

Structure:

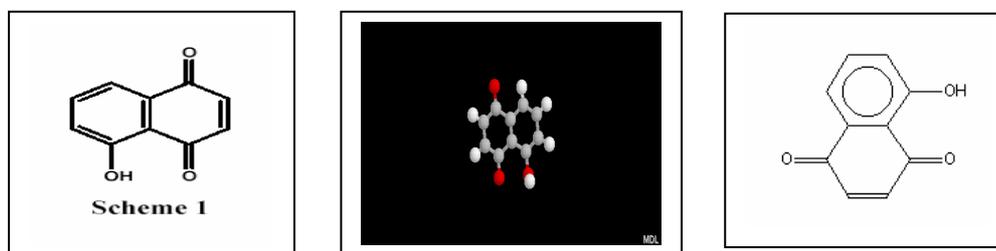


Figure n°02 : La structure de la juglone
Merck, (1997) et Wrobel et al., (2003)

Pureté: = 99% par TLC

Solubilité: DMSO (10 mg/ml) ou éthanol (Wrobel et al., 2003)

La juglone est légèrement soluble dans l'eau chaude, soluble dans l'alcool, l'acétone, le chloroforme, le benzène et l'acide acétique (Merck, 1997).

3.3.5- Transformation de la juglone et son mode d'action

Si certaines d'autres plantes qui sont plantées près ou sous le noyer tendent à jaunir, à se faner et à mourir. Ce déclin se produit parce que le noyer sécrète un produit chimique non toxique, sans couleur, appelé l'hydrojuglone (Appleton et al., 2000 et Joy et al., 2003).

L'hydrojuglone se trouve dans les tiges, les coques de fruit, l'écorce intérieure et les racines.

Une fois l'hydrojuglone est exposée à l'air, elle s'oxyde dans le sol en donnant une quinone cytotoxique (produit allélochimique = la juglone), qui est fortement toxique (Appleton et al., 2000, Sparks et Meyer, 2003 et Wrobel et al., 2003).

Ainsi, Wrobel et al. (2003) expliquent que des glycosides de 1,4,5-trihydroxynaphthalene sont lixiviés par les racines des noyers dans le sol environnant par la pluie. Une fois dans le sol le résidu de sucre est hydrolysé et le 1,4,5-trihydroxynaphthalene résultant est oxydé dans l'air pour produire le composé allelopathique 5-hydroxy-1,4-naphthoquinone (la juglone) qui empêche la croissance d'autres plantes à proximité du noyer.

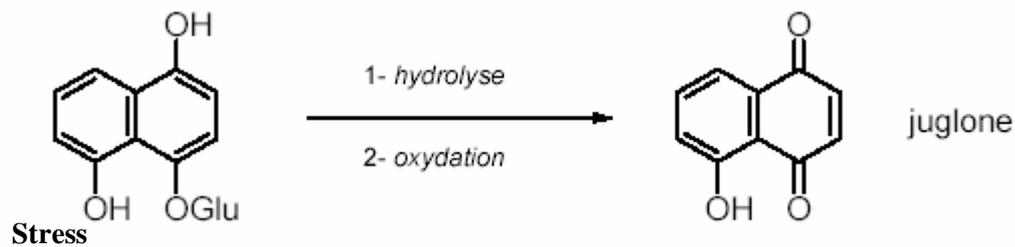


Figure n°03 : Transformation de l'hydrojuglone en juglone (Feher et Chem, 2003)

En effet, cette substance, essentiellement présente dans les racines, cause la mort d'un certain nombre de plantes. Cependant, d'autres plantes semblent tolérables à cette substance (Morin, 1998 et Appleton et al., 2000).

Selon Morin, (1998), il y a donc un potentiel de développer un herbicide biologique très spécifique.

3.3.6- L'hydrojuglone dans le noyer

Les plus grandes concentrations du juglone et de l'hydrojuglone (convertis en juglone par les plantes sensibles) se produisent dans les bourgeons du noyer, les coques d'écrou, et les racines. Cependant, les feuilles et les tiges contiennent une plus petite quantité (Dana et Rosie Lerner, 2004 et Joy et al., 2003).

La juglone présente un intérêt majeur à des petites doses car elle améliore la qualité du sol de manière à ce que le végétal lui même ait une meilleure défense (Reboulet, 2005).

3.3.7- Source de toxicité

Une recherche plus récente a déterminé le produit chimique spécifique impliqué et son mode d'action. Beaucoup de plantes ont été classifiées à travers l'observation comme sensibles ou tolérantes à la juglone (Bhosale et al., 1999, Dana et Rosie Lerner, 2004).

Les plantes sensibles à la juglone dépérissent et meurent ; les plantes tolérantes se développent normalement. Les végétaux comme la tomate, la pomme de terre et les piments et les plantes ornementales comme les lilas, rhododendron et l'azalée sont particulièrement sensibles à la juglone (Joy et al., 2003).

Mais, le dépérissement résultant du contact avec les racines du noyer se produit dans un temps relativement court, même lorsqu'il y a une humidité suffisante dans le sol.

Aussi, beaucoup de plantes à enracinement superficiel et qui n'ont aucun contact avec les racines se développent normalement. C'est le cas de la tomate et l'alfa qui se développent normalement près des jeunes noyers, cela suggère que la juglone ne peut être formée dans les jeunes noyers ou bien leurs racines (Rood, 2001).

3.3.8- Symptômes

Les plantes sensibles à la juglone peuvent être rabougries et ont des feuilles tordues de couleur jaune ou marron. Elles sont exposées au dépérissement total ou de quelques parties de la plante et par la suite la mort éventuelle causée par l'inhibition de la respiration (Dana et Rosie Lerner, 2004, Mohlenbrock, 2002, Funt et Martin, 1999, Bhosale et al., 1999, Anderson, 2003 et Joy et al., 2003).

Souvent les tissus vasculaires de la plante affectée sont décolorés (Joy, Hudelson et Jull, 2003).

La juglone s'est expérimentalement avérée un inhibiteur de la respiration ce qui prive les plantes sensibles de l'énergie nécessaire à l'activité métabolique (Dana et Rosie Lerner, 2004, Mercer, 2004 et Mohlenbrock, 2002).

3.3.8.1- Les parvulins sont empêchés par la juglone.

Pour étudier la signification physiologique de l'effet de juglone, Dharmasiri et al. (2003) avaient examiné in vivo l'expression auxine-réglée de gène. Des plantes ont été traitées avec 2,4-d avec ou sans juglone de 20 μ M, cyclosporine, et rapamycin 20 μ M. Comme prévu, le traitement d'auxine a eu comme conséquence l'accumulation de GUS dans la zone d'élongation des jeunes plantes transgénique. La juglone a empêché cette accumulation.

La Juglone empêche aussi la transcription et la dégradation auxine- réglées d'AXR3NT-gus des jeunes plantes.

3.3.8.2- La juglone dans le sol

D'après Appleton et al. (2000), la juglone arrive au sol selon différents modes : la volatilisation, la lixiviation par la pluie, le brouillard, ou la rosée, la décomposition de la matière organiques (bourgeons, fruits, brindilles, brou, feuilles) et l'exsudation des racines

Les plantes situées sous la verrière des noyers sont la plupart en danger, car les plus grandes quantités de juglone sont généralement présentes sous la verrière d'un noyer, d'où une plus grande densité de racines et une importante accumulation de juglone (Dana et Rosie Lerner, 2004).

Bien que la juglone se caractérise par une faible solubilité dans l'eau et ne se soit très mobile dans le sol, des quantités minimales de cette substance peuvent être nuisibles aux plantes sensibles (Dana et Rosie Lerner, 2004; Funt et Martin, 1999 ; Anderson, 2003 et Appleton et al., 2000).

Étant donné que la juglone n'est pas hydrosoluble, un contact étroit entre l'arbre et une plante est nécessaire pour produire l'effet allélopathique (Mercer, 2004).

Beaucoup de plantes comme la tomate, la pomme de terre, le mûrier, le myrtille, les azalées, le laurier de montagne, le rhododendron, le pin rouge et le pommier dépérissent et meurent dans quelques mois, une fois plantés dans la zone des racines libérant la juglone (Funt et Martin, 1999).

3.3.9- Facteurs influençant l'accumulation de la juglone

L'accumulation des toxines dans le sol est affectée par des facteurs tels que le type de sol, le drainage, l'aération, la température et l'action microbienne (Appleton et al., 2000 et Dana et Rosie Lerner, 2004).

Les micro-organismes de sol ingèrent les allélochimiques et l'utilisent comme sources d'énergie. La décomposition métabolique peut alors rendre les produits chimiques non toxiques aux plantes. Quand les sols sont bien drainés et aérés, une population saine des micro-organismes aérobies accélèrent ce processus de décomposition ou/et détoxification (Mercer, 2004).

Cependant, les sols humides et mal aérés, très communs dans beaucoup de secteurs urbains, découragent la croissance microbienne ; les plantes sensibles à l'effet toxique du noyer peuvent être exposées à un dépérissement une fois plantées dans les sols urbains manquant de matières organiques (Appleton et al., 2000).

3.3.10- Réduction des effets allélopathiques

Spécialement, il n'existe pas de remède pour les plantes affectées par la toxicité du noyer.

Devégétaliser, n'est pas une opération pratique car l'arbre représente un point focal dans le sol. En outre, même si l'arbre est arraché, la juglone ne sera pas éliminée du fait qu'il devient impossible d'enlever tous les débris des racines dans le sol. Ceux qui restent exsudent la toxine plusieurs années lors de leur décomposition (Joy et al., 2003).

Ainsi, la toxicité peut persister pendant quelques années après qu'un noyer soit arraché (Dana et Rosie Lerner, 2004).

Selon Appleton et al., (2000), pour éviter la toxicité due à la juglone du noyer, il faut effectuer les opérations suivantes :

- Nettoyer régulièrement les tombés de l'arbre (feuilles, fruits, ...)
- Composter les débris de plantes pour dégrader toutes les toxines et pour détoxifier le compost.
- Maintenir un niveau élevé de matière organique dans le sol parce que la matière organique encourage les populations microbiennes de sol sain qui peuvent métaboliser des toxines. Selon Dana et Rosie Lerner (2004), les additions de matière organique ou de remplacement de sol existant avec un type plus léger, devraient tendre à réduire au minimum des problèmes de phytotoxicité.
- Fertiliser le sol en azote libre afin d'éliminer l'effet toxique du noyer (Rood, 2001).
- Procéder à un excellent drainage du sol.
- Eviter d'utiliser l'écorce ou les morceaux en bois de la noix pour pailler les plantes sensibles.

Chapitre II

Le précédent culturel et l'effet de la matière organique

Avant propos

- **Incorporation du matériel végétal dans le sol**

Evidemment, il convient de rappeler que l'incorporation de matériel végétal dans un sol change la structure de ce dernier, apporte de la matière organique et peut modifier significativement le rapport C/N; avec les conséquences prévisibles sur la flore microbienne du sol et la dynamique de l'azote (Delabays et Munier-Jolain, 2004 in Delabays, 2005) tous ces facteurs sont susceptibles d'avoir des effets sur la croissance des plantes, sans que l'allélopathie proprement dite soit impliquée (Delabays et Mermilloud, 2002).

Reste que l'orientation nette des phénomènes observés et sa concordance avec les résultats obtenus en laboratoire et en plein champ tendent à démontrer la présence de réels effets allélopathiques.

- **Relation entre végétaux et micro-organismes**

Domergues (1971) désigna sous l'expression « effet litière » l'ensemble des interrelations qui se manifestent entre les végétaux supérieures et les micro-organismes telluriques au niveau ou par l'intermédiaire des litières. Ces différents effets exercés par les substances d'origines végétales sur les micro-organismes, qu'ils soient favorables ou défavorables vont se répercuter indirectement sur le comportement des végétaux (croissance, développement) par le fait que les microflore du sol contrôlent les cycles biogéochimiques, N, P, K,...et par conséquent influencent fortement la nutrition minérale des plantes et la production forestière.

Ainsi, dans le cadre des interactions entre les litières et les micro-organismes du sol, de nombreux travaux ayant trait à l'effet des hydrosolubles sur la microflore et mis en lumière :

2.1-L'action inhibitrice de ces composés sur la flore microbienne.

Ce pouvoir inhibiteur s'exerce sur les bactéries du genre *Bacillus* : *B. megaterium*, *B. cereus*, les fixateurs d'azote : *Azotobacter* et *Rhizobium*, les nitrificateurs du genre *Nitrobacter* et le genre *staphylococcus* : *S. aureus* (Messaadia, 1987).

2.1.1- L'effet dépressif de ces composés sur la microflore fongique.

Il se produit une inhibition des champignons mychoriziens du genre *Boletus*, et *Marasmius* (Olsen 1972 in Messaadia, 1987).

2.1.2- L'influence défavorable des extraits sur les microflores complexes des sols

Ces composés qui proviennent du lessivage des litières et/ou du métabolisme microbien, exercent un effet qui se traduit le plus souvent par une réduction de la densité microbienne provoquée par une éventuelle stérilisation partielle et surtout un ralentissement des activités respiratoires (inhibition des synthèses de cellulases, d'amylases,...) (Dommergues, 1971).

2.2- Le précédent cultural

2.2.1- Le précédent cultural

La mise en culture d'un sol peut bouleverser ses activités biologiques et détruit l'équilibre naturel préexistant.

Ainsi, le remplacement de la végétation spontanée par une culture modifie la quantité, la nature et la composition des débris apportés au sol ; ces derniers sont désormais des fragments des plantes herbacées, souvent pauvres en précurseurs de l'humus (lignine, tannins, phénols solubles) (Dommergues et Mangenot, 1970).

Dans ce contexte, Cloutier (2003) montra qu'un déficit en N, lors des apports de matières organiques (pailles ou de litière), peut être compensé par la microflore en puisant dans les réserves du sol qui sont généralement faibles. Les cultures suivantes manifesteront des symptômes de carence et le cycle de l'azote se trouve perturbé.

De son côté, Gautier (1987) avait noté que la succession d'une culture de pommiers à d'autre culture de pommiers, induit souvent une reprise irrégulière des plants et une réduction de vigueur par comparaison avec des pommiers implantés en sol n'ayant pas porté de pommiers.

Il y'aurait alors un phénomène d'auto-intoxication du pommier.

2.2.2- L'influence des précédents culturaux

La culture qui précède la plantation peut appauvrir le sol, laisse des résidus toxiques, ou peut conduire à des phénomènes de fatigue des sols.

A titre d'exemple, la vigne laisse en général une terre très appauvrie en matière organique, et très enrichie en potasse, ce qui provoque des blocages du magnésium et du bore. Par ailleurs, le sol de vigne se trouve intoxiqué par des résidus de cuivre lesquels inhibent la vie microbienne (Gautier, 1987).

2.2.2.1- La fatigue des sols

Les sols semblent être la cause de la baisse de productivité sans que l'on puisse clairement lui attribuer une cause d'ordre microbiologique, chimique (carences...) ou physique (semelle de labour...) on parle alors de « fatigue du sol » (Guillem, 1989 in Bouhier De L'Egluse, 1983).

Ainsi, Gautier (1987) indiquait que le phénomène est appelé « fatigue des sol » car il paraît lié au sol et non au végétal. Il faut donc exclure de la « fatigue » des sols les problèmes infectieux ou non, qui ont leur siège dans l'arbre lui-même. De même, nous ne prendrons pas en compte les difficultés de croissance ayant pour origine les défauts physiques du sol, ou les carences et déséquilibres alimentaires. Ces troubles restent en effet indépendants du problème des replantations répétées d'arbres fruitiers.

2.2.2.2- Causes de la fatigue des sols

Les causes de la fatigue spécifique sont d'ordre biologique et restent encore hypothétiques. On admet aujourd'hui que les bactéries jouent un rôle important dans la fatigue spécifique du pommier. Ces bactéries ne causent pas de lésions aux racines mais forment des substances toxiques dans le sol au voisinage des racines.

La fatigue spécifique du pommier est plus fréquente en sols lourds, à pH neutre ou alcalin (Gautier, 1987).

Guillem, 1989 in Bouhier De L'Eglise (1983) a confirmé que les tests biologiques de premier niveau appliqués sur près de 34 sols en quatre ans, montrent que la composante majoritaire de la fatigue est microbiologique, en interaction avec le facteur « déficience minérale » dans 50% des cas.

2.2.2.3- Les caractéristiques de la fatigue des sols

D'après Gautier (1987), la fatigue des sols se caractérise par les aspects suivants :

- La fatigue apparaît quand une plantation d'arbres fruitiers succède à d'autres arbres fruitiers sur une même parcelle.
- Elle se manifeste par une diminution de la croissance générale des arbres les premières années de plantation. Il n'y a pas d'autres symptômes caractéristiques que cette réduction de vigueur.
- La plante atteinte retrouve sa vigueur lorsqu'on la transplante sur un sol neuf.

La sensibilité à la fatigue des sols varie selon les espèces.

Espèces très sensibles : Pommier, cerisier, pêcher.

Espèces sensibles : Prunier, poirier

Espèces peu sensibles : Noyer, framboisier, groseillier, cassissier.

2.2.2.4- Les méthodes de lutte contre la fatigue des sols

Jusqu'à présent, deux méthodes sont proposées aux praticiens : la désinfection des sols et la plantation dans un terreau sain.

La deuxième solution est d'une application plus facile. Elle consiste à faire pousser les racines du jeune plant fruitier dans un terreau sain les trois premières années ; puisque passé ce délai les effets néfastes de la fatigue des sols s'estompent. On peut compléter ce traitement par un apport massif de fumier sur la rangée d'arbres, 60-80cm de largeur sur 10cm d'épaisseur.

Pour évaluer le degré de fatigue du sol, on réalise des tests biologiques en pot avec des semis de pommier (Gautier, 1987).

2.2.2.5- Précautions à prendre avant de replanter

Après arrachage ou dévitalisation, il est recommandé d'appliquer une dose massive de fumier : 60 à 100t/ha, de garder le sol en jachère cultivée pendant un an avant de replanter.

Derrière un verger d'arbres à noyau, il faut arracher les souches et enlever le maximum des racines. Car celles-ci en se décomposant libèrent des substances toxiques (acide cyanhydrique).

Il est possible de combiner les deux procédés, c'est-à-dire tronçonner les arbres, dévitaliser les souches puis attendre un an avant d'arracher souches et racines. Ce qui laisse un sol tout à fait propre (Gautier, 1987).

2.3- L'effet de la matière organique

2.3.1-La matière organique

Ce terme est de loin le plus largement répandu dans la littérature. Il est très général et beaucoup trop vague. Il existe la matière organique vivante (biomasse) et la matière organique morte (nécromasse). Le terme matière organique employé seul englobe la litière, l'humus au sens large et l'ensemble des micro-organismes qui y vivent.

L'effet positif de la matière organique en plein champ repose probablement sur plusieurs facteurs: la fertilisation azotée des plantes, la stimulation de l'activité microbienne du sol, ou l'activité des microorganismes du compost lui-même (Berner et al., 2004).

2.3.1.1 La litière

Les végétaux (producteurs) constituent la matière vivante, qui selon une échelle de temps variable, retourne au sol sous forme d'exsudats racinaires et foliaires ainsi que des débris (feuilles, rameaux, fruits, graines...). L'ensemble constitue la litière. Elle est essentiellement végétale en rapport avec la proportion de la masse animale que l'on y retrouve.

La litière prend aussi l'appellation de matière organique fraîche. C'est elle qui engendre l'humus. De sa qualité (teneur en nutriments, teneur en polyphénols) dépend la formation de chaînes trophiques plus ou moins complexes (Swift et al., 1979; Heal et Dighton, 1985 in Tissaux, 1996).

2.3.1.2- L'origine de la matière organique du sol

La matière organique du sol provient des débris végétaux issus de la végétation naturelle ou apportés par l'homme. Ce sont les feuilles, les racines, les bois morts, les litières diverses. Cette matière végétale morte entre en décomposition sous l'action des micro-organismes.

L'évolution est d'abord rapide puis la matière organique se stabilise, elle devient humus qui lui n'évolue que très lentement. Ainsi, à tout moment, on trouve dans le sol :

- de la matière organique fraîche non décomposée ;
- de la matière organique en voie de décomposition ;
- de l'humus stable.

En pratique, le rapport C/N permet de départager grossièrement ces catégories (Dommergues, 1971).

2.3.1.3- Dynamique et évolution de la matière organique

Mangenot (1980) et Duchaufour (1991) in Tissaux (1996) indiquaient que de la litière, une foule de micro-organismes vont, selon les chaînes trophiques, transformer ce matériel et deux processus se produisent en concomitance : la minéralisation et l'humification.

2.3.1.3.1- La minéralisation :

Elle permet le retour du carbone et des autres éléments sous forme inorganique et donc à nouveau utilisables par les végétaux.

Selon Cloutier (2003), la décomposition microbienne de la matière organique présente dans le sol libère de l'azote. Ce type de contribution peut être assez appréciable dans certains sols, notamment dans ceux présentant un taux élevé de matière organique et de bonnes conditions d'aération et de drainage.

Aussi, Vilain (1997) confirmait que 25 à 30% de l'azote total des résidus cultureux les plus riches en azote organique sont minéralisés. Le reste rejoint le stock d'azote organique des substances humifiées. Il ajoute que les verts et les collets de betteraves qui renferment 150 unités d'azote total fournissent environ 20 à 25 unités d'azote minéral.

Par contre, des résidus cultureux pauvres en azote comme les pailles immobilisent de l'azote minéral. Bien que la minéralisation des résidus ne soit pas totalement indépendante du niveau d'azote minéral du sol, en sol riche ou fertilisé, l'azote minéral des résidus est moins réorganisé.

2.3.1.3.2- L'humification.

Pour les pédologues, c'est la transformation de la matière organique libre en humus lié. Pour les biochimistes, c'est un phénomène de polycondensation oxydative conduisant à des substances brunes, présentes aussi bien dans l'humus libre que dans l'humus lié. Les phénols semblent être le matériel de base pour la synthèse de l'humus (Flaig, 1970 et Haider, 1992 in Tissaux, 1996).

D'après Vilain (1977), le niveau d'azote minéral agit sur la vitesse de décomposition des matières organiques, elle est plus grande en sol nu qu'en sol cultivé. Or, en sol cultivé, le niveau d'azote minéral est plus faible du fait des prélèvements.

2.3.2- Influence de la constitution (partie aérienne et souterraine) des substances organiques

Les racines des végétaux se décomposent plus lentement que les parties aériennes parce qu'elles sont moins riches en composés solubles et en cellulose facilement minéralisables.

La réorganisation dépend du rapport C/N. Les substances à C/N faible (rapport critique 20 à 25) favorisent l'ammonification nette et la minéralisation. L'organisation de l'azote est d'autant plus forte que les résidus en contiennent moins, mais elle peut cependant se produire pour des résidus à faible C/N si le rythme de libération d'azote est insuffisant ; la totalité libérée est alors réorganisée dans les cellules microbiennes (Vilain, 1977).

2.3.2.1- Influence de la matière organique

2.3.2.1.1- Influence de la matière organique sur la diversité microbienne

L'apport de matière organique dans le sol influencera fortement et différemment les divers microorganismes. Ceci dépend d'une part de la dose, mais aussi du type de substance apportée (Berner et al., 2004).

Selon le même auteur, de nombreuses études montrent que l'ajout de matière organique disponible dans le sol accroît l'abondance des acides gras mono-insaturés dans les profils, ceux-ci étant plutôt typiques des bactéries aérobies

2.3.2.1.2- Influence de la matière organique sur la dégradation de composés organiques toxiques

La dégradation de xénobiotiques est améliorée par le compost. L'ajout de matière organique au sol améliore souvent le taux de dégradation des pesticides et des hydrocarbures aromatiques polycycliques, en fonction du type et de la réactivité de la matière organique et de son effet sur les micro-organismes (Berner et al., 2004).

2.3.2.1.3- Influence de la matière organique sur l'environnement physique des racines :

Les substances organiques jouent ainsi un rôle essentiel dans l'édification de la structure du sol et dans le développement de toutes ses conséquences tant sur le sol lui-même que sur le végétal : perméabilité, aération, teneur en eau, prospection par les racines (Morel., 1996).

2.3.2.1.4- Influence de la matière organique sur la nutrition azotée

L'effet de la fumure organique sur la nutrition azotée dépend de la nature de l'amendement apporté. Les substances pauvres en azote (paille, fumier pailleux, écorces, compost grossier), à rapport C/N élevé, nécessitent une consommation microbienne d'une partie de l'azote minéral du sol, alors que les matières organiques à rapport C/N faible, comme les engrais verts jeunes ou les fumiers très décomposés, produisent immédiatement de l'azote minéral. Pour les amendements à rapport C/N intermédiaire, tels que le fumier mûr, l'engrais vert lignifié, il se produit sous leur effet une augmentation lente de la teneur en azote minéral du sol. Cet azote ne représente toutefois qu'une partie de l'azote total de l'amendement organique (Bertschinger et al., 2004).

2.3.2.2- Influence de différents types de matière organique sur l'évolution de l'azote dans le sol

2.3. 2.2.1- Le fumier de ferme

Selon Gonde et al. (1968), les engrais de ferme constituent à la fois des amendements et des engrais complets. En effet, les valeurs amendantes, basiques et surtout organiques des engrais de ferme, longtemps négligées, doivent être mieux prises en compte pour préserver la fertilité des sols et réduire les risques de pollution. Ainsi, des apports réguliers de fumiers ou de composts de fumier peuvent modifier sensiblement le taux de matières organiques des sols en une dizaine d'années.

Les engrais de ferme sont des engrais complets. Ils le sont aussi, grâce à la matière organique, pour la fertilité physique, chimique et biologique des sols .les niveaux de production le prouvent, même si les mesures objectives de l'activité biologique des sols ne sont pas encore standardisées. Les engrais de ferme constituent, en effet,un mélange complexe plus performant que les minéraux seuls.

Selon les mêmes auteurs les fumiers sont le résultat du mélange des déjections animales avec une litière (paille, copeaux ou sciure) ayant subi des fermentations plus ou moins avancées à l'étable et en tas. Quelle que soit leur consistance, ces produits ont une double valeur agronomique en tant que fertilisants azotés, phosphorés ..., et aussi comme amendements organiques et basique, notamment en présence de litière. En effet, selon le type d'animal, 60 à 80% de l'azote et du phosphore ingérés et 70 à 90% du potassium se retrouvent dans les déjections.

S'y ajoute un support absorbant riche en carbone, la paille le plus souvent (elle-même très riche en potassium).

Un critère distinctif : le rapport C / N

Du point de la réglementation, les engrais de ferme ne se distinguent pas par leur consistance liquide ou solide, mais par le rapport C / N (carbone sur azote). Selon que celui-ci est inférieur ou supérieur à 8, les périodes d'épandage autorisées seront différentes. Ceux issus de l'aviculture, solides ou pâteux ont généralement un rapport C / N faible, y compris en présence de litière. Pour les porcins, ce rapport est inférieur à 8 pour les fumiers. En ce qui concerne les bovins, les produits liquides et solides ont un rapport C/ N supérieur (Gonde et al., 1968).

Tableau n°01 : Composition du fumier des différents animaux (kg/tonne de produit)

Fumier d'ovins et de caprins	M. S	M.O	N	P2O5	K 2O
Fumier d'ovins	300	2 30	6,7	4	12
Fumier de caprins	450	360	6,1	5,2	7
Composts de fumiers d'ovins	360	260	11,5	7	23

(Gonde et al., 1968).

2.3.2.2.2- Les engrais verts

Les engrais verts sont des végétaux cultivés pour fournir de l'humus aux sols qui les portent.

Parmi ces cultures vertes, les crucifères, les graminées (orge, blé) et les légumineuses sont les plus utilisées à cause de leur richesse en azote (puisent l'azote de l'air), la vitesse de leur croissance, la masse de matière produite, la répartition entre les fractions aériennes et souterraines, ainsi que le coup d'installation qui diffère d'une culture à une autre.

La quantité de matière végétale produite dépend de l'espèce, des conditions climatiques, de la fumure et de la durée de végétation (Vilain, 1989).

En effet, l'incorporation de la biomasse végétale au sol comme engrais vert s'accompagne d'une augmentation du taux d'azote minéral du sol et la remise à la disposition de la culture suivante d'une partie de l'azote préalablement immobilisé et ce malgré un tissu végétal facilement biodégradable et minéralisable (Chotts, 1986).

Des résultats, ainsi obtenus par Grafín (1970) lors de l'enfouissement du ray grass comme engrais vert, indiquent une décomposition importante de l'azote et du carbone dès le début de la fermentation, et une activité initiale intense dans les premières semaines; elle sera suivie d'une activité finale faible due principalement à la fixation stable des produits organiques à la fraction minérale.

Chapitre III

L'azote dans le sol et la plante

3.1- L'azote dans le sol

3.1.1- Importance de l'azote dans le sol

L'azote est présent dans le sol sous trois formes: élémentaire, organique et minérale et dans les trois phases: gazeuse, solide et liquide (Gate et Hebard, 1997).

Les sols renferment de 1 à 2% d'azote total, 4 à 8 t par hectare. 98 à 99 % se trouvent sous forme organique : protéines (30 à 50 %), acides nucléiques (3 à 10 %), aminosucres (5 à 10 %) et autres substances plus complexes. Les premières substances sont facilement biodégradables, les autres sont plus résistantes aux actions microbiennes dans le sol.

La biomasse microbienne renferme 7% d'azote environ, soit 5 % de l'azote total du sol mais c'est une masse en continuelle évolution (Huguet, 1987).

L'azote joue un rôle primordial dans le métabolisme des plantes. En effet, c'est le constituant numéro un des protéines qui sont les composés fondamentaux de la matière vivante (Skiredj, 2000). Il est aussi un des principaux facteurs limitants de la production végétale (Davet, 1996).

Selon Vilain (1977), l'azote est l'un des tous premiers facteurs de production. Il a une très grande incidence sur les rendements et parfois modifie la qualité. Il accroît la surface foliaire et augmente l'évapotranspiration. Son effet est bénéfique si la locomotion de l'eau par le végétal n'est pas limitée.

D'après le même auteur, l'insuffisance d'azote entraîne une carence. La croissance des feuilles est réduite ; leur coloration est plus claire, l'interception du rayonnement solaire diminue et par conséquent la photosynthèse aussi.

Les végétaux prennent un port dressé, les bourgeons se développent mal ou n'évoluent pas. Cependant un excès d'azote dans le sol provoque un développement végétatif intense (Diehl, 1978).

3.2- Comportement de l'azote dans le sol

Les constituants organiques facilement dégradables sont minéralisés en donnant des ions ammonium NH_4^+ transformés lors de la nitrification en ions nitreux NO_2^- puis nitriques NO_3^- . Ces trois ions constituent l'azote minéral. Les ions ammonium sont soit absorbés sur le complexe, à l'état échangeable ou rétrogradé, soit, pour une faible quantité, dissous dans la solution du sol. Les ions nitreux sont très peu nombreux et les ions nitriques sont totalement dissous. La quantité d'azote minéralisé par an varie de 30 à 300 Kg à l'hectare (Huguet, 1978).

La nutrition azotée des plantes s'effectue quasi exclusivement à partir de la forme minérale, essentiellement nitrique. Le niveau de la production est très influencé par la quantité d'azote minéral disponible.

Dans la biosphère, l'azote subit diverses transformations où interviennent des mécanismes microbiens, physiologiques et physico-chimiques (Morot-Gaudry, 1997).

3.2.1- Formes de l'azote dans le sol

Les réserves azotées du sol se trouvent à l'état organique sous forme d'humus qui contient environ 5% d'azote (Duchaufour, 1977).

D'autres formes d'azote inorganique peuvent apparaître à un moment ou un autre lors des processus microbiens de transformation de l'azote dans le sol, à savoir la nitrification, la dénitrification et la fixation de l'azote dans le sol, etc... (Dommergues et Mangenot, 1970).

3.2.1.1- La nitrification

Dans le sol, l'azote assimilable se trouve sous forme d'ammonium (NH_4^+) et de nitrate (NO_3^-).

L'ammonium libéré et retenu, de manière réversible, par les particules d'argile du sol, chargées négativement. Le NH_4^+ est ensuite, soit absorbé par les plantes et les micro-organismes, soit oxydé en nitrate par les bactéries du sol, Nitrosomonas et Nitrobacter. Ce processus qui se déroule en aérobie est dénommé nitrification (Guyot, Zerulla et Knittel, 1990).

3.2.1.2- La dénitrification

La bactérie du genre Nitrosomonas convertit NH_4^+ en nitrite NO_2^- et le genre Nitrobacter transforme le NO_2^- en nitrate NO_3^- . Ce processus est très ralenti à basse température et dans les sols acides ($\text{pH} < 5$).

Les ions nitrates chargés négativement, ne sont pas retenus par les particules du sol de même charge. Très soluble, les nitrates peuvent être entraînés par lessivage. Ils peuvent aussi être réduits en partie en oxyde d'azote et azote gazeux par les micro-organismes. C'est le phénomène de dénitrification (Lewis, 1986 in Morot-Gaudy, 1997).

3.2.2- Cycle de l'azote

Comme tous les autres éléments, l'azote participe dans le sol à un cycle biologique et évolue, suivant les conditions du milieu, de la forme organique à la forme minérale ou inversement (Huguet, 1978).

La transformation par les micro-organismes de l'azote, organique du sol en formes azotées minérales est appelée minéralisation. Les composés organiques azotés dégradés sont utilisés comme source d'énergie et de carbone, et l'azote, non utilisé par les micro-organismes, est libéré généralement sous forme d'ammonium NH_4^+ .

La libération de l'azote dans le sol dépend du rapport C/N des résidus organiques et des conditions climatiques, température notamment. Un rapport C/N supérieur à 30 ne permet pas une libération active d'azote, alors qu'un rapport C/N inférieur à 20 est favorable à une libération efficace et précoce d'azote assimilable.

La transformation de l'azote en l'une ou l'autre de ces formes constitue un système complexe entre sol/atmosphère, appelé « le cycle de l'azote » (Lewis, 1986 in Morot-Gaudy, 1997).

3.3- Dynamique de l'azote dans le sol

3.3.1- La minéralisation

Selon Pochon et Debarjac (1958), la minéralisation est l'ensemble des transformations que subit la matière organique fraîche sous l'action des micro-organismes du sol.

Cette dégradation représente deux étapes biologiques :

3.3.1.1- L'ammonification

L'azote organique est minéralisé dans le sol, et le premier terme de ces réactions de minéralisation est l'ammoniac (NH_4^+), processus biologique auquel coopèrent bactéries, actinomycètes et champignons du sol.

3.3.1.2- La nitrification

La nitrification représente la transformation des composés ammoniacaux en nitrite et en nitrate par les micro-organismes.

C'est sous cette forme que l'azote est préférentiellement utilisé par la majorité des végétaux supérieurs, sous cette forme également qu'il est soumis à des processus qui aboutissent à une perte souvent importante pour le sol : entraînement par l'eau et lixiviation d'une part et dénitrification d'autre part.

3.4- Facteurs écologiques influençant la minéralisation dans le sol

D'après Dommergues et Mangenot (1970), parmi les facteurs régissant le processus global de la minéralisation dans le sol :

3.4.1- La matière organique incorporée au sol : le rapport C/N

Pour prévoir l'importance de l'immobilisation nette (ou inversement de la minéralisation nette) dans le sol lors de l'incorporation spontanée ou non d'un substrat organique, on a habituellement recours au critère du rapport C/N (carbone total/azote total). On admet en général que le rapport C/N critique au-dessous duquel la minéralisation nette apparaît est compris entre 20 et 25.

Ainsi, l'adjonction au sol d'un substrat à C/N faible (protéine, par exemple) favorise considérablement la minéralisation brute par rapport à l'immobilisation brute de sorte que le sol s'enrichit en azote minéral (azote ammoniacal et éventuellement nitrique, si le milieu est favorable à la nitrification) : un substrat à C/N faible favorise donc la minéralisation nette. Inversement, un substrat à C/N élevé (paille, par exemple) favorise l'immobilisation nette.

3.4.2- L'azote minéral

L'application au sol d'azote minéral stimule souvent fortement la minéralisation nette de l'azote organique du sol.

3.4.3- Le pH

L'ammonification est beaucoup moins sensible au pH que la nitrification ; la différence s'explique fort bien encore par le fait que la microflore ammonifiante est composée de micro-organismes dont les exigences vis-à-vis du pH couvrent, dans leur ensemble, une gamme très étendue.

3.4.4- L'humidité et l'aération

La microflore ammonifiante est composée d'éléments aérobies et anaérobies de sorte que l'ammonification du sol apparaît aussi bien dans les sols peu ou pas aérés que dans des sols bien aérés.

3.4.5- La température

Comme l'éventail thermique de la nitrification est plus resserré que celui de l'ammonification, la minéralisation aboutit à l'accumulation d'azote ammoniacal lorsque le sol se trouve soit à une température faible (inférieure à 5°C), soit à une température élevée (supérieure à 35 ou 40°C).

3.5- L'azote dans la plante

3.5.1- Formes assimilables d'azote

Les plantes absorbent principalement l'azote du sol sous la forme d'ions minéraux nitrates (NO_3^-) ou ammonium (NH_4^+). En effet, les racines peuvent absorber de petites molécules aminées (acides aminés, urée), mais cela ne représente qu'une faible part de la nutrition azotée.

Selon la forme d'azote présent dans le sol, la plante sera en situation de nutrition nitrique, ammoniacale ou mixte si les deux formes coexistent (Chaillou et Lamaze , 1997).

La proportion de nitrate et d'ammonium absorbée varie suivant les espèces et les conditions d'environnement. Quoique il en soit, une grande partie de nitrate absorbé devra être réduit en ammonium dans les racines et/ou dans les feuilles, pour entrer dans les voies de synthèse des acides aminés et des protéines. Le prélèvement de l'azote du sol par les plantes dépend en partie de la disponibilité en composés azotés, mais et surtout déterminée par les besoins en azote de la plante (Morot-Gaudy, 1997).

Une grande part de l'azote, mais bien utilisé par les plantes, y est sous forme ammoniacale (Houot et al., 1990).

Cependant, quelle que soit la forme et l'origine de l'azote, il évolue naturellement sous l'action des micro-organismes des sols vers la forme nitrate qui n'est pas retenue par le complexe absorbant mais suit la migration de l'eau en profondeur. C'est sous cette forme nitrate que l'azote est absorbé préférentiellement par les arbres fruitiers (Huguet, 1978).

3.5.2- Nutrition azotée et physiologie de la plante

Chez les végétaux les processus d'assimilation de l'azote sont intimement associés aux processus de respiration et de photosynthèse, générateurs d'énergie (ATP), de pouvoir réducteur (NADH, NADPH) et des squelettes carbonés accepteurs d'ammonium (Ferrario et al., 1987).

3.5.2.1- Nutrition azotée et respiration :

Werger et Turpin (1989) in Ferrario et al (1987) ont observé que chez des algues vertes unicellulaires (*Selenastrum minutum*) privées ou limitées en azote, l'apport de NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ augmente l'activité respiratoire. La respiration est connue pour fournir l'énergie (pouvoir réducteur NADH et NADPH) et les squelettes carbonés nécessaires à l'assimilation de l'azote.

En conséquence, en anoxie l'assimilation de l'azote est diminuée fortement, Les mêmes observations ont été faites sur les racines et les feuilles d'orge.

La stimulation de l'activité respiratoire chez les algues unicellulaires vertes est plus importante en présence de NO_3^- qu'en présence de NH_4^+ ; cette dernière molécule étant moins oxydée que la précédente.

La valeur du quotient respiratoire CO_2/O_2 , est plus élevée lors de l'assimilation de NO_3^- que lors de l'assimilation de NH_4^+ . Ces résultats signifient que la réduction de NO_3^- en NH_4^+ consomme plus de pouvoir réducteur que l'assimilation de NH_4^+ .

3.5.2.2- Nutrition azotée et photosynthèse

La capacité photosynthétique des feuilles est fortement dépendante de la nutrition azotée. Chez les plantes supérieures 75% environ de l'azote foliaire sont stockés dans la machinerie photosynthétique (Morot-Gaudry, 1987).

Ainsi Field et Mooney, 1986 in Gaudillere (1987) ont précisé que la contribution du compartiment foliaire dans la gestion de l'azote dans une plante suppose une interaction directe entre la nutrition azotée et carbonée. L'activité photosynthétique des feuilles est très fortement corrélée à leur teneur en azote.

Ainsi, le développement du feuillage utilise une grande proportion de l'azote assimilé et contribue directement à la nutrition carbonée par induction de l'activité photosynthétique.

Il est constaté très généralement, que le niveau de nutrition azotée modifie l'allocation du carbone dans la plante entre parties aériennes et racinaires.

D'après Robinson (1988) in Ferrario et al. (1987), l'activité photosynthétique est surtout dépendante de la teneur en azote des limbes foliaires à éclairage saturant. Il est admis, en général qu'une bonne alimentation azotée sous fort éclairage favorise le fonctionnement de la photosynthèse et en conséquence la croissance des plantes.

3.5.2.3- Nutrition azotée et croissance des plantes

D'après Gastal et Lemaire (1987), la distribution des photoassimilats entre organes aériens et racinaires varie notablement selon le niveau de nutrition azotée. Sur des plantes cultivées en conditions artificielles, il a souvent été noté une diminution de la proportion d'assimilats alloués aux racines par rapport aux assimilats alloués aux organes aériens, avec l'augmentation de la disponibilité en N dans le substrat de culture.

Aussi, la masse surfacique des limbes est également dépendante du niveau de disponibilité en N. La distribution des assimilats au sein du système racinaire peut également être affectée.

Ainsi, l'azote peut favoriser la ramification racinaire et accélérer la croissance des racines secondaires, et dans le même temps ralentir la croissance des racines principales.

Il apparaît que la nutrition azotée affecte largement l'activité de division cellulaire, mais en revanche elle ne modifie que peu relativement la vitesse d'allongement des cellules. Ainsi, il est possible de montrer que l'effet de N sur la croissance foliaire, qui est généralement massif, est essentiellement déterminé par son rôle sur la production de cellules.

3.5.3- Nutrition nitrique des plantes

3.5.3.1- Assimilation des nitrates (NO_3^-)

Le nitrate, forme prédominante de l'azote minéral dans les sols cultivés, est utilisé par les plantes. Cette source azotée contribue au bilan protéique de la plante. L'assimilation du nitrate par la plante est assurée par une chaîne de réactions enzymatiques qui aboutit à la formation de la glutamine et du glutamate. Ces deux acides aminés vont fournir l'azote à la totalité des acides aminés nécessaires à la synthèse protéique (Bryan, 1976 ; Mifflin, 1980 in Robin et Salsac, 1987).

3.5.3.2- Voie d'assimilation de nitrates chez les plantes supérieures

Les nitrates sont absorbés par les racines grâce à des systèmes de transport à haute et basse affinité. Les nitrates sont ensuite soit stockés dans la vacuole soit en partie réduits sur place, soit transportés dans le xylème vers les parties aériennes où il sera stocké dans la vacuole ou réduit (Morot-Gaudry, 1997).

En revanche, l'assimilation des nitrates est souvent majoritairement racinaire chez les ligneux. Toutefois, la réduction des nitrates en acides aminés est dépendante d'autres métabolismes, tels la respiration et la photosynthèse (Faure et al., 1997).

Par ailleurs, la compétition entre respiration et réduction du nitrate pour l'utilisation du cofacteur (NADH) conduit donc à envisager que ce dernier soit le facteur limitant de la réduction du nitrate. Il existe une situation similaire dans les racines où les enzymes de l'assimilation de l'azote minéral sont présentes. Dans cet organe, le pouvoir réducteur est tributaire de la fourniture de chaînes carbonées par les organes photosynthétiques. Dans ces conditions, l'ARN ainsi obtenue serait en fait une mesure de la vitesse d'oxydation d'un substrat carboné ; or en anoxie les voies métaboliques qui génèrent le NADH sont favorisées et la respiration est bloquée. Le fonctionnement de la nitrate réductase est donc tributaire de la disponibilité du nitrate (Robin et Salsac, 1987).

Le chevelu racinaire est abondant et l'activité nitrate réductase y est grande (Deroche et Babalar, 1987).

Les nitrates interviennent chez les plantes de façon déterminante dans l'assimilation du carbone et la distribution des photoassimilats entre les organes aériens et les organes souterrains.

Il a été montré aussi bien chez des plantes élevées sur milieu artificiel que chez des plantes cultivées au champ que le rapport des quantités de matière sèche, feuille/racine est modulé par le NO_3^- . L'allocation de photoassimilats aux racines augmente quand la disponibilité en nitrate s'accroît, les photoassimilats sont préférentiellement utilisés dans les parties feuillées (Limami et Amaziane, 1987).

3.5.3.3- Action du nitrate sur la physiologie de la plante

3.5.3.3.1- Action du nitrate sur la croissance et l'expansion foliaire

Selon Tolley-Henry et Raper, 1986 in Limami et Amziane (1987), les nitrates interviennent dans la compétition entre ces deux types de puits essentiellement en régulant l'expansion foliaire fortement consommatrice d'énergie et de carbone. En effet, l'appel de photassimilats s'accroît dans les parties aériennes en croissance des plantes cultivées sous azote suffisant. Les photassimilats sont d'une part utilisés pour la fabrication de nouvelles structures, d'autre part, ils sont consommés par la respiration pour faire face aux besoins accrus en énergie dus à la croissance et à l'entretien des tissus. A l'inverse, la carence en azote, dans la mesure où elle entraîne une réduction de la surface foliaire avant une réduction de l'activité photosynthétique par unité de surface, rend les photoassimilats plus disponibles pour l'élaboration des racines et des organes de réserves.

Ainsi, les plantes de soja transférées d'un milieu riche à un milieu pauvre en nitrate, montrent un très fort ralentissement de la croissance des jeunes feuilles et un blocage de la croissance des bourgeons. En fournissant à nouveau du nitrate à ces mêmes plantes, la croissance des jeunes feuilles et des bourgeons reprend normalement.

Les mêmes auteurs dans une expérience similaire ont montré que la teneur en glucides solubles des racines augmente suite au transfert des plantes de milieu riche à milieu pauvre en nitrate. Cette teneur en glucides solubles diminue lorsque ces mêmes plantes sont remises sur un milieu riche en nitrate.

Chez les plantes carencées en nitrate, il est observé une baisse de la conductivité hydraulique des tissus. Les cellules des jeunes feuilles en croissance souffrent d'un déficit hydrique, et la baisse de pression de turgescence qui en découle empêche la multiplication et l'allongement cellulaire. Par ailleurs, il est aussi bien connu que le manque d'azote affecte la synthèse des protéines et des acides nucléiques nécessaires à la multiplication cellulaire. Egalement chez le tournesol, Steer et Hocking (1983) in Limami et Amziane (1987) ont rapporté que le stress occasionné par le manque de nitrate entraîne une réponse similaire à celle d'un stress hydrique. Le nombre de feuilles et la surface

foliaire sont réduits chez les plantes limités en nitrate; ces effets ne sont pas dus à un raccourcissement de la période de végétation mais à un ralentissement de la vitesse d'émission et d'expansion des feuilles.

Dans une autre étude, la chicorée a été utilisée pour caractériser l'impact du niveau de nutrition azotée sur le transport du carbone assimilé sans que toutefois la photosynthèse par unité de surface ne soit altérée par la carence en azote. Les plantes de chicorée alimentées par une solution nutritive à forte teneur en azote exportent plus précocement une plus grande proportion du carbone nouvellement assimilé vers les jeunes feuilles que les plantes carencées en azote. Inversement une plus grande proportion du carbone nouvellement fixé est retrouvée dans les racines chez les plantes limitées en azote. Ces différences dans l'allocation du carbone se répercutent sur la croissance relative des organes aériens et souterrains; le rapport de matière sèche feuille/racine est 3 fois plus élevé chez les plantes non carencées que chez les plantes carencées en azote. Par ailleurs chez les plantes non carencées en azote, la consommation de carbone par respiration, quantifiée par perte de ^{13}C après marquage des plantes par $^{13}\text{CO}_2$ est 2 fois plus élevée que chez des plantes cultivées sous faible teneur en nitrate. Ce résultat confirme que l'expansion foliaire, stimulée par le nitrate, est fortement consommatrice d'énergie et contribue en définitive à détourner le flux de carbone vers les feuilles en croissance aux dépens de la croissance racinaire ou du stockage dans les organes souterrains.

Cet effet de l'azote sur la répartition de la matière sèche, via le contrôle des flux de carbone entre les différents organes de la plante, semble être général (Limami et Amaziane, 1987).

3.5.3.3.2- Action des nitrates sur la croissance et la mise en réserve racinaires

Les nitrates ont une action sur la croissance foliaire avec comme conséquence des effets sur la disponibilité en molécules carbonées réduites pour la croissance racinaire et surtout la mise en réserve de carbone dans les organes souterrains.

Chez les plantes jeunes de chicorée, les racines achèvent leur phase de multiplication cellulaire et cela est dû à la baisse de la disponibilité en nitrate qui s'accompagne d'une baisse de la croissance de la plante corrélée à une baisse de la fixation photosynthétique de carbone.

Le rapport C total feuille/C total racine est 2 fois plus élevé chez les plantes non carencées que chez les plantes carencées en nitrate.

La mesure de l'entrée de ^{13}C , en cette phase d'accumulation de réserve, montre que la diminution de l'apport de nitrate entraîne une diminution de 36% de la fixation photosynthétique de carbone.

Le nitrate est connu pour réguler également la phosphorylation et donc l'activité de la PEP_{case} , SPS et NR, enzymes qui contrôlent la répartition du carbone photosynthétique entre la synthèse du saccharose et des acides aminés (Limami et Amaziane, 1987).

3.5.3.3- Action du nitrate sur l'absorption et le transport d'eau

Parmi les facteurs qui influencent l'absorption et le transport de l'eau chez les végétaux on trouve la nutrition azotée.

Les nitrates favorisent l'absorption d'eau par les végétaux (Limami, 1987).

3.5.3.4- Contrôle de l'absorption de NO_3^- par des signaux issus des parties aériennes

3.5.3.4.1- Signalisation feuille/racine et régulation

Il peut s'agir des signaux de carence, émis par les feuilles lorsque l'azote devient limitant pour la croissance et dont la fonction serait de stimuler l'activité des systèmes racinaires chargés de prélever NO_3^- (Touraine et Gojon, 1987).

3.5.3.4.2- Contrôle hormonal

Selon Touraine et Gojon (1987), les expériences de carence ont démontré que l'absorption de NO_3^- est contrôlée par le statut nutritionnel. Or, on sait qu'il existe des réponses hormonales aux stress nutritionnels. Ainsi, la carence en NO_3^- provoque une augmentation de la synthèse d'acide abscissique (ABA), ou de son transport xylémique des racines vers les parties aériennes et une diminution de la synthèse des cytokinines. Cette variation du rapport [ABA]/ [cytokinines] dans la sève xylémique est corrélée avec une diminution marquée de la transpiration et de la conductivité hydraulique des racines. Cependant, la spécificité de l'effet des carences vis-à-vis de l'ion considéré rend peu vraisemblable l'hypothèse d'un contrôle hormonal des systèmes d'absorption. Celui-ci nécessiterait qu'une hormone différente soit affectée au contrôle de l'absorption de chaque ion, ce qui est irréaliste compte tenu du très petit nombre d'hormones végétales connues.

Les mêmes auteurs ont indiqué que les hormones en affectant la croissance et/ou le développement de la plante, peuvent modifier l'absorption de NO_3^- .

Elles seraient donc impliquées dans une réponse générale au stress, hypothèse renforcée par la similitude entre ces réponses aux stress nutritionnels et les réponses au stress hydrique. Comme l'on sait que l'ABA a un effet négatif sur l'augmentation de taille des cellules foliaires et que les cytokinines ont un effet antagoniste à l'ABA, cette régulation hormonale expliquerait les adaptations morphologiques observées après quelques jours de carence en NO_3^- (augmentation du rapport racines/feuilles). Ainsi, l'ABA coordonnerait le développement des parties aériennes et des racines en allouant davantage de carbone aux racines, ce qui augmente la surface d'absorption. Cependant, les hormones ne semblent pas directement impliquées dans l'ajustement des systèmes de transport d'ion aux besoins de la plante, comme le montre l'absence de stimulation de l'absorption de NO_3^- par la fourniture d'ABA.

3.5.4- Nutrition ammoniacale des plantes

La plante absorbe jusqu'à deux fois plus d'ammonium que de nitrate (Vessey et al., 1990 et Chaillou et al., 1994 in Chaillou et Lamaze, 1997).

Contrairement au nitrate, l'ammonium est principalement assimilé dans les racines. Il est à remarquer que l'absorption de l'ammonium peut entraîner une acidification du milieu racinaire et des perturbations de la croissance et de la physiologie des plantes (syndrome ammoniacal).

La réduction du nitrate en ammonium est catalysée par deux enzymes, la nitrate réductase et la nitrite réductase. L'ammonium, soit issu de cette réduction, soit absorbé directement par les racines, est intégré aux molécules organiques pour donner la glutamine et la glutamate. Ces deux réactions sont catalysées par la glutamine synthétase et le glutamate synthétase.

L'énergie nécessaire au déroulement de ces réactions sont fournis par la photosynthèse, la respiration et le cycle d'oxydation des pentoses (Morot-Gaudy, 1997).

3.5.4.1- Sources d'ammonium pour la plante

L'ammonium peut être directement assimilé par les racines des végétaux.

La réduction des nitrates constitue la voie prépondérante de l'assimilation de l'azote minéral, pour des plantes ne contractant pas de symbiose fixatrice d'azote.

La réduction des nitrates fait intervenir deux enzymes, la nitrate réductase et la nitrite réductase.

Elle conduit à la formation d'ammonium dans les feuilles et/ou dans les racines.

L'azote stocké sous forme protéique dans des organes de réserve (cotylédons) ou dans les feuilles adultes peut être remobilisé au cours du développement de la plante. Les protéines sont hydrolysées en acides aminés qui peuvent être transportés directement, trans- ou dés-aminés produisant ainsi d'importantes quantités d'ammonium à réassimiler (Brugiere et al., 1987).

3.5.4.2- Nutrition ammoniacale et physiologie de la plante

L'ammonium, forme potentiellement économique d'azote pour la plante, peut affecter la physiologie du végétal (Chaillou et Lamaze , 1997).

D'après le même auteur, l'étude de plantes carencées en azote a montrée que :

Le nitrate migre en effet rapidement vers la partie aérienne où le retour de l'azote permet de rétablir l'activité photosynthétique qui aurait chuté fortement durant la période de carence.

Les nitrates migrant jusque dans les parties aériennes où ils facilitent la reprise de la photosynthèse et donc la fourniture des glucides aux racines. C'est donc la présence du nitrate au niveau des racines qui a facilité l'absorption de l'ammonium au cours de la phase de réalimentation.

3.5.5- Répercussions de la carence en azote

Une alimentation limitée en nitrate dans le milieu de culture favorise l'allocation du carbone des feuilles aux racines. A l'inverse, l'excès d'azote favorise la croissance végétative de la partie feuilletée. Différentes hypothèses sont avancées pour expliquer comment les nitrates peuvent-ils modifier l'orientation des flux de carbone (Limami et Amaziane, 1987).

Selon Grima-Pettenati et al. (1987), la privation d'azote provoque différents phénomènes :

- La diminution du volume et de la vitesse des échanges entre organes. Par ailleurs, les racines constituent des organes receveurs privilégiés au détriment de la partie aérienne.
- La protéolyse foliaire concomitante de la sénescence foliaire se déclenche plus précocement. La Ribulose 1,5 bisphosphate carboxylase, qui représente 60% des protéines solubles à la floraison, est dégradée de façon préférentielle
- Les perturbations observées dans le déroulement de la photosynthèse et de la respiration provoquent sans doute une baisse de la biosynthèse d'ATP, préjudiciable aux transferts actif de composés organiques.
- La diminution des capacités photosynthétiques du limbe foliaire, baisse des teneurs en chlorophylles et de l'activité de la Ribulose bisphosphate carboxylase, une augmentation de la résistance stomatique, une désorganisation partielle des grana.
- Une forte augmentation du transfert des assimilats vers les racines ; bien que ce phénomène s'atténue avec l'âge du végétal.
- Une baisse de 54% des teneurs en protéines et de 71% des teneurs en Rubisco : la dégradation de ce bicatalyseur au niveau de l'ensemble des macromolécules azotées.

Selon Houot et al (1990), l'activité de la biomasse microbienne conditionne la fourniture du sol en azote, La diminution au champ de la biomasse microbienne dans un sol tassé est liée à la réduction de la masse racinaire et à la disponibilité en azote.

3.6- Les plantes pérennes et l'azote

L'azote est un élément essentiel pour la croissance des plantes, mais peu disponible malgré son abondance dans l'atmosphère. De ce fait, les plantes pérennes et les plantes annuelles ont mis en place des mécanismes permettant, au cours de leur croissance et développement, le stockage et la mobilisation d'une partie de l'azote préalablement absorbé.

Sa redistribution entre les différents organes est essentielle lorsque les facteurs internes ou externes induisent une baisse de sa disponibilité, de son absorption, et ou de son assimilation.

Les mécanismes physiologiques et biochimiques sont très proches. Ils sont liés à de profondes modifications des relations source/puits et ils impliquent à la fois les métabolismes de N et du C (Cliquet et al., 1987).

3.6.1- Gestion de l'azote chez les espèces ligneuses

La productivité de nombreuses espèces est limitée par la disponibilité en azote. C'est le cas en particulier des productions de bois ou de fruits par les espèces ligneuses.

La gestion de l'azote par les arbres justifie une étude particulière car ces plantes présentent deux caractéristiques qui les distinguent des espèces herbacées cultivées. D'une part, leur caractère d'espèce pérenne implique la mise en œuvre d'une gestion saisonnière de l'azote.

Des réserves en particulier azotées sont accumulées dans les organes végétatifs pour assurer la fourniture d'azote au moment de la reprise de croissance printanière (Gaudillere, 1987).

3.6.2- Cycle interne de l'azote chez les espèces pérennes

D'après Gaudillere (1987), les espèces pérennes sont caractérisées par une croissance cyclique annuelle ou pluriannuelle :

Au printemps, la croissance rapide des feuilles et des fruits crée une forte demande en substrat carbonés ou minéraux, L'azote doit être fourni rapidement et de ce fait, il est noté une remobilisation de l'azote stocké concurremment ou non à une absorption racinaire d'azote minéral.

Cependant, les feuilles constituent le compartiment majeur d'accumulation de l'azote pendant la période de végétation.

Ainsi, le développement foliaire crée donc une très forte demande en azote. Cependant, l'accumulation des composés azotés de réserve dans les tiges est observée très rapidement après le débourrement alors que le feuillage est encore un puits très actif pour l'azote. La sollicitation des réserves azotées hivernales est donc très transitoire. Mais la constitution des réserves se poursuit régulièrement pendant toute la saison de végétation avec une accélération du processus au moment de la remobilisation de l'azote des feuilles sénescents.

En automne, l'azote foliaire des arbres à feuilles caduques est recyclé vers les réserves végétatives. Il est principalement issu de la protéolyse de la 'Rubisco' qui représente 85% de l'azote foliaire remobilisé chez le pommier.

Ainsi, ce recyclage de l'azote foliaire vers les parties pérennes de la plante, avant la chute des feuilles, affecte la quasi-totalité du pool. Cependant, le niveau de nutrition azotée a peu d'influence sur cette activité de recyclage qui apparaît donc comme un processus constitutif. Une grande efficacité de la remobilisation de l'azote semble être une caractéristique des espèces ligneuses.

De leur côté, Chapin et Kedrowski (1983) cité par Gaudillere (1987) avaient montré, sur un échantillon de 46 espèces ligneuses, une corrélation positive entre leur teneur en azote et une remobilisation élevée. Plus les feuilles sont riches en azote, plus la remobilisation est efficace.

Ces chercheurs rapportent que l'aptitude au recyclage de l'azote n'est pas une adaptation à une faible nutrition azotée, mais elle est une caractéristique propre aux espèces ligneuses. L'azote foliaire est remobilisé de façon permanente pendant la saison de végétation et contribue à la nutrition azotée des organes en croissance.

Les feuilles en croissance d'un pêcher utilisent 1/3 d'azote recyclé et 2/3 d'azote nouvellement absorbé.

3.6.3- Transport de l'azote chez les espèces ligneuses

Les espèces herbacées assimilent généralement l'essentiel de leur azote dans les parties aériennes. Cependant, chez beaucoup d'espèces ligneuses, la sève xylémienne transporte peu de nitrates et l'assimilation de l'azote est réalisée préférentiellement dans les racines. C'est le cas chez les résineux comme *Pinus nigra* et les feuillus comme les pommier ou le pêcher.

Ainsi, l'azote assimilé dans les racines est distribué dans la plante par la sève xylémienne principalement sous forme d'amides (asparagine et/ou glutamine) (Gaudillere, 1987).

3.7- Les interactions entre le système racinaire et les parties aériennes

Le système racinaire et les parties aériennes d'un arbre entretiennent d'importantes interactions. Ces relations sont d'abord d'ordre nutritionnel, les racines assurent la nutrition minérale, en particulier la nutrition azotée, le système foliaire réalise la synthèse des substances carbonées. Inversement, les racines fournissent aux bourgeons des facteurs de croissance, notamment des gibberellines et des cytokinines (Gautier, 1987).

3.7.1-Le développement du système racinaire chez le pommier

Les racines sont des organes souterrains qui assurent deux fonctions : la fixation de l'arbre et l'absorption de l'eau et des éléments minéraux contenus dans le sol. D'une manière générale, ce sont les jeunes racines non subérisées de moins de quatre semaines, qui absorbent l'eau et les sels minéraux (Gautier, 1987).

3.7.1.1- La répartition des racines du pommier

Tableau n° 02 : Répartition verticale des racines de pommier

Profondeur en cm	% poids total des racines		% en poids des racines de diamètre inférieur à 1 mm	
0-17	8		12	
17-34	39	66	18	39
34-50	19		9	
50-100	21	34	39	61
100-150	13		22	

(D'après Rogers in Gautier, 1987).

3.7.1.2- La croissance et le fonctionnement des racines du pommier

a- Le rythme de croissance

Il n'existe pas à proprement parler de repos végétatif pour les racines des ligneux. Elles poussent toute l'année si les températures et l'humidité sont suffisantes. La période de croissance possible est plus longue pour les racines que pour les parties aériennes. Cette période commence dès le début de printemps et se prolonge jusqu'en automne. Mais la vitesse d'élongation des racines est très variable : 3mm par jour chez le pommier greffé sur M5, M9, M16, et 25mm par semaine (Gautier, 1987).

b- Les facteurs influant la croissance des racines

Selon Gaudillere (1987), les facteurs qui influent sur la croissance des racines sont d'une part les propriétés du sol et d'autre part les relations entre les racines et les parties aériennes.

c- L'absorption des éléments minéraux

Les éléments minéraux sont absorbés essentiellement par les racines au niveau des poils absorbants et des parties non subérisées des jeunes racines, c'est-à-dire pratiquement par le chevelu de l'année. L'absorption des éléments nutritifs est donc liée indirectement au développement des jeunes racines, alors que l'eau peut être absorbée par de vieilles racines.

Toutefois, les racines restent tributaires des parties aériennes de l'arbre où sont élaborés les hydrates de carbone, les vitamines, les auxines nécessaires à leur croissance et à l'émission de nouvelles radicules.

Aussi, les périodes de croissance importantes des racines correspondent-t-elles à l'activité des parties aériennes? Mais il y a aussi concurrence entre celles-ci et les racines pour les hydrates. Ainsi la floraison, l'initiation des bourgeons floraux, l'allongement des rameaux, la maturation des fruits diminuent le taux de croissance racinaire (Gautier, 1987).

3.7.2- Supports nutritionnels importants

3.7.2.1- La mycorhization

Les racines des arbres fruitiers entretiennent des relations associatives avec certains champignons du sol (famille des endogonacées). Ces associations, appelées endomycorhizes, sont de type vésiculo-arbusculaire. Les filaments des champignons (hyphes) pénètrent dans les racines et se développent dans le cortex. A partir de la racine, le champignon s'étend dans le sol afin d'exploiter le maximum de volume de sol (eau, éléments nutritifs) (Liu et al., 2003).

3.7.2.2-Définition de la mycorhization

Une mycorrhize peut se définir comme un organe complexe résultant de l'association intime d'une racine et d'un champignon qui réalisent ensemble une symbiose vraie, mutualiste, une eu-symbiose.

Il semble bien prouvé que les associations lâches rhizosphériques ou péritrophes peuvent être favorables à la plante, mais la mycorrhize au sens strict comporte une union plus intime, mettant en jeu des phénomènes de virulence et de réactions de défense (Dommergues et Mangenot, 1970).

De très nombreuses espèces végétales présentent des associations mycorhiziennes ; seules, quelques familles échappent à cette symbiose et notamment ; les crucifères, les chénopodiacées, les caryophyllacées (Morel., 1996).

3.7.2.3- Rôle de la mycorhization

Il se produit un échange réciproque entre les deux organismes : le champignon reçoit des glucides élaborés par la plante et il fournit aux racines des éléments minéraux (Gautier, 1987).

3.7.2.3.1- Une capacité accrue d'exploitation du sol

Les hyphes rayonnant du manteau remplacent avec efficacité très supérieure les poils absorbants. La plante peut ainsi recevoir de l'eau et des aliments minéraux ou peut-être organiques et c'est pour elle un avantage déterminant dans le cas où le sol est pauvre (Dommergues et Mangenot, 1970).

Selon Morel (1996), la mycorhization augmente l'efficacité du système racinaire qui peut exploiter un volume de sol très important. Pour le pommier, la présence de mycorhizes peut augmenter considérablement la croissance des arbres (Gautier, 1987).

3.7.2.3.2- Production de substance de croissance

Certains champignons des mycorhizes ectotrophes (certains bolets) produisent des substances auxiniques (AIA et autres dérivés indoliques), au moins à partir du tryptophane.

Ceci pourrait expliquer les déformations montrées par les racines courtes, bien que l'on en puisse observer indépendamment de toute infection. Par contre, les racines courtes envahies restent plus longtemps actives que celles demeurées indemnes, peut-être sous l'influence des auxines des champignons ou parce que celui-ci détruit des facteurs de vieillissement produits par la plante.

Ainsi le rôle des auxines d'origine fongique dans les mycorrhizes demeure obscur, d'autant plus que certaines espèces en produisent peu et tardivement. *Rhizopogon roseolus* produit des cytokinines qui provoquent l'hypertrophie des cellules corticales de la racine et influent sur la division cellulaire (Miller, 1967 in Dommergues et Mangenot, 1970).

Selon Gautier (1970), les mycorhizes produisent les hormone de croissance, notamment de cytokinines, qui se manifestent par une ramification plus abondante ou des entre nœuds plus longs.

3.7.2.3.3- Une meilleure alimentation minérale

Les champignons mycorhiziens sont également très importants pour la nutrition des arbres. Ils sont étroitement liés aux racines et alimentent l'arbre en phosphore notamment, en contrepartie d'assimilats (Bertschinger et al., 2004).

Ils assurent également une meilleure alimentation minérale, notamment en azote (NO_3^- , NH_4^+) à la plupart des végétaux.

Chez les végétaux, l'ammonium, quelles que soient ses origines, est assimilé pour donner les acides aminés précurseurs des protéines (Morot-Gaudy, 1997).

Cependant, Davet (1996) explique que bien que les résultats soient variables selon l'association Phanérogame - champignon considérée, la mycorhization se traduit presque toujours par une nette augmentation de la croissance de la plante. Les végétaux mycorhizés assimilent plus facilement le phosphore et parfois l'azote, résistent davantage au stress hydriques, supportent mieux le calcaire et sont moins attaqués par les parasites des racines.

Il avait signalé que les effets bénéfiques des endomycorhizes résultent de leur intervention dans plusieurs processus physiologiques des arbres. On peut noter :

- L'amélioration de la nutrition phosphatée.
- Une meilleure absorption des oligo-éléments.
- Une plus grande tolérance aux métaux lourds.
- Une plus grande résistance aux maladies fongiques du sol.

3.7.3- Les conséquences pratiques

Le bon fonctionnement du système racinaire s'avère indispensable au développement de l'arbre.

La réduction du système racinaire et des endomycorhizes qui l'accompagnent affaiblit les parties aériennes de l'arbre. En effet, les racines fournissent des activateurs de croissance tels que les gibberellines et les cytokinines (Gautier, 1987).

3.7.4- Le rôle des hormones végétales

Selon Gautier (1987), la croissance des organes végétaux : bourgeons, feuilles, racines,... résulte de l'action conjuguée des facteurs de stimulation et des facteurs d'inhibition qui sont des hormones sécrétées par le végétal lui-même (phytohormone), produite par certaines cellules; ces substances sont généralement transportées à quelque distance de leur lieu de formation et, agissent à des doses extrêmement faibles et règlent un processus physiologique spécifique.

La régulation hormonale suit un schéma complexe où interviennent plusieurs substances, et leur action interfère avec les facteurs de nutrition. La présence de différentes hormones, stimulantes ou inhibitrices, permet un contrôle des divers aspects du développement de l'arbre. D'après cet auteur, on peut signaler en gros cinq groupes de phytohormones.

3.7.4.1- L'auxine (AIA)

L'auxine ou acide indolyl acétique est synthétisée dans les bourgeons, le cambium et les semences des fruits.

Son action se manifeste dans de nombreux domaines : elle stimule la multiplication cellulaire et l'élongation des cellules, elle agit positivement sur l'accroissement en épaisseur de la

tige, sur la croissance des fruits et favorise la rhizogenèse des boutures; elle est à l'origine de la dominance apicale et de l'inhibition corrélative des bourgeons axillaires,...Ainsi cette hormone coordonne les phénomènes de différenciation et de croissance de diverses parties de l'arbre.

3.7.4.2- Les gibberellines (GA)

Les gibberellines seraient produites par les jeunes feuilles en croissance, dans les régions apicales des bourgeons et des racines qui entrent en activité, et dans les semences.

L'effet le plus spectaculaire des gibberellines réside dans l'allongement des entre-nœuds, elles contribuent donc à la croissance en longueur des rameaux.

Les gibberellines sont également capables d'inhiber l'induction florale, de provoquer le développement des fruits parthénocarpiques (sans pépins).

3.7.4.3- Les cytokinines

Chez les arbres fruitiers, les cytokinines sont élaborées par les racines. Ces hormones stimulent la division cellulaire, mobilisent les métabolites et maintiennent une certaine activité des cellules. Leur présence retarde le vieillissement des feuilles.

Ces substances jouent un rôle dans la levée de la dormance et la croissance des bourgeons au printemps.

3.7.4.4- L'acide abscissique (ABA)

C'est un inhibiteur de croissance. Il est l'antagoniste des auxines, des gibberellines et des cytokinines. L'abscissine est synthétisée dans les feuilles et son action est déterminante dans l'installation de la dormance des bourgeons. Elle accélère aussi la sénescence des organes, en particulier des feuilles dont elle favorise aussi l'abscission.

3.7.4.5- L'éthylène

Cette substance est dégagée par les fruits au cours de leur maturation.

3.7.5- Le rôle des éléments minéraux

3.7.5.1- L'azote

L'azote se révèle l'agent principal de la croissance des végétaux. Le manque d'azote se manifeste par un mauvais état général de l'arbre, un développement réduit et une chlorose des feuilles. L'équilibre entre les substances azotées et les glucides influe sur la formation des bourgeons floraux et la mise à fruit (Skiredj, 2000).

3.7.5.2- Le phosphore

Cet élément exerce une influence bénéfique sur le développement des racines et la mise à fruit. Il s'avère indispensable à tous les stades du développement végétal, surtout en période de métabolisme intense : départ de la végétation, croissance des organes (pousses, fruits, racines,...) et germination.

Dans l'arbre, le phosphore reste toujours très mobile et facilement mobilisable ; lorsque les organes commencent à vieillir, il migre vers les organes les plus jeunes (Gautier, 1987).

3.7.5.3- Le potassium

Le potassium active certains enzymes, notamment celles qui interviennent dans la synthèse des protéines.

Il favorise la qualité des fruits et confère aux arbres une certaines résistances aux maladies et aux ravageurs.

Cependant, les carences potassiques des espèces fruitières se manifestent sur les feuilles par des rougissements, des nécroses marginales et par l'enroulement des feuilles par le haut. Les feuilles paraissent grillées (Skiredj, 2000).

Tableau n°03 : Besoins nets en éléments nutritifs pour les cultures pérennes

Culture	Besoins nets en kg/ha			
	N	P2O5	K2O	Mg
Pommier, poirier	60	20	75	10
Pommier, poirier, rendement élevé	80	30	110	20

(SRVA-LBL-OFAG, 2004)

3.8- Les carences chez les arbres fruitiers à pépins

Une des conditions indispensables à l'obtention d'un rendement économiquement satisfaisant d'une culture est la recherche et le maintien d'un niveau nutritionnel suffisant dans le sol et les végétaux. L'arboriculture fruitière n'échappe pas à cette règle et une mauvaise alimentation, quelle qu'en soit la cause, se répercute de façon plus ou moins intense sur la production et se manifeste, dans une première approche, par un certain nombre de symptômes visuels qui doivent alerter le praticien : aspect anormal des feuilles et des parties ligneuse, défoliation prématurée, altération des fruits, rendement médiocre et mauvaise conservation.

Mais le manque d'azote se signale par l'arrêt ou le ralentissement des pousses de l'année, un feuillage vert clair de faible dimension, une floraison abondante et des fruits très colorés et sucrés. Les besoins d'azote sont variables au cours de l'année et les réserves dans le sol sont elles aussi très

différentes du printemps à l'automne. C'est donc l'élément le plus important à apporter aux arbres fruitiers à pépins (Pasquier, 1986).

Selon Bouhier De L'Egluse (1983), il existe trois périodes de pointes pour les arbres :

- la floraison et la nouaison de l'arbre, mars-avril ;
- le grossissement des fruits et la formation des boutons floraux, mai-juin.
- La formation des réserves à l'automne, septembre-octobre.

A ces trois périodes correspondent pour les sols les aspects suivants :

- une période pauvre au printemps, à la suite du lessivage dû aux pluies de l'hiver ; c'est la plus importante pour les apports d'engrais azotés ;

- une période moyennement riche en mai-juin, surtout les années à printemps froid, mais où les microorganismes sont déjà capables de fabriquer de l'azote à partir de la matière organique du sol.

- une période riche à l'automne (sauf s'il y a lessivage par les pluies ou des irrigation abusives).

Quand on soupçonne une carence, on peut réaliser des analyses foliaires et les comparer avec les teneurs optimales en minéraux dans la matière sèche de l'espèce considérée (Chauvel et Courpet, 1996).

Selon Gautier (1987), les teneurs dominantes des éléments minéraux dans les feuilles sont présentées dans le tableau n°04.

**Tableau n° 04: Teneurs dominantes des éléments minéraux dans les feuilles
Groupement Arboricole de Loir et Cher, 1968-1978**

Pommier	N%	P%	K%
Golden delicious	2,30	0,16	1,70
	2,50	0,18	2,00
Red delicious	2,30	0,18	1,60
	2,70	0,21	1,90

(Gautier, 1987).

Bouhier De L'Egluse (1983) avait signalé que les taux moyens pour des arbres en production dans le verger français varient suivant les variétés ; ils doivent être normalement compris dans les fourchettes suivantes (tableau n°05) :

Tableau n° 05: Teneurs des éléments minéraux

Pommier	Minimum	Maximum
N % matière sèche	2,00	2,50
P % matière sèche	0,15	0,20
K % matière sèche	1,60	2,00
Ca % matière sèche	1,40	2,00
Mg % matière sèche	0,20	0,40
Bore ppm B	20	35

(Bouhier De L'Egluse, 1983).

D'après Bertschinger et al. (2004), pour interpréter les résultats d'analyse foliaire il faut disposer de valeurs de références provenant de la littérature ou de matériel végétal identique considéré comme sain.

Depuis 1976, la RAC in Bertschinger et al., (2004) a créé une base de données pour les arbres fruitiers, les valeurs de références moyennes pour quelques variétés de pommiers figurent au tableau n°06. Par rapport à la valeur de référence (moyenne), les résultats se trouvant à l'intérieur de la plage comprenant plus ou moins un écart-type sont considérés comme bons. Les résultats sont appréciés comme étant faibles, très faibles, respectivement élevés, très élevés lorsqu'ils s'écartent de la moyenne de un.

Tableau n° 06 : Références du diagnostic foliaire en arboriculture fruitière stade 75 à 105 jours après pleine floraison, les valeurs sont exprimées en % de la matière sèche.

Espèce, var.	N			P			K		
	TF	Bon	TE	TF	Bon	TE	TF	Bon	TE
Pommier	< 1,93	2,13– 2,51	> 2,71	< 0,172	0,190– 0,224	> 0,242	< 1,40	1,57– 1,89	> 2,06
Golden	< 2,11	2,24– 2,50	> 2,63	< 0,171	0,185-0,215	> 0,229	1,43	1,59-1,89	> 2,05
Elstar	< 1,88	2,11-2,55	> 2,78	< 0,179	0,202-0,248	> 0,271	< 1,46	1,57-1,79	> 1,90
Maigold	< 1,88	2,07-2,45	> 2,64	< 0,163	0,180-0,212	> 0,229	< 1,31	1,55-2,01	> 2,25

(Bertschinger et al., 2004).

TF : très faible.

TE : élevé.

3.8.1- Dynamique des besoins en éléments fertilisants et réapprovisionnement

Le besoin d'une culture fruitière en éléments fertilisants dépend des divers processus de croissance du bois, des pousses, des racines, des feuilles, des bourgeons et des fruits, processus qui varient selon les saisons (Bertschinger et al., 2004).

D'après ces auteurs la teneur totale et les éléments fertilisants disponibles pour la plante dans les sols minéraux sont mentionnés dans le tableau ci-dessous.

Tableau n° 07 : Teneur totale et éléments fertilisants disponibles pour la plante dans les sols minéraux (jusqu'à 20 cm de profondeur).

Eléments fertilisants	g/kg sol	Forme disponible pour la plante
Azote (N)	1–3	NO ₃ ⁻ (Nitrate); NH ₄ ⁺ (Ammoniac)
Phosphore (P)	0,2–0,8	H ₂ PO ₄ ⁻ ; HPO ₄ ⁻
Potassium (K)	2–30	K ⁺

(Bertschinger et al., 2004).

Deuxième partie

ETUDE

EXPERIMENTALE

Chapitre I

MATERIEL ET METHODES

Chapitre I

Matériel et méthodes

1. Objectif de l'étude

Dans la présente investigation, nous voulons caractériser un éventuel phénomène d'allélopathie, par une étude expérimentale basée sur l'adjonction de la matière organique notamment les retombées du noyer (partie aérienne et souterraine) dans les sols et ses répercussions on incidences sur la croissance, la biomasse et la minéralomasse des jeunes plants de pommier cultivés en pots.

Nous avons ensuite essayer de préciser ce phénomène en employant la technique d'incubation des substrat pendant 42 jours au laboratoire afin de savoir s'il y a ou pas d'effet de ces matières organiques ajoutées aux sols sur l'évolution de l'azote minéral, comme aspect de biologie des sols complémentaires à l'étude du comportement de jeunes plants plantés des sols soumis avant à la culture du noyer.

En fin, nous avons essayé de relier les phénomènes allélopathiques observés expérimentalement en laboratoire aux difficultés de croissance de pommier sur des sols de noyer ou proches des noyeraies.

2. Situation géographique de la région de R'Haouat

La région de R'Haouat est une localité de la commune montagneuse de Hidoussa (1491 à 1500 m d'altitude) se situant dans la partie Ouest du Parc National de Belezma, à mi-chemin de la daïra de Merouana et du chef lieu de la wilaya de Batna.

- Caractéristiques de la région d'étude

Nous avons retenu pour cette étude une noyeraie dans la région de R'Haouat. Les caractéristiques granulométrique des deux types de sols utilisés (sols peu évolués d'apport alluvial) (sol de noyeraie et sol témoin n'ayant jamais porté une culture de noyer) sont présentées dans le tableau n° 09

Au plan typologique, les sols de noyers de la région de R'Haouat ont été développés sur des alluvions et sont, conformément au système CPCS (1967), des sols peu évolués d'apport alluvial, de profil AC.

Au plan physique, le sol de noyeraie et le sol témoin (qui n'a jamais porté une culture de noyer) sont des sols à texture argilo- sablo-limoneuse.

Au plan chimique (tableau n° 09), le sol de noyeraie présente un pH alcalin de l'ordre de 8.48, avec un taux de calcaire élevé de 35.15% et une CEC moyenne (30 meq/100g).

Le taux de carbone est très élevé (16.59%). Alors que l'azote est moyen, il est de l'ordre de 0.74%.

Le sol témoin présente aussi un pH alcalin (8.63), un taux de calcaire relativement élevé de 21.1%, une CEC moyenne de 16 meq/100g, un taux de carbone organique de 0.82% (taux de matière organique = 1.41%) et un taux d'azote de 0.24%.

Tableau n° 08: Caractéristiques chimiques des deux types de sols utilisés

		Sol de noyeraie	Sol témoin
Calcaire total (%)		35,15	21,1
pH eau		8.48	8,63
pH Kcl		8	8
CE (mmhos/cm ³)		0,24	0,17
CEC (meq/100g sol)		30	16
K tot (ppm)		0,51	0,74
P tot (ppm)		1152	1250
Bases échangeables	Na (meq/100g sol)	0,87	0,87
	Mg (meq/100g sol)	7,5	5,02
	Ca (meq/100g sol)	19,25	10,1
	K (meq/100g sol)	0,54	0,41
Caractéristiques biologiques	Corg (%)	16,59	0,82
	MO (%)	28,53	1,41
	N tot (%)	0,74	0,24
	C/N	22,42	3,41

3. Matériel et méthode

3.1-Matériel d'étude

3.1.1 Le sol

Dans le but de réaliser cette étude expérimentale, relative à l'action des matières organiques sur différents aspects du comportement de jeunes pommiers et sur la dynamique de l'azote minéral dans un sol de noyeraie, nous avons été amené à utiliser un sol de la région de R'Haouat qui est considérée comme une zone à vocation arboricole particulièrement nucicole.

Au plan méthodologique, deux sols ont été choisis, un sol de noyeraie et un autre sol témoin n'ayant pas été utilisé pour la culture du noyer dans le passé.

Les échantillons prélevés ont été séchés à l'air libre pendant 48 heures, puis tamisé à 2 mm et homogénéisés de manière à avoir un échantillon le plus représentatif du sol.

D'après nos résultats analytiques; ces deux types de sols (noyeraie et témoin) se caractérisent par une texture argilo- sablo-limoneuse.

Tableau n° 09: Caractéristiques physiques des deux types de sols utilisés

Texture	Sol de noyeraie	Sol témoin
A%	43,10	37,11
LF%	14,12	20,20
LG%	6,23	9,25
SF%	16,20	17,10
SG%	20,34	16,34

3.1.2 Matières organiques employées

3.1.2.1 Débris foliaires et racinaires du noyer

Il s'agit des feuilles, des châtons et des débris de racines du noyer qui ont été prélevés au sein de la noyeraie, puis ils ont été séchés au laboratoire, broyés finement et tamisés et cela pour faciliter le mélange matière organique-sol et d'augmenter d'autre part son métabolisme sous l'effet des micro-organismes telluriques.

Tableau n°10 : Caractéristiques chimiques des différents types de matières organiques utilisées

Type de matière organique	C%	N%	C/N
Feuilles	27.52	1.02	26.98
Châtons	30.8	1.57	19.61
Racines	41.8	0.5	83.6

Cette étude analytique (tableau n°10) a révélé que le rapport C/N des débris racinaires du noyer est le plus élevé (83.6) comparativement aux autres parties de l'arbre (feuilles et châtons) d'où une décomposition quelques peu difficile par voie microbienne.

Dans le cas d'un rapport C/N supérieur à 60, il faut selon Lacroix (2003), ajouter de l'azote aux résidus pour favoriser leur décomposition sans qu'il y ait compétition entre les micro-organismes et les plants pour l'azote endogène du sol.

3.1.2.2 Le fumier

Cette matière a été prélevée le 22/02/2003 auprès d'une ferme très proche de la noyeraie dans la région de R''Haouat et elle a été mise à sécher puis broyé dans les mêmes conditions que celles des matières organiques du noyer.

Il a été ensuite finement broyé pour faciliter d'une part le mélange fumier-sol et d'autre part, augmenter son activité dans le sol et pour stimuler l'activité des micro-organismes telluriques.

Tableau n° 11 : Caractéristique du fumier utilisé

Type de matières organiques	C%	N%	C/N
Fumier	40.8	1.50	27.2

3.1.3 Matériel végétal

Dans le but de tester l'arrière effet d'une culture de noyer, nous avons utilisé une espèce arboricole qui a été souvent employée pour remplacer le noyer dans cette région.

Il s'agit de la variété de pommier (Golden délicious), rentable, qui a montrée une faible croissance dans le sol de noyer.

3.2 Méthodologie

3.2.1 Dispositif de plein champ

L'expérimentation a été conduite sur des sols de noyeraie dans la région montagneuse de R''Haouat sur une période expérimentale allant du 05 Mars 2003 au 05 Mars 2004.

Dans le souci d'objectivité en rapport avec les conditions naturelles du terrain, nous avons adopté différents traitements dans lesquels il est fait appel à des litières de noyer constituées de feuilles et de châtons, à des matières formées de débris racinaires à différents pourcentage, à des sols de noyeraie et à des jeunes plants de pommiers.

3.2.1.1 Description du dispositif expérimental

La technique consiste à déposer dans des sachets en polyéthylène des échantillons de 50Kg de sol, tamisé à 2mm et répartis en 60 échantillons; la matière organique a été incorporée sous forme de feuilles, de châtons et de débris racinaires à différentes doses.

Dans ces sols expérimentaux additionnés de différentes matières organiques, nous avons planté de jeunes plants de pommiers âgés de 03 ans, acquis auprès de la pépinière fruitière de Oum El Bouaghi

Afin de tester les effets séparés des différents débris organiques (partie aérienne et partie souterraine) du noyer sur le développement des plants de pommier, nous avons adopté les traitements suivants :

- Sol seul (traitement témoin) - plants de pommiers.
- Sol de noyeraie - plants de pommiers.
- Sol de noyeraie -litière (partie aérienne du noyer) 2% et 4% - plants de pommiers.
- Sol de noyeraie-litière (partie souterraine du noyer) 2% et 4% - plants de pommiers.

Chaque traitement adopté a donné lieu à 5 répétitions et toutes les mesures de caractérisation ont été faites sur des échantillons de 10 plants : (valeur moyenne de 10 plants).

A différents points cinétique: (0,6, 12 mois), les plants ont été caractérisés au plan de la croissance, de la biomasse et de la minéralomasse.

3.2.1.2 Irrigation :

Les sachets en polyéthylènes ont été irrigués à 2/3 de la capacité de rétention qui a été déterminée par la méthode classique de Bouyougos, elle est exprimée en pourcentage du poids d'eau retenue par rapport à la terre séchée à 105°C.

L'arrosage s'effectue généralement au début de chaque décade.

$$CR = Ph - P_{sec} / P_{sec} \cdot 100$$

CR : capacité de rétention

Ph : poids du sol humide

P_{sec} : poids du sol séché à 105°C.

3.2.1.3 Paramètres mesurés

- la biomasse aérienne des jeunes pommiers,
- la biomasse souterraine des jeunes pommiers,
- la croissance en hauteur des jeunes pommiers,
- la minéralomasse aérienne des jeunes pommiers,
- la minéralomasse racinaire des jeunes pommiers,
- L'évolution quantitative de l'azote ammoniacale
- L'évolution quantitative de l'azote nitrique
- L'évolution quantitative de l'azote minéral.

3.2.1.4 Méthodes d'analyse

La minéralomasse des jeunes plants de pommier

- **Etude de la composition minérale des tiges et des racines**

Après des périodes de plantation de six mois et de 12 mois, les tiges et les racines des jeunes pommiers ont été prélevées avec délicatesse, nettoyées, séchées à 105°C pendant 24 heures et broyées en vue d'étude analytique.

Après minéralisation par voie sèche (calcination à 500°C), nous avons dosé par spectrophotométrie d'absorption atomique le potassium. Le phosphore a été dosé par colorimétrie ainsi que l'azote total a été dosé après minéralisation KJELDAHL

- **La minéralomasse des feuilles**

Nous avons étudié la composition minérale des feuilles des jeunes plants de pommier prélevés sur les différents substrats de culture, afin de déceler d'éventuelles anomalies au plan nutritionnel (carences, accumulation des éléments,...).

Au mois de septembre 2004, nous avons procédé au prélèvement de toutes les feuilles de l'année sur les jeunes plants de pommier de six mois et cela sur les différents traitements employés.

Les échantillons prélevés ont été séchés à 105°C pendant 24 heures, puis broyés.

Après minéralisation par voie sèche (calcination), nous avons dosé par spectrophotométrie à flamme. Alors que le phosphore a été dosé par colorimétrie. L'azote total a été dosé après minéralisation KJELDAHL de la matière végétale.

3.2.2 Expérimentation au laboratoire (incubation)

Comme technique complémentaire à l'étude du comportement des pommiers, nous avons employé les techniques d'incubations expérimentales au laboratoire pour tester l'effet des différentes matières organiques de noyer sur l'évolution de l'azote minéral.

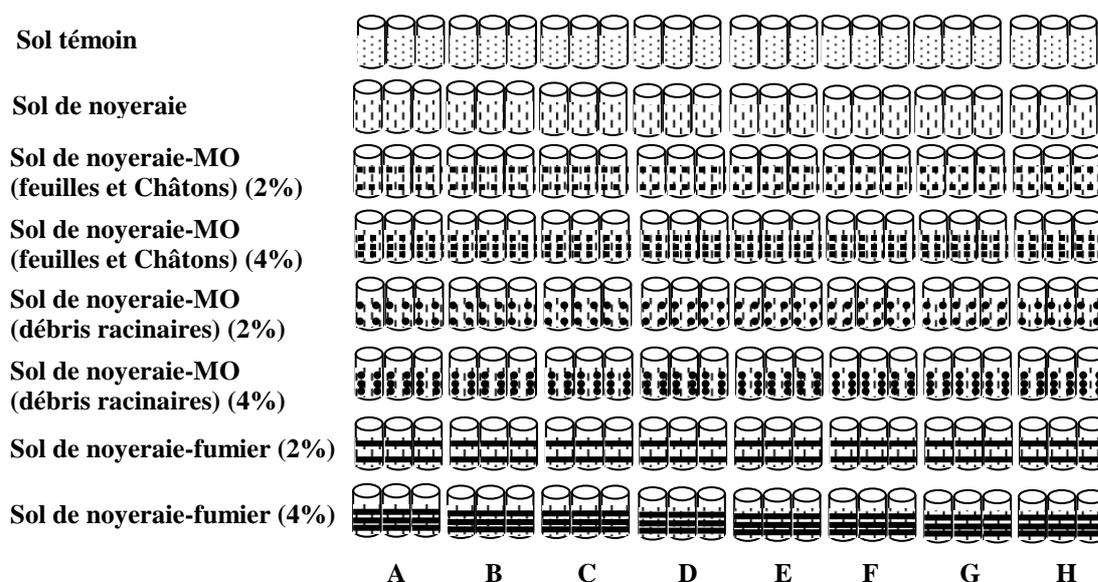
Cette étude relative à l'évolution de l'azote minéral dans un sol de noyeraie sous l'effet des résidus organiques (feuilles, châtons, débris racinaires et fumier) en condition de laboratoire a été conduite selon un modèle d'incubation où les échantillons de sol sont mis à incuber à la température du laboratoire (28°C) et dans lesquels l'humidité a été relevée à un taux proche de la capacité de rétention des sols en eau (80%).

Nous avons procédé conformément au protocole établi à l'extraction des formes ammoniacales et nitriques traduisant une certaine activité minéralisatrice aux différents points de cinétiques fixés au préalable.

En outre, différentes concentrations de matières organiques du noyer et du fumier ont été employées et ce pour tester l'effet type et l'effet dose sur la minéralisation de l'azote.

3.2.2.1 Description du dispositif expérimental

La méthode consiste à introduire dans des flacons en plastique des échantillons de 25 gr de sol par flacon, tamisé à 2 mm et répartis en 192 échantillons (fig.n°04), nous avons apporté de la matière organique sous forme de feuilles, et de châtons (partie aérienne du noyer), des racines (partie souterraine du noyer) et du fumier à différents taux et ce dans le but de tester l'effet dose et l'effet type correspondants à différents traitements des sols sont mis à incuber pendant 42 jours à une température de 28°C et un taux d'humidité de 80% de la capacité au champ. Les extractions et les dosages d'azote minéral (NH_4^+ , NO_3^-) ont été effectués après 0, 3, 7, 11, 14, 21, 28, 42 jours d'incubation. La méthode de DROUINEAU et GOUNY (in Bonneau et Souchier, 1979) a été utilisée comme technique analytique pour la quantification des formes d'azote.



- A:** Flacons employés pour l'étude des différentes formes d'azote minéral après 0 jour.
- B:** Flacons employés pour l'étude des différentes formes d'azote minéral après 3 jours.
- C:** Flacons employés pour l'étude des différentes formes d'azote minéral après 7 jours.
- D:** Flacons employés pour l'étude des différentes formes d'azote minéral après 11 jours.
- E:** Flacons employés pour l'étude des différentes formes d'azote minéral après 14 jours.
- F:** Flacons employés pour l'étude des différentes formes d'azote minéral après 21 jours.
- G:** Flacons employés pour l'étude des différentes formes d'azote minéral après 28 jours.
- H:** Flacons employés pour l'étude des différentes formes d'azote minéral après 42 jours.

**Figure n°04: Schéma des techniques d'incubation au laboratoire
des différents échantillons des sols**

3.2.2.2 Systèmes expérimentaux testés

- seul
- Sol de noyeraie
- Sol de noyeraie + litière (feuilles et châtons du noyer) (2% et 4%).
- Sol du noyeraie + litière (débris racinaires du noyer) (2% et 4%).
- Sol du noyeraie + fumier de ferme (2% et 4%).

Lors de l'échantillonnage, nous avons prélevé une quantité relativement élevée de débris organique en mélange avec l'horizon A1. Ce qui a donné un taux de matière organique élevé comparativement au témoin.

3.2.3 Dosage de l'azote

3.2.3.1 L'azote ammoniacal et nitrique

Le percolat obtenu après chaque lessivage (environ 200 à 250 ml) est mis en distillation par entraînement à la vapeur. L'azote ammoniacal est piégé dans de l'acide borique (2%) en présence d'un indicateur coloré mixte (réactif de TASCHIRO). Nous procédons ensuite au dosage de cette forme par H₂SO₄ (0.05 N). L'azote nitrique est extrait en ajoutant à la solution initiale 2g d'alliage de DEWARDA qui a la propriété de réduire l'azote nitrique en azote ammoniacale. Nous procédons à une deuxième distillation dans les mêmes conditions que précédemment.

3.2.3.2 L'azote total

Nous avons utilisé la méthode KJELDHAL – OLSEN (in Aubert, 1966), qui consiste en la destruction de la matière organique à chaud par l'acide sulfurique concentré en présence d'un catalyseur, par entraînement à la vapeur et piégeage dans de l'acide borique (4%).

3.2.4- Autres méthodes analytiques complémentaires

- Le carbone organique

Le dosage du carbone organique est réalisé par la méthode Anne qui comprend les phases suivantes :

- Un attaque à chaud du sol par une solution de bichromate de potassium en milieu sulfurique.
- Dosage de l'excès de bichromate de potassium par une solution de sel de MOHR (sulfate d'ammonium et de fer).

- La matière organique

Elle est obtenue en multipliant le taux de carbone organique par le facteur 1.72.

$$\text{MO\%} = \text{teneur en C} \times 1.72$$

- La granulométrie

Elle a été effectuée par la méthode internationale à la pipette de ROBINSON comme suit :

- Destruction de la matière organique par de l'eau oxygénée ;
- Dispersion des argiles par l'héxamétaphosphate de sodium et agitation ;
- Prélèvement des argiles et des limons fins par la pipette de ROBINSON à une profondeur et à des moments précis ;
- Tamisage des particules de sables fins et grossiers.

Les éléments grossiers présentent environ 10% du poids total du sol.

- La conductivité électrique (CE)

La CE du sol est déterminée selon le rapport (sol-eau) 1/5 au conductimètre.

- Le pH eau

Le pH eau a été déterminé selon le rapport 1/25 (sol-eau) par un pHmètre.

- Le calcaire total

On l'obtient au calcimètre de BERNARD : cette méthode consiste à décomposer les bicarbonates du sol par de l'acide chlorhydrique et à mesurer le volume de gaz carbonique (CO_2) dégagé par la réaction qu'il faudrait comparer à celui obtenu par une quantité de CaCO_3 pur.

Le calcaire actif n'a pas fait l'objet d'analyse parce que le phénomène de jaunissement n'a pas été observé dans les échantillons calcaires, mais il a été noté dans les échantillons dans lesquels nous avons incorporé des débris organiques de noyer. Ce qui supposait qu'il y'aurait plutôt allélopathie que chlorose calcaire.

- La CEC et les cations échangeables

Cela nécessite d'effectuer un déplacement des cations Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ et Na^+ avec une solution d'acétate d'ammonium ; puis il y a une récupération de la solution par une centrifugation. Après lavage à l'alcool et saturation au KCl, nous dosons les ions NH_4^+ par distillation selon un entraînement à la vapeur.

Les cations échangeables ont été dosé par photométrie à flamme (KNa) et spectrophotométrie d'absorption atomique (CaMg) dans la solution d'acétate d'ammonium récupérée après centrifugation.

- La capacité de rétention

La méthode utilisée consiste à saturer le sol avec de l'eau et à le laisser ressuyer pendant 24 heures. Par la suite, on effectue une pesée à l'état humide et une autre à l'état sec (à la température de 105°C). La différence de poids correspond à l'eau retenue par le sol.

- Le phosphore et le potassium total

Méthode de AUDIGE (1978) : Qui consiste à peser 0.4g du végétal, et à incinérer au four à 500°C pendant 5 heures et ajouter 5 ml d'HCL à 20% de concentration.

Le dosage s'effectue à l'acide ascorbique 0.1% et le réactif sulfomolybdique après une extraction à l'oxalate d'ammonium à 0.2N.

Chapitre II

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Chapitre II

Résultats et discussions

A- Résultats de plein champ (pots)

1- Influence des matières organiques de noyer sur la biomasse et la croissance de jeunes pommiers.

1.1. Variation de la biomasse des tiges des jeunes pommiers.

L'analyse de la figure (05) et le tableau n°01 en annexes montrent que la biomasse moyenne produite par les différentes plantules augmente au cours du temps à l'exception des traitements sol de noyer-MO (débris racinaires-2%) et sol de noyer-MO (débris racinaires-4%) dans lesquels il est noté une plus faible biomasse.

Ainsi, l'étude des plantules obtenues après six (06) mois de plantation révèle que l'effet-matière organique se traduit par une plus grande production de biomasse sèche végétale en particulier chez les plants ayant subi l'effet des feuilles et châtons (2%), celle-ci est de 3,54g/plant comparativement au témoin dont la biomasse produite est de l'ordre de 3,05g.

Ainsi, Cette biomasse végétale atteint 2,41g dans le système sol de noyer. Néanmoins il y a lieu de signaler l'effet dépressif du système sol de noyer-MO (feuilles et châtons-4%) et celui du système sol de noyer-MO (débris racinaires-2%) du noyer où les biomasses sont respectivement de l'ordre de 1.63g et 0.83g.

Dans le système sol de noyer-MO (débris racinaires-4%) on a noté une faible production de matière sèche et elle est de l'ordre de 0.14g.

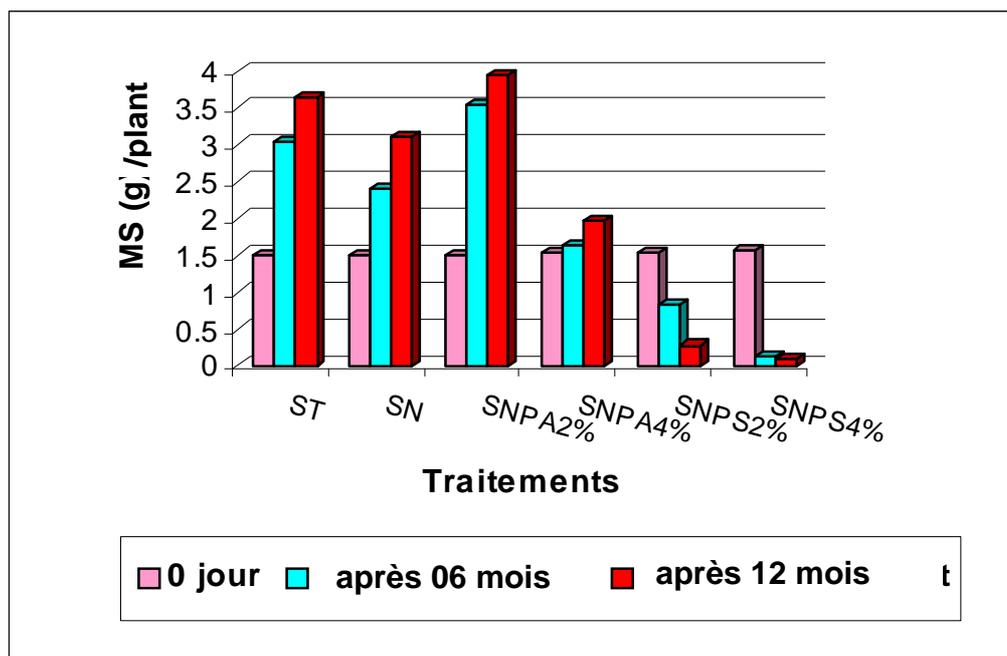


Figure 05 : Evolution de la quantité de la matière sèche moyenne produite dans les différents traitements dans les tiges des jeunes pommiers

ST: Sol témoin

SN: Sol de noyer

SNPA2%: sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%)

SNPA4%: sol de noyer- MO (feuilles et châtons-4%)

SNPS2%: sol de noyer- MO (débris racinaires-2%)

SNPS4%: sol de noyer- MO (débris racinaires-4%)

Une augmentation de la biomasse moyenne est toujours notée, après 12 mois de plantation, lorsqu'on additionne une matière organique constituée de feuilles et châtons du noyer, elle est meilleure à une concentration de 2% soit une quantité de 3.94g par rapport à celle du témoin (3.64g) et celle du système sol de noyer qui est de 3.11g. Toute fois, cette amélioration reste insignifiante en présence d'un taux élevé de matière organique feuilles et châtons (4%) (1.98g).

A des concentrations des matières organiques «débris racinaires» dans le sol de noyer de (2% et 4%), la matière sèche moyenne produite est très faible, elle est respectivement de l'ordre de 0.28g et 0.09g.

Cette diminution confirme l'effet dépressif des concentrations élevées en matière organique «feuilles et châtons (4%)» et les matières organiques «débris racinaires» à des concentrations de (2%) et de (4%) dans le sol sur la matière sèche du végétal. Cela peut être dû à la richesse de ces matières organiques du noyer en substances phénoliques phytotoxiques (juglone) jouant un rôle défavorable sur la production de biomasse.

Ainsi, Dana et Rosie Lerner (2004) montrèrent que la plus grande concentration en juglone se trouve dans les brous, les bourgeons et les racines du noyer, cependant, les feuilles et les tiges contiennent de petites quantités qui ne peuvent pas influencer négativement le comportement des plants de pommiers.

De même, Harminder et al. (2003) signalèrent aussi que les filtrats aqueux de feuilles de peuplier (*Populus deltoides*) réduisent significativement la germination et la croissance des pousses de *B. juncea* et, à un moindre degré, *Triticum alexandrinum*.

Aussi, la longueur des pousses et le poids sec des cultures de *Lins culinaris* et *Triticum aestivum* ont été significativement réduits dans le sol amendé par une litière riche en substances phytotoxiques.

Afin de préciser l'influence relative des différentes matières organiques et des différentes concentrations de ces matières organiques du noyer utilisées, nous avons procédé à une étude statistique basée sur l'analyse de la variance (test de Fisher-Snedecor ; tableaux n°01 et 02 en annexes), cette étude fait apparaître un effet « Matière organique-noyer » très hautement significatif sur le poids moyen de la matière sèche des tiges du pommier ; et un classement des moyennes (test de Newman-Keuls ; tableaux n°12 et 13) a été établi comme suit : Sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%) > Sol témoin > Sol de noyer > Sol de noyer-MO (feuilles et châtons-4%) > Sol de noyer-MO (débris racinaires-2%) > Sol de noyer-MO (débris racinaires-4%).

Tableau n° 12 : Classement en groupes homogènes des traitements pour la quantité de la matière sèche moyenne produite dans les tiges des jeunes pommiers (après six mois de plantation)

Traitements	Groupes
Sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%)	A
Sol témoin	B
Sol de noyer	C
Sol de noyer- MO (feuilles et châtons-4%)	D
Sol de noyer-MO (débris racinaires-2%)	E
Sol de noyer-MO (débris racinaires-4%)	F

Tableau n° 13 : Classement en groupes homogènes des traitements pour la quantité de la matière sèche moyenne produite dans les tiges des jeunes pommiers (après une année de plantation)

Traitements	Groupes
Sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%)	A
Sol témoin	B
Sol de noyer	C
Sol de noyer- MO (feuilles et châtons-4%)	D
Sol de noyer-MO (débris racinaires-2%)	E
Sol de noyer-MO (débris racinaires-4%)	F

1.2- Variation de la biomasse des feuilles des jeunes pommiers.

Au vu de la matière sèche moyenne produite par les plantes en présence des différentes teneurs en matière organique du noyer employées (fig n°06 et tableau n°02 en annexes), il semble que le traitement du système sol de noyer-MO (feuilles et châtons) à une concentration de 2% donne lieu à un meilleur résultat soit, une quantité de matière sèche moyenne de feuilles de 4.21g comparativement à celle du témoin et celle du système sol de noyer qui sont respectivement de l'ordre de 3.12g et 2.47g.

Ces résultats positifs sont dus vraisemblablement à la richesse du sol en azote minéral nécessaire à la croissance du végétal libéré par la matière organique et à la présence du soufre et du calcium qui ont un effet favorable sur la minéralisation de l'azote.

Cependant, une faible biomasse foliaire est enregistrée dans le système sol de noyer-MO (feuilles et châtons-4%) (1.63g) et celui du sol de noyer-MO (débris racinaires) à une concentration de 2% (1.24g), alors que l'effet de matière organique devient souvent négatif dans les systèmes sol de noyer-MO (débris racinaires-4%) (0.39g) où nous avons noté un dépérissement des jeunes plants de pommier et ce, après une année de plantation.

Cette faible production de MS pourrait être due à la nature des composés organiques existants dans la matière organique du noyer (feuilles et châtons-4% et débris racinaires 2% et 4%), soit à la quantité des substances hydrosolubles ainsi qu'aux éléments minéraux solubles. Ainsi Deb (1950) et Ponorameva (1964) in Brukert, Dommergues et Jung (1968) ont déterminé dans la solution du sol des matières en suspension, des argiles très fines et des carbohydrates, acides aliphatiques, acides aminés, acides phénols.... Ces composés ont différentes origines : pluviollessivage de la végétation, lixiviation des litières forestières, excréctions racinaires et synthèses fongiques et bactériennes (Dommergues, 1971).

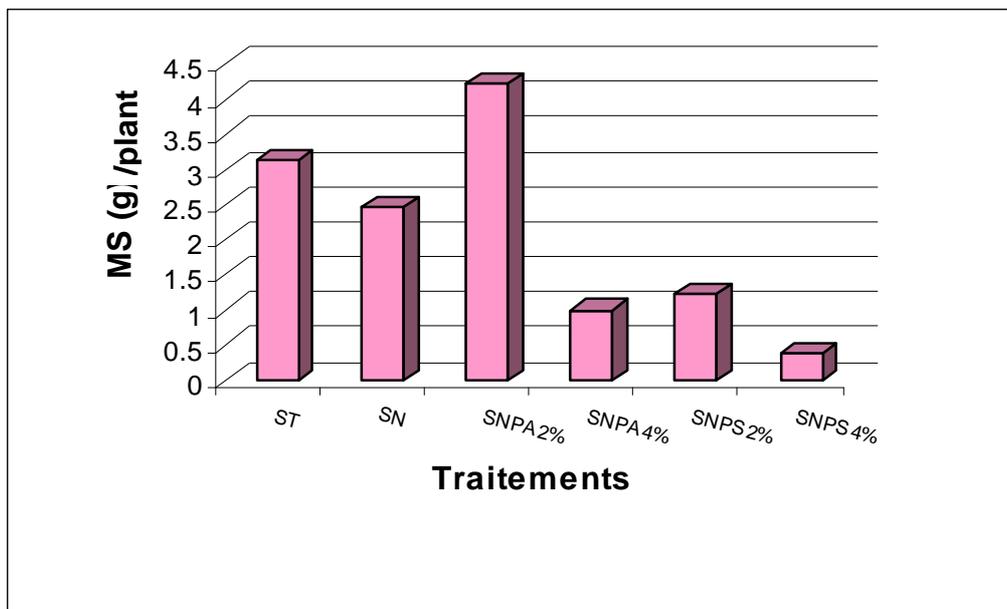


Figure 06 : Quantité de matière sèche foliaire moyenne produite dans les différents traitements des jeunes pommiers après 6 mois de culture

ST: Sol témoin

SN: Sol de noyer

SNPA2%: sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%)

SNPA4%: sol de noyer- MO (feuilles et châtons-4%)

SNPS2%: sol de noyer- MO (débris racinaires-2%)

SNPS4%: sol de noyer- MO (débris racinaires-4%)

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative entre les différents traitements (tableau n° 03 en annexes). Le test de Newman et Keuls (tableau n° 14) classe par ordre décroissant les traitements comme suit : Sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%) > Sol témoin > Sol de noyer > Sol de noyer-MO (feuilles et châtons-4%) > Sol de noyer-MO (débris racinaires-2%) > Sol de noyer-MO (débris racinaires-4%).

Tableau n° 14 : Classement en groupes homogènes des traitements pour la quantité de la matière sèche moyenne produite par les feuilles des jeunes pommiers

Traitements	Groupes
Sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%)	A
Sol témoin	B
Sol de noyer	C
Sol de noyer- MO (feuilles et châtons-4%)	D
Sol de noyer-MO (débris racinaires-2%)	E
Sol de noyer-MO (débris racinaires-4%)	F

Il est à noter que les feuilles de jeunes pommiers subissant l'influence de la matière organique du noyer (feuilles et châtons-4%) et débris racinaires à des concentrations de 2% et 4%) prennent

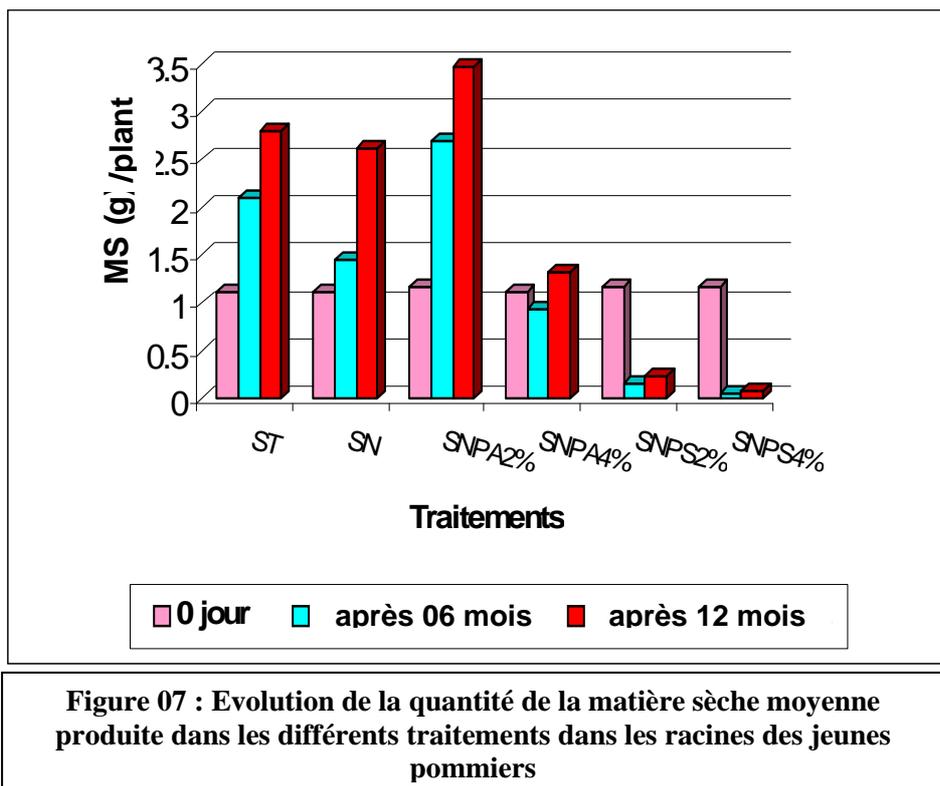
une couleur jaune (voir les photos en annexes) ; cela est probablement dû à un phénomène d'allélopathie, plusieurs auteurs (Dana et Rosie Lerner, 2004, Mohlenbrock, 2002, Funt et Martin, 1999, Bhosale et al., 1999, Anderson, 2003 et Joy et al., 2003).s'accordent sur le fait que ce phénomène (coloration de feuilles en jaune) et le lient directement à l'allélopathie.

1.3 Variation de la biomasse racinaire des jeunes pommiers.

La figure n° 07 et le tableau n°03 en annexes présentent la biomasse racinaire des jeunes plants de pommier mesurée dans les différents systèmes 0jr (avant plantation), 06 mois et 12 mois après l'incorporation du matériel végétal dans le sol. Elle augmente avec le temps dans tous les traitements sauf pour celui du sol noyer amendé avec la partie aérienne (feuilles et châtons) du noyer à une concentration de 4% et celui amendé avec la partie souterraine (débris racinaires) du noyer pour ses deux concentrations (2% et 4%).

Il est noté que le poids sec moyen de la partie racinaire des jeunes plants de pommier, après six (06) mois de plantation, du traitement sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%) est supérieur (2.70g) à celui du témoin (2.10g) et celui du traitement sol de noyer (1.46g). Il est considérablement réduit dans les traitements sol de noyer-MO (feuilles et châtons-4%) et sol de noyer-MO (débris racinaires) pour les deux concentrations 2% et 4%, les valeurs obtenues sont respectivement de l'ordre de 0.94g, 0.16g et 0.05g.

A la fin de l'expérimentation, les résultats présentés dans la figure n° 07 et le tableau n°03 en annexes, montrent que la matière sèche racinaire diminue dans tous les traitements (2.61g pour le système noyer, 1.32g pour le système sol de noyer-MO (feuilles et châtons- 4%) et 0.23g et 0.07g



ST: Sol témoin

SN: Sol de noyer

SNPA2%: sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%)

SNPA4%: sol de noyer- MO (feuilles et châtons-4%)

SNPS2%: sol de noyer- MO (débris racinaires-2%)

SNPS4%: sol de noyer- MO (débris racinaires-4%)

respectivement dans les systèmes sol de noyer-MO (débris racinaires 2% et 4%)), en comparaison avec celle du témoin (2.80g), exception faite pour le système sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%) qui a représenté une valeur importante de matière sèche moyenne (3.48g). A partir de résultats, nous pouvons conclure que les débris organiques de la partie aérienne du noyer (feuilles et châtons) exercent une action stimulante à l'égard de la production de la matière sèche par les plantules de pommiers.

Elle agit comme un améliorant des propriétés des sols, véritable conditionneur du sol (préservation de la structure du sol, d'où une élévation de l'activité biologique et une bonne perméabilité).

Il se pourrait aussi que ces apports de matière organique au sol constituent des réserves importantes d'enzymes comme la saccharase et la phosphatase.

Ces enzymes qui interviennent dans le métabolisme cellulaires, semblent influencer favorablement la solution du sol (Estermann et Claren, 1961 in Lê, 1992).

D'autre part, une activation des régulateurs de croissance est possible, car plusieurs auteurs ont déjà noté que l'action des gibberellines était liée à la fertilisation (Brian 1954, Leben 1957, Morgan 1956-1958, Scott 1959, Humphries 1959 in Lê, 1992)

En effet, ces régulateurs de croissance semblent produire dans notre cas chez les plants de pommier, des améliorations dans les poids de matières sèches moyennes obtenues. Ceci a été observé à travers différents travaux de Lê (1992) lequel a montré l'effet bien faisant de certaines combinaisons obtenues entre deux types de régulateurs (auxine et cytokinine) sur l'amélioration du développement des végétaux.

Cette influence positive s'étend aussi à des taux « faibles » de matière organique-partie aérienne. Au-delà de 2% de matière organique (partie aérienne), bien sûr, des phénomènes d'inhibition, s'observent. Ceci se traduit par, une faible production de biomasse qui peut être liée en partie à la déficience des extraits de sol et de ce type de matières organiques en éléments minéraux. Ces résultats rappellent quelque peu ceux de Messaadia, (1987) dans son étude sur l'effet des hydrosolubles de litière, d'humus et de feuillage sur la croissance et la biomasse des jeunes plants du hêtre (*Fagus sylvatica*).

En effet, les broyats des racines et des feuilles du noyer à une forte concentration (4%) semblent contenir des substances actives qui réduisent la production de la matière sèche dans les différentes parties (tiges, feuilles et racines) des jeunes plants de pommiers.

Selon Levesque (2005), les noyers ont des effets allélopathiques, c'est-à-dire qu'ils ont la capacité de produire, dans leurs racines autant que dans leurs feuilles, une substance toxique à l'égard d'autres végétaux ; la juglone, ce qui leur assure plus d'espace pour leur propre croissance et leur développement.

De son côté, Mohlenbrok (2002) a signalé que les substances toxiques (juglone) privent les plantes de l'énergie nécessaire pour leur métabolisme.

De même, Harminder et al. (2003) ont souligné que la litière de peuplier (*Populus deltoides*) riches en substances phénoliques phytotoxiques réduit significativement la germination, la croissance des pousses (la longueur) et le poids sec de *L. culinaris* et *T. aestivum*.

Selon Beck et al (1969) in Dommergues et Manganot (1970), Leurs actions se traduisent le plus souvent par l'inhibition de processus enzymatiques, ou une diminution des fonctions respiratoires (faibles absorption d'oxygène,...).

Cette juglone peut probablement inhiber les germes cellulolytiques.

Dans les travaux de Messaadia (1987) relatifs aux problèmes de la régénération de hêtraie normande, l'inhibition des germes qu'il a notée dans la litière du mull moder pourrait être due à une teneur élevée en tannins dont l'effet sur les cellulolytiques a été caractérisé quelques années avant

par Benoit et al (in Mangenot et Toutain 1980), ou encore à un agent de stérilisation partielle (Dommergues 1972), ou enfin à des substances qui entravent la production microbienne de cellulases Kilbertus in Mangenot et Toutain (1980). Cette répression des germes cellulolytiques qui entraîne une réduction des populations microbiennes se traduit dans les stations forestières par une forte accumulation de feuilles et autres débris organiques recalcitrants.

De leur côté, Bonois et Starkey (1968) in Dommergues et Mangenot (1970) ont expliqué que les toxines inhibent les enzymes extracellulaires des micro-organismes (pectinase, cellulase) ou se combinent aux constituants pariétaux et aux protéines pour former des complexes récalcitrants : c'est le cas des tannins.

L'analyse de la variance (tableaux n° 04 et 05 en annexes) fait apparaître un effet « Matière organique-noyer » hautement significatif sur la production de la matière sèche.

Le test de Newman et Keuls (tableaux n° 15 et 16) classe les différents traitements dans l'ordre décroissant comme suit : Sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%) > Sol témoin > Sol de noyer > Sol de noyer-MO (feuilles et châtons-4%) > Sol de noyer-MO (débris racinaires-2%) > Sol de noyer-MO (débris racinaires-4%).

Tableau n° 15 : Classement en groupes homogènes des traitements pour la quantité de la matière sèche moyenne produite dans les racines des jeunes pommiers (après six mois de plantation).

Traitements	Groupes
Sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%)	A
Sol témoin	B
Sol de noyer	C
Sol de noyer- MO (feuilles et châtons-4%)	D
Sol de noyer-MO (débris racinaires-2%)	E
Sol de noyer-MO (débris racinaires-4%)	F

Tableau n° 16 : Classement en groupes homogènes des traitements pour la quantité de la matière sèche moyenne produite dans les racines des jeunes pommiers (après une année de plantation).

Traitements	Groupes
Sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%)	A
Sol témoin	B
Sol de noyer	C
Sol de noyer- MO (feuilles et châtons-4%)	D
Sol de noyer-MO (débris racinaires-2%)	E
Sol de noyer-MO (débris racinaires-4%)	F

L'analyse de la variance et le classement des moyennes montrent également que l'effet de la matière organique (feuilles et châtons du noyer-4% et débris racinaires du noyer 2% et 4%) est négatif sur la croissance de la matière sèche de la plante et que son effet à un faible taux (2% de feuilles et châtons du noyer) est très net sur la production de la matière sèche.

Ces résultats semblent traduire l'existence d'une corrélation négative significative entre la biomasse végétale « aérienne et racinaire » des plants de pommier et la matière organique (feuilles et châtons du noyer 4% et débris racinaires du noyer 2% et 4%).

Son effet est plus prononcé dans la partie racinaire. Ces résultats sont en totale concordance avec ceux de Miller (1996) in UK- Chon et al. (2004) qui ont confirmé que d'une façon générale, la germination est moins sensible que la croissance des jeunes plantes, particulièrement la croissance des racines. Cela peut être dû, selon ces auteurs, à un meilleur contact entre les racines et les toxines.

Aussi, Zeng et al. (2004) ont démontré que la croissance des racines était plus sensible aux allélochimiques que n'était la croissance de l'hypocotyle ou la germination de graine.

2- Variation de la croissance de jeunes pommiers.

2.1-Variation de la croissance en hauteur des jeunes pommiers.

Les résultats enregistrés concernant la croissance en hauteur moyenne des plantules de pommier (après six mois de plantation) et représentés dans la fig n° 08 et le tableau n°04 en annexes sont de l'ordre de 108.4cm, 99cm, 80cm, 70.80cm, 52.60.cm et 39.08cm respectivement dans les traitements sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%), sol témoin, sol de noyer, sol de noyer-MO (feuilles et châtons-4%), sol de noyer-MO (débris racinaires-2%) et sol de noyer-MO (débris racinaires-4%). Donc le traitement sol de noyer-MO (feuilles et châtons-4%) et les traitements sol de noyer-MO (débris racinaires 2% et 4%) inhibent la croissance.

Cependant, le traitement sol de noyer a peu d'effet et le traitement sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%) semble produit le meilleur effet sur les plantules.

Au deuxième prélèvement (12 mois de plantation), nous avons observé que le traitement sol de noyer-MO (feuilles et châtons-4%) et les traitements sol de noyer-MO (débris racinaires-2% et 4%) ont eu comme effet de réduire la longueur moyenne des jeunes plants de pommier (72.19cm, 55.62 cm et 40.39cm).

Parallèlement, l'incorporation des feuilles et des châtons du noyer à une concentration de 2% a induit une augmentation d'une façon considérable de la longueur moyenne du plant de pommier (112.22cm) comparativement au témoin (101.64cm) et celui du système sol de noyer (83.5cm) (fig.08).

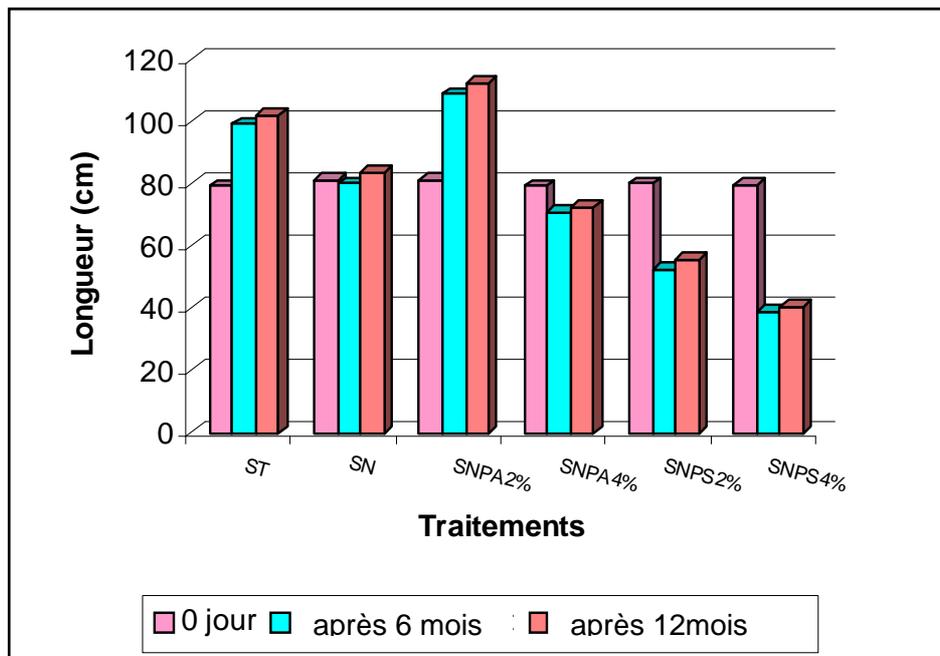


Figure 08 : Evolution de la hauteur aérienne moyenne dans les différents traitements des jeunes pommiers

ST: Sol témoin

SN: Sol de noyer

SNPA2%: sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%)

SNPA4%: sol de noyer- MO (feuilles et châtons-4%)

SNPS2%: sol de noyer- MO (débris racinaires-2%)

SNPS4%: sol de noyer- MO (débris racinaires-4%)

Ces résultats montrent un effet favorable qu'exerce la matière organique (feuilles et châtons 2%) du noyer sur la croissance des plantules de pommiers. Ceci est sans doute lié en premier lieu à leur faible concentration en substances phytotoxiques. Rice (1984) in Hoque et al (2003) a souligné que les produits allélochimiques qui empêchent la croissance de quelques espèces, à des concentrations plus faibles peuvent stimuler la croissance.

Il semble que la juglone se trouve en quantités moindres et elle est moins agressive comparativement à celle libérée dans le système sol de noyer-partie souterraine, Ce résultat est conforme à celui de Drapier (1983) concernant l'effet des matières organiques sur la germination du cresson.

Selon Dana et Rosie Lerner (2004), Les plus grandes concentrations du juglone et de l'hydrojuglone (convertis en juglone par les plantes sensibles) se produisent dans les bourgeons du noyer, les coques d'écrou, et les racines. Cependant, les feuilles et les tiges contiennent une plus petite quantité de ces produits phytotoxiques.

Ainsi, Fanny (2005) confirma aussi que les effets des extraits éthanoliques des parties aériennes de la fétuque ne sont pas significatifs, en revanche, les extraits de litière, des gaines et des racines ont un effet inhibiteur sur la croissance des germes de *Lactuca sativa*. Il attire l'attention que les extraits provenant des racines sont ceux qui induisent le plus d'effets phytotoxiques.

Par ailleurs, les essais biologiques de Hoque et al (2003) ont indiqué que l'effet inhibiteur était proportionnel à la concentration des extraits et que les concentrations les plus élevées ont un effet inhibiteur plus fort. Tandis que dans certains cas, une concentration un peu faible pourrait montrer l'effet plutôt stimulateur.

De son côté, Rice (1986) in UK- Chon et al. (2004) a noté que l'activité biologique de plusieurs allélochimiques a eu un seuil de réponse avant de devenir dépendant de la concentration.

Toutefois, beaucoup de produits allélopathiques à faible dose agissent en tant que stimulateurs de la croissance.

D'après nos observations, on peut expliquer les augmentations de la croissance des jeunes plants de pommier sous l'effet de la matière organique du noyer (feuilles et châtons à une concentration de 2%) à leurs richesses en extraits hydrosolubles qui représentent pour la microflore tellurique des substrats de choix comme cela a été auparavant signalé dans les différents travaux de Nykvist (1963) et Jaquin et Bruckert (1965) cités par Bruckert et al. (1968).

Ainsi, cette augmentation est probablement due au fait que cette matière organique ait stimulée l'activité des micro-organismes qui à leur tour peuvent synthétiser des substances de croissance comme l'avait signalé auparavant (Katzelson et Cole 1965 in Dommergues et Mangenot, 1970).

Selon ces auteurs, les micro-organismes au niveau de la rhizosphère peuvent provoquer la synthèse et le transfert de composés (Gibbérelline,...) dans le rhizoplan et/ou rhizosphère (Dommergues et Mangenot, 1970).

Les substances contenues dans les matières organiques à la concentration (2%) du noyer (partie aérienne) semblent stimuler d'avantage la production de phytohormones par les plantules telles que les auxines, gibbérellines...et cela a été noté auparavant par Lê (1992).

De leur côté, Becker et Levy (1983) avaient montré dans le passé que la stimulation de la croissance et du développement chez les jeunes plants des résineux, semble liée d'une part à une réduction de la compétition et une amélioration des conditions physiques du sol mais elle est d'autre part souvent provoquée par des changements au plan biologique.

Cependant, la matière organique (partie souterraine) du noyer réduit relativement la croissance des parties aériennes (croissance en hauteur moyenne et diamètre au collet moyen) des plantules de pommier par rapport aux autres traitements ; cela peut être dû au fait que cette matière

organique contient certaines substances qui stimulent le développement d'un certain groupe de souches inhibiteurs de la croissance, c'est également l'opinion de Welte et Trolldenier (1965) in Garbaye et Pinon (1997).

D'après ces résultats, l'effet d'inhibition de la croissance des jeunes plants de pommier est marqué lorsque l'on incorpore au sol des racines de *Juglans regia* L riche en juglone, alors qu'un effet nul ou nettement plus modeste est relevé avec un matériel pauvre en juglone.

Cependant, la partie souterraine de *Juglans regia* L, quelle que soit sa dose (2% ou 4%), ralentit la croissance et la biomasse des plantules de pommiers.

Ce sont les matières organiques provenant des racines qui induisent les effets les plus inhibiteurs à l'égard de la croissance végétale.

Ainsi, Bourgoïn (1999) a montré que *Berberis* spp., *Syringa* spp., *Rosa* spp., *Aesculus* spp., *Viburnum* spp., *Abies* spp. ont une activité allélopathique considérable, agissant négativement sur les plantes avoisinantes en provoquant la toxicité du sol et inhibant le développement et la croissance végétale.

Les exsudats racinaires des graminées ont des effets néfastes sur la croissance des parties aériennes et racinaires des arbustes (Bourgoïn, 1999). Des observations semblables avaient été faites avec de la fétuque élevée dans laquelle furent respectivement implantés des *Liquidambar styraciflua* L. (Walters et Gilmore, 1976 in Bourgoïn, 1999) et des *Juglans nigra* L. (Todhunter et Beineke, 1979 in Bourgoïn, 1999) ; dans les deux cas, la croissance des arbres fut durement affectée.

Les graines du viol (*brassica campestris* L.) inoculées par *Aspergillus japonicus* ont empêché la croissance de jeune plantes de colza et des radis (*Raphanus sativus* L.) quand le mycète a été directement inoculé sur la surface de graine. Les métabolites libérés du mycète ont empêché la germination et la croissance des jeune plantes de colza et de radis (Zeng et al., 2004).

Des acides gras tels que l'acide linoléique, et les acides organiques, ont été également déterminés (Kim et autres. 1987 in Kim, 2004). Ces auteurs ont suggéré que les substances phénoliques, ainsi que les acides gras et les acides organiques, puissent être les substances allélopathique potentielles puisqu'elles exercent un effet inhibiteur fort sur la germination et la croissance de la laitue.

Afin de préciser l'influence relative de la matière organique du noyeraie, les analyses de variance établies (tableaux n° 06 et 07 en annexes) révèlent des variations importantes de croissance en hauteur moyenne notées dans le sol témoin, sol de noyer à différentes concentrations de la matière organique du noyer (feuilles, châtons et débris racinaires).

C'est ainsi que l'emploi du test de Newman et Keuls (tableaux n° 17 et 18) nous a permis d'établir par ordre d'importance une classification comme suit : Sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%) > Sol témoin > Sol de noyer > Sol de noyer-MO (feuilles et châtons-4%) > Sol de noyer-MO (débris racinaires-2%) > Sol de noyer-MO (débris racinaires-4%).

Tableau n° 17: Classement en groupes homogènes des traitements pour la hauteur moyenne des jeunes pommiers (après six mois de plantation).

Traitements	Groupes
Sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%)	A
Sol témoin	AB
Sol de noyer	B C
Sol de noyer- MO (feuilles et châtons-4%)	C D
Sol de noyer-MO (débris racinaires-2%)	DE
Sol de noyer-MO (débris racinaires-4%)	E

Tableau n° 18 : Classement en groupes homogènes des traitements pour la hauteur moyenne des jeunes pommiers (après une année de plantation).

Traitements	Groupes
Sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%)	A
Sol témoin	AB
Sol de noyer	B C
Sol de noyer- MO (feuilles et châtons-4%)	C D
Sol de noyer-MO (débris racinaires-2%)	DE
Sol de noyer-MO (débris racinaires-4%)	E
Sol de noyer-MO (débris racinaires-2%)	E
Sol de noyer-MO (débris racinaires-4%)	F

2.2- Variation de la croissance du système racinaire des jeunes pommiers.

L'incorporation des débris de la partie aérienne (feuilles et châtons) à une concentration de 4% et ceux de la partie souterraine (racines) à des concentrations de (2% et 4%) de *juglans regia* L riche en juglone a permis de réduire la longueur racinaire moyenne des pommiers dans le temps (1^{er} et 2^{ème} prélèvement). Par contre, dans les autres traitements, la longueur moyenne des racines augmente dans le temps avec une notable croissance dans le système sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%)(figure n°09 et tableau n°05 en annexes).

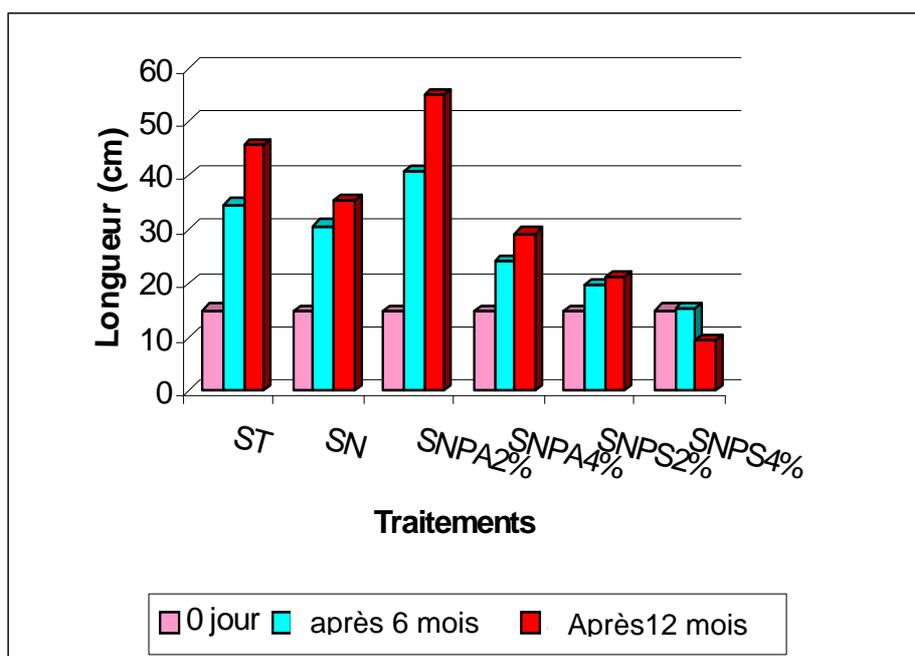


Figure 09: Evolution de la longueur racinaire moyenne dans les différents traitements des jeunes pommiers

ST: Sol témoin

SN: Sol de noyer

SNPA2%: sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%)

SNPA4%: sol de noyer- MO (feuilles et châtons-4%)

SNPS2%: sol de noyer- MO (débris racinaires-2%)

SNPS4%: sol de noyer- MO (débris racinaires-4%)

Après six (06) mois de plantation, la matière organique (feuilles et châtons) du noyer (2%) favorise le développement des racines (avec une longueur moyenne de 40.71cm). Par contre, le traitement sol de noyer-MO (feuilles et châtons-4%) provoque une diminution de la longueur moyenne des racines (24.23cm). Le traitement noyer-MO (débris racinaires) inhibe nettement le développement racinaire, tant à la concentration (2%) (19.82cm) que celle de (4%) (15.40cm) en comparaison avec le témoin (34.68cm).

Dans les traitements sol de noyer-MO (feuilles et châtons-4%), sol de noyer-MO (débris racinaires-2%) et sol de noyer-MO (débris racinaires-4%) et après une année de plantation, la matière organique du noyer exerce un effet défavorable sur la croissance des jeunes plants de pommier. Cela se traduit par un faible développement racinaire où nous enregistrons respectivement les longueurs moyennes des racines de 29.28cm, 20.99cm et 9.38cm.

Ce faible développement des racines des jeunes pommiers (longueur) (fig n° 09) et le nombre relativement réduit des racines (voir photos en annexes) sont dus à un phénomène d'allélopathie (production d'une substance phytotoxique par le noyer).

Dans leurs essais biologiques sur les extraits de feuille d'*odoratum eupatorium*, Hoque et al (2003) ont montré que ces substances causent un effet dépressif très significatif sur la germination, sur l'élongation de racine et de pousse et sur le développement des racines latérales des plantes cibles (*Arietinum cicer*, *Junce brassica*, *Cucumis sativus*, *Phaseolus mungo*, *Raphanus sativus* et *Vigna unguiculata* comme matériel d'essai biologique).

Une autre étude sur la goyave (*Psidium guajava*) a montré que les exsudats racinaires secrétés par cette espèce avaient également un effet inhibiteur sur la croissance des semis de laitue au niveau du radicule et sur la germination (Fanny, 2005).

Les graines de *Gossypium barbadense* L traitées avec les graines de crucifères en poudre ont montrées une réduction de la germination des graines de coton, et une diminution de manière significative de la longueur des racines (Elrefai et Moustafa, 2004).

De même, Singh et al. (2001) observèrent que la longueur de racines des jeunes plantes de toutes les récoltes d'essai a été sensiblement réduite en réponse aux extraits aqueux de *Populus deltoides* et l'effet maximum était observé chez le blé *Triticum aestivum* et *L.culinaris*.

Ce faible développement des systèmes racinaires rend les plants de pommier moins adaptés à l'absorption de l'eau et des éléments minéraux, et peut être la cause directe ou indirecte du jaunissement et de dépérissement des jeunes plants de pommier et même la dégénérescence des pommiers implantés sur la noyeraie (précédent cultural) dans la région de R'Haouat, Ces résultats sont similaires à ceux observés par Drapier, (1983) sur les sapinières des Vosge (France).

Selon Houot et al., (1990), l'activité de la biomasse microbienne conditionne la fourniture du sol en azote, La diminution au champ de la biomasse microbienne dans un sol est liée à la réduction de la masse racinaire et à la disponibilité en azote.

Cependant, Munson et Thiffault (2004) estiment que les composés allélopatiques ont surtout un effet néfaste sur la croissance des racines fines des plantes.

Mais Drapier (1983) avait affirmé à son tour que le phénomène allélopathique se manifeste par une inhibition de la croissance racinaire des jeunes semis de sapin, mais il peut également interférer avec la mycorhization.

La mycorhization est peut être plus faible, du fait du nombre réduit de racines courtes chez les plants de pommier (voir photos en annexes). Ainsi, Schlesinger et Van Sambeek (1986) in Chiffot (2003) indiquent que l'association avec une fétuque élevée inhibe la croissance, la mycorhization et diminue la production des noix des noyers noirs.

D'après Gautier (1987), la réduction du système racinaire et des endomycorhizes qui l'accompagnent affaiblit les parties aériennes de l'arbre. En effet, les racines fournissent des activateurs de la croissance végétale tels que les gibberellines et les cytokinines. Ainsi, Elrefai et Moustafa (2004) observèrent un effet inhibiteur significatif des graines en poudre examinées, plus prononcé, sur les racines que sur les pousses, le contact direct entre les racines et les inhibiteurs, serait, selon ces auteurs la cause de cette influence négative.

Cette réduction de la longueur des racines peut être attribuée selon ces deux auteurs au blocage de la gibbérelline et des fonctions d'acide indole acétique (AIA).

Il semble que le volume du sol prospecté par les plants de pommier pour l'alimentation minérale et hydrique est donc peu important pour les substrats noyer-MO (débris racinaires 2% et 4%) (faible nombre de racines courtes et de mycorhizes). D'autre part, les racines non mycorhizées sont mal protégées contre les attaques de champignons pathogènes ou contre les intoxications minérales ou organiques (Drapier, 1983).

Les racines mycorhizées assurent également une meilleure alimentation minérale, notamment en azote (NO_3^- , NH_4^+) à la plupart des végétaux (Morot-Gaudy, 1997).

Liu et al., (2003) indiquèrent que le mycélium des mycorhizes très chevelu augmente considérablement la surface de prospection des racines dans le sol.

Ainsi, la mycorhization augmente l'efficacité du système racinaire qui peut exploiter un volume de sol très important.

Pour le pommier, la présence de mycorhizes peut augmenter considérablement la croissance des arbres (Gautier, 1987).

Des champignons mycorhiziens sont généralement associés aux racines d'arbres forestiers et sont considérés nécessaires pour des fonctions normales de prélèvement de l'eau et des éléments minéraux. Les allélochimiques peuvent perturber le processus de prélèvement en endommageant les poils de racine ou en empêchant le développement des populations de mycorhize dans le sol (Appleton et al., 2000).

D'après nos résultats, le pouvoir inhibiteur varie en fonction de la concentration et du type de matière organique (partie aérienne ou souterraine du noyer).

Selon Drapier (1983), les matières organiques possèdent des propriétés allélopathiques variées. Ces variations semblent être liées aux variations de teneur en carbone de ces dernières. Les MO les plus riches en matières organiques étant phytotoxiques.

Dans notre cas, les racines du noyer présentent la concentration la plus importante en carbone par rapport aux feuilles et aux châtons (partie aérienne). Ce qui nous a permis d'affirmer que l'effet de l'allélopathie est dû à la forte concentration de ces organes en carbone ; les mêmes résultats ont été observés dans les travaux de Messadia (1987) concernant la phytotoxicité des extraits de ronce qui se manifeste aux quatre saisons. Selon cet auteur, cette phytotoxicité est due à leur forte concentration en acide et en carbone dont les quantités évoluent peu au cours des différentes saisons.

Par contre, une amélioration très nette de la longueur moyenne du système racinaire a été enregistrée dans le système sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%) (55.10cm) par rapport au témoin (45.50cm) et aux autres traitements. Cela peut être expliqué par les phénomènes suivants :

- Les interactions qui existent entre les substances organiques du sol et la microflore, la matière organique régularise et conditionne la composition spécifique et le développement de la microflore qui, elle-même, assure la transformation, la dégradation et la production des substances organiques. Ce-ci est confirmé dans les travaux de Drapier (1983).
- Une augmentation du volume du sol exploré et de la surface d'absorption par les racines mycorhizées. C'est ce qui a été déjà confirmé par Bowen (1973) et Harlez (1978) in Boneante et al. (1986) et Powell et Bagyaray (1984) in Billes, Bottner et Riolet (1987); ceci est confirmé par une morphologie racinaire particulière ; abondance de racines courtes entourées d'un feutrage mycélien dense, et très ramifié.

Selon Deroche et Babalar (1987), plus le chevelu racinaire est abondant plus l'activité de la nitrate réductase y est grande.

IL est probable que le changement du statut biologique du sol, engendre le développement de certains groupes de micro-organismes capables d'excréter des substances de croissances tel que les gibbérellines, les cytokinines et les auxines. Il est donc possible que ces régulateurs de croissance ayant agit dans nos systèmes expérimentaux.

- L'azote peut favoriser la ramification racinaire et accélérer la croissance des racines secondaires, et dans le même temps ralentir la croissance des racines principales (Lambers et al., 1982 in Gastal et Lemaire, 1987).

NB : Le traitement matière organique (débris racinaires) pour les deux concentrations (2% et 4%) provoque un brunissement de l'épiderme des racines du pommier. Ce phénomène manifeste, de façon plus limitée, dans le traitement matière organique (feuilles et châtons (4%)).

Ce phénomène est dû selon Tissaux (1996) au fait que les quinones se condensent durant l'oxydation avec des composés azotés et forment des polymères de couleur sombre.

L'analyse de la variance (tableaux n° 09 et 10 en annexes) et le classement des moyennes (tableaux n° 19 et 20) soutiennent ces résultats et font ressortir des différences hautement significatives entre les différents traitements.

Tableau n° 19 : Classement en groupes homogènes des traitements pour la longueur moyenne des racines des jeunes pommiers (après six mois de plantation).

Traitements	Groupes
Sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%)	A
Sol témoin	B
Sol de noyer	C
Sol de noyer- MO (feuilles et châtons-4%)	D
Sol de noyer-MO (débris racinaires-2%)	E
Sol de noyer-MO (débris racinaires-4%)	F

Tableau n° 20 : Classement en groupes homogènes des traitements pour la longueur moyenne des racines des jeunes pommiers (après une année de plantation).

Traitements	Groupes
Sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%)	A
Sol témoin	B
Sol de noyer	C
Sol de noyer- MO (feuilles et châtons-4%)	D
Sol de noyer-MO (débris racinaires-2%)	E
Sol de noyer-MO (débris racinaires-4%)	F

Conclusion

Les différences notées au vu des résultats de comportement des jeunes plants de pommiers mettent en évidence une action allélopathique importante sous l'effet des composés phénoliques, comprenant essentiellement des quinones (juglone). En outre, les résultats obtenus semblent dégager une corrélation négative entre la croissance des jeunes pommiers et la concentration en juglone contenue dans les différentes parties de *Juglans regia* L. C'est à dire que plus la concentration de composés allélopathiques dans le substrat augmente, plus l'effet inhibiteur serait intense sur la croissance et le développement des plantes cibles.

Plusieurs études sur l'allélopathie ont mené à cette conclusion ; par exemple l'effet inhibiteur de *F. paniculata* sur le taux de germination finale des graines de laitue et celui de l'avoine *Avena fatua* L. (espèce invasive) qui est au maximum au premier stade de vie de la plante c'est à dire lorsqu'elle produit des substances allélopathiques en plus forte concentration (Fanny, 2005). Cet auteur est allé plus loin en montrant que les effets phytotoxiques sont clairement dépendants de la densité des plantes cibles. La phytotoxicité émise par une plante diminue avec l'augmentation de la densité des plantes donneuses.

Dans les conditions expérimentales adoptées, les matières organiques issues de la partie aérienne du noyer (feuilles et châtons) de faible concentration (2%) exercent une action stimulante à l'égard de la croissance des jeunes pommiers.

Ces effets stimulateurs, selon Fanny (2005) ont été observés chez certaines espèces cibles comme pour le cas de la potentille. En règle générale, les composés allélopathiques sont émis en faible quantité et imitent souvent les hormones végétales. Lorsque la quantité de substances allélopathiques reçue par la plante cible est vraiment trop faible, ces dernières peuvent jouer le rôle d'hormones végétales issues également de la voie du Shikimate, comme les gibbérellines, phytohormones induisant la germination. C'est ce qui explique les éventuels effets stimulateurs observés dans notre expérience.

II Influence des matières organiques du noyer sur l'évolution quantitative de N.P.K dans les différentes parties (tiges, feuilles et racines) des jeunes pommiers.

2.1- Variation de l'évolution quantitative de N.P.K dans les tiges des jeunes pommiers.

D'après le tableau n° 06 en annexes et les figures 10, 11 et 12, il ressort que l'absorption de N.P.K par les jeunes plants de pommier au niveau des tiges augmente avec le temps et cela dans le système sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%), le système sol témoin et le système sol de noyer. Toutefois, nous notons dans les systèmes sol de noyer-MO (feuilles et châtons-4%), sol de noyer-MO (débris racinaires-2%), et sol de noyer-MO (débris racinaires-4%), une diminution de cette absorption avec le temps de manière graduelle (au deuxième prélèvement) jusqu'à elle devient presque insignifiante.

Ainsi, dans le 1^{er} prélèvement, la teneur moyenne de N.P.K dans les tiges des jeunes pommiers s'élève sous l'effet des matières organiques du noyer (2%) de feuilles et châtons et atteint 2.25% pour l'azote, 0.34% pour le phosphore et 1.56% pour le potassium, mais ces teneurs diminuent avec l'augmentation du taux de cette matière organique et atteignent 1.13% d'azote, 0.12% de phosphore et 1.08% de potassium dans le système sol de noyer-MO (feuilles et châtons-4%). Parallèlement, les valeurs de N.P.K dans les tiges sont respectivement de 0.14%, de 0.05% et de 1.04% dans le système sol de noyer-MO (débris racinaires-2%).

Cependant, les plantules développées dans le système sol de noyer-MO (débris racinaires-4%) présentent des taux relativement faibles qui sont de l'ordre de 0.10% de N, 0.01% de P et 0.09% de K comparativement au témoin (1.60% de N, 0.25% de P et 1.44% de K).

Concernant la minéralomasse des plantules développées dans le système sol de noyer, nous notons les teneurs moyennes de N.P.K dans les tiges des pommiers respectivement de l'ordre de 1.32%, 0.15% et 1.21%.

Lors du 2^{ème} prélèvement, nous enregistrons une augmentation remarquable des taux moyens de N.P.K dans les tiges des plantules de pommiers. Dans le système sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%) les concentrations notés sont de 2.77% de N, 0.25% de P et 1.63% de K.

Cependant, il a été observé des faibles taux de N.P.K qui sont de l'ordre de :

- 1.43% de N, 0.25% de P et 1.30% de K dans le système sol de noyer,
- 1.10% de N, 0.15% de P et 1.18% de K dans le système sol de noyer-MO (feuilles et châtons-4%),
- 0.08% de N, 0.06% de P et 1.09% de K dans le système sol de noyer-MO (débris racinaires-2%),
- 0.02% de N, 0.01% de P et 0.04% de K dans le système sol de noyer-MO (débris racinaires-4%),

Par rapport au système témoin, où nous avons enregistré un taux moyens d'azote de 1.81%, un taux moyen de phosphore de 0.49% et un taux moyen de potassium de 1.37%.

Ces faibles taux de N.P.K peuvent être attribué à une inhibition des bactéries spécialisées par la juglone présente en concentration élevée dans ces matières organiques. Ces résultats sont similaires avec ceux de Drapier (1983) qui a démontré que les substances allélopathiques peuvent limiter le développement des micro-organismes spécialisés dans la dégradation des matières organiques complexes.

De ce fait, la faible assimilation du phosphore par les jeunes pommiers dans ces systèmes peut être l'une des causes de la diminution de la croissance végétale comme l'avait signalé Letacon (1976).

De même, Messaadia (1987), dans ses travaux relatifs aux problèmes de régénération des hêtraies normandes, a expliqué la réduction de la croissance des semis en hauteur et leur dépérissement aux effets des substances allélopathiques d'origine microbienne et/ou végétale provenant de différents sites d'une hêtraie monospécifique. Ce dépérissement serait le résultat d'une auto-intoxication (auto-allélopathie) du hêtre et/ou de l'influence des espèces compagnes (feuilles de ronce et de fougères aigles).

L'analyse de la variance fait apparaître une différence remarquable entre les différents traitements (tableaux n° 11, 12, 13, 14, 15 et 16 en annexes).

Le classement des moyennes (test de Newman-Keuls ; tableaux n° 01, 02, 03, 04, 05 et 06 en annexes) s'établit dans l'ordre décroissant suivant : Sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%) > Sol témoin > Sol de noyer > Sol de noyer-MO (feuilles et châtons-4%) > Sol de noyer-MO (débris racinaires-2%) > Sol de noyer-MO (débris racinaires-4%).

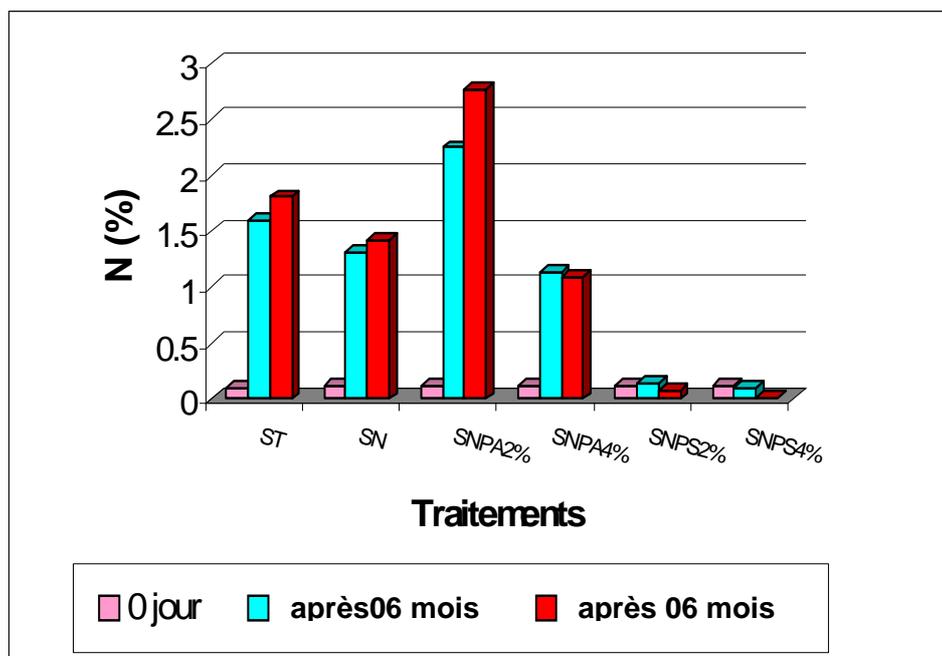


Figure 10 : Evolution de la teneur moyenne de l'azote accumulé dans les tiges des jeunes pommiers

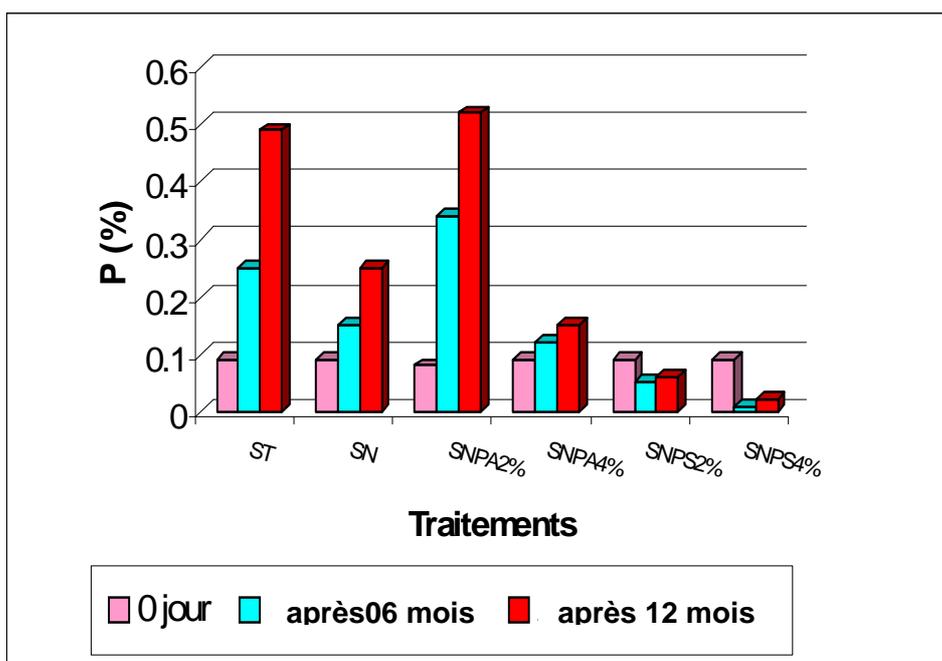


Figure 11: Evolution de la teneur moyenne du phosphore accumulé dans les tiges des jeunes pommiers

ST: Sol témoin

SN: Sol de noyer

SNPA2%: sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%)

SNPA4%: sol de noyer- MO (feuilles et châtons-4%)

SNPS2%: sol de noyer- MO (débris racinaires-2%)

SNPS4%: sol de noyer- MO (débris racinaires-4%)

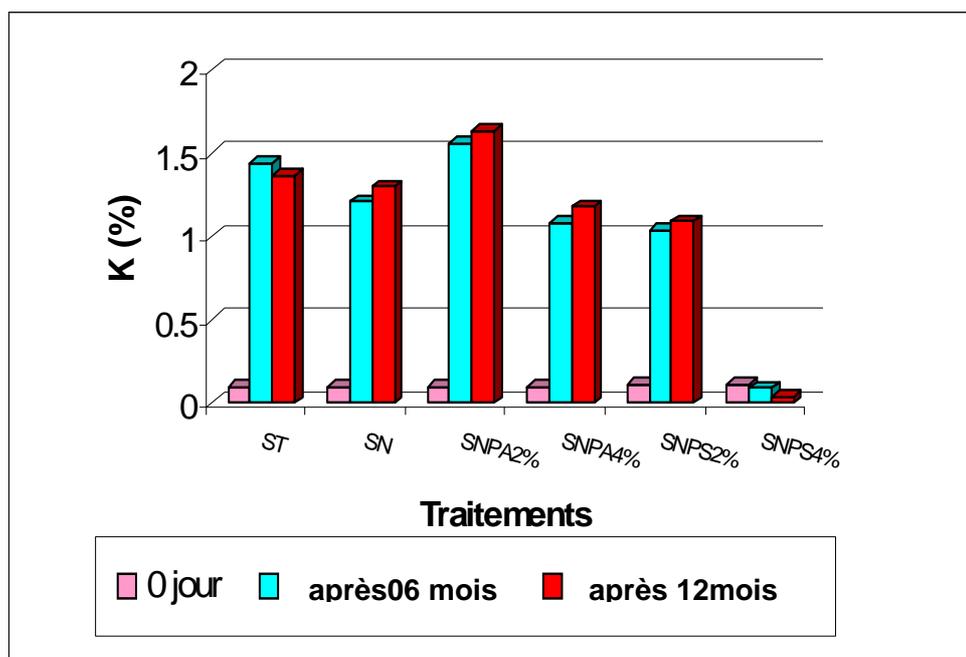


Figure 12: Evolution de la teneur moyenne du potassium accumulé dans les tiges des jeunes pommiers

2.2 Variation de l'évolution quantitative de N.P.K dans les feuilles des jeunes pommiers.

Au niveau des feuilles des jeunes pommiers (tableau n° 06 en annexes et figures n° 13, 14 et 15), les teneurs moyennes de N.P.K lors du 1^{er} prélèvement, sont plus importantes dans le système sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%) et elles sont respectivement de l'ordre de 3.92%, 1.76% et 2.42%. Cependant, elles diminuent dans le système sol de noyer, en présentant des valeurs de 2.25% de N, 0.95% de P et 1.35% de K comparativement au système témoin dont les valeurs de N.P.K sont respectivement de l'ordre 2.61%, 1.12% et 1.42%.

Ces taux moyens de N.P.K diminuent de plus en plus avec l'augmentation des teneurs en matières organiques. Ils sont de l'ordre de :

- 1.33% de N, 0.46% de P et 1.25% de K dans le système sol de noyer-MO (feuilles et châtons-4%),
- 0.33% de N, 0.16% de P et 0.44% de K dans le système sol de noyer-MO (débris racinaires-2%),
- 0.02% de N, 0.01% de P et 0.02% de K dans le système sol de noyer-MO (débris racinaires-4%).

Cette diminution importante de N.P.K prélevé par le végétal au cours du temps sous l'effet des matières organiques du noyer (forte dose) s'explique par l'incapacité des systèmes racinaires à prélever ces éléments à cause vraisemblablement de la juglone (substance toxique) laquelle réduit la disponibilité de l'eau et les éléments nutritifs solubles tels que l'azote pour les plantes.

Aussi, les travaux de Grima-Pettenati et al., (1987) ont fait ressortir qu'après 14 jours de carence en azote, le limbe de la feuille s'appauvrit nettement de l'azote. Cette diminution affecte à la fois la fraction «acides aminés et amides libres» (asparagine, alanine et acide γ -aminobutyrique notamment) et la fraction «protéines».

Aussi, Cetiom et Arvalis in Reau et al. (2003) ont noté après une crucifère en culture intermédiaire, que le maïs était carencé en phosphore et cela a provoqué une réduction de la croissance de l'appareil foliaire de cette plante.

Ils ont estimé que le phénomène proviendrait d'un effet allélopathique de la crucifère sur les mycorhizes du sol qui assurent une alimentation phosphatée au maïs.

L'étude statistique basée sur l'analyse de la variance (tableaux n° 17, 18 et 19 en annexes) et le test de classement des moyennes (test de Newman-Keuls) font apparaître un effet significatif de la matière organique (feuilles et châtons) du noyer à une faible concentration (2%) comme l'indiquent les tableaux (07, 08 et 09 en annexes).

2.3 Variation de l'évolution quantitative de N.P.K dans les racines des jeunes pommiers).

Les tableau n° 07 en annexes et les figures n° 16, 17 et 18, montrent que les teneurs moyennes de N.P.K dans les racines des jeunes pommier s'accroît avec le temps dans le système sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%), le système sol témoin et le système sol de noyer. Par contre, dans les systèmes sol de noyer-MO (feuilles et châtons-4%), sol de noyer-MO (débris racinaires-2%), et sol de noyer-MO (débris racinaires-4%), cette quantité chute avec le temps pour presque devenir insignifiante.

En analysant les résultats du premier prélèvement, obtenus après 06 mois de plantation, nous constatons que les teneurs moyennes de N.P.K présents dans les racines des plantules qui subissent l'influence de la matière organique du noyer (feuilles et châtons) à des concentrations de (2%) sont toujours supérieures 1.15% de N, 1.21% de P et 0.62% de K) à celles notées :

- dans les systèmes sol témoin : 0.84% de N, 0.15% de P et 0.51% de K,
- dans le système sol de noyer : 0.62% de N, 0.10% de P et 0.26% de K,
- dans le système sol de noyer-MO (feuilles et châtons-4%) : 0.36% de N, 0.06% de P et 0.13% de K,
- dans le système sol de noyer-MO (débris racinaires-2%) : 0.08% de N, 0.03% de P et 0.08% de K,
- et dans le système sol de noyer-MO (débris racinaires-4%) : 0.03% de N, 0.02% de P et 0.01% de K.

Les résultats obtenus lors du 2^{ème} prélèvement font ressortir une augmentation de la teneur moyenne de N.P.K dans les racines des jeunes plants de pommier dans le sol à 2% de matière organique (feuilles et châtons) de noyer avec une vitesse beaucoup plus importante que celle observée lors du 1^{er} prélèvement, Elles sont de l'ordre de 1.25% de N, 0.34% de P et 0.74% de K.

Par contre, les teneurs moyennes de N.P.K diminuent encore dans les systèmes :

- sol de noyer-MO (feuilles et châtons-4%) : 0.44% de N, 0.14% de P et 0.14% de K,
- sol de noyer-MO (débris racinaires-2%) : 0.03% de N, 0.07% de P et 0.07% de K),
- sol de noyer-MO (débris racinaires-4%) : 0.01% de N, 0.01% de P et 0.02% de K), à cause probablement, du dépérissement de la plante due à la présence des forts pourcentages de juglone dans ces milieux.

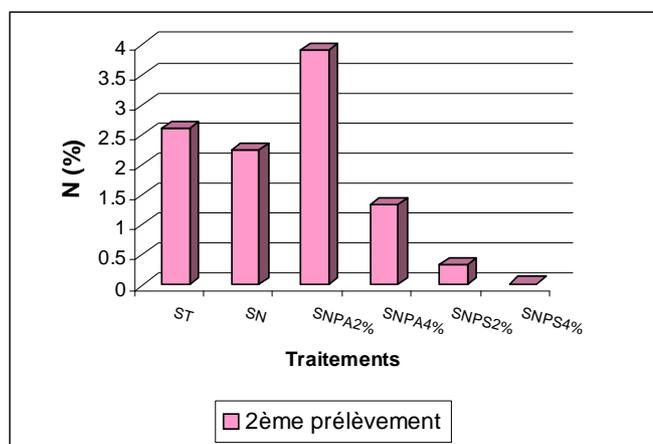


Figure 13 : La teneur moyenne de l'azote accumulé dans les feuilles des jeunes pommiers

ST: Sol témoin

SN: Sol de noyer

SNPA2%: sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%)

SNPA4%: sol de noyer- MO (feuilles et châtons-4%)

SNPS2%: sol de noyer- MO (débris racinaires-2%)

SNPS4%: sol de noyer- MO (débris racinaires-4%)

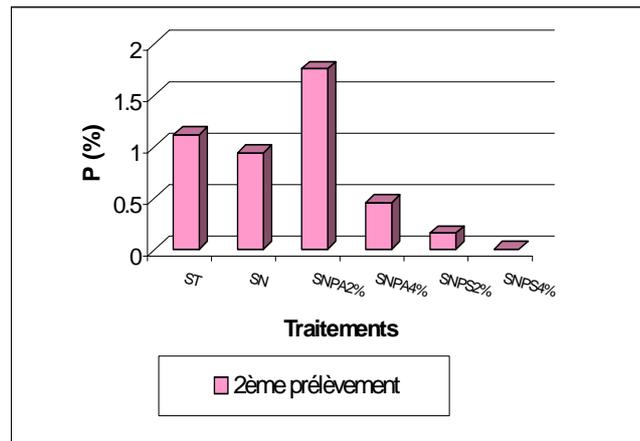


Figure 14: Evolution de la teneur moyenne du phosphore accumulé dans les feuilles des jeunes pommiers

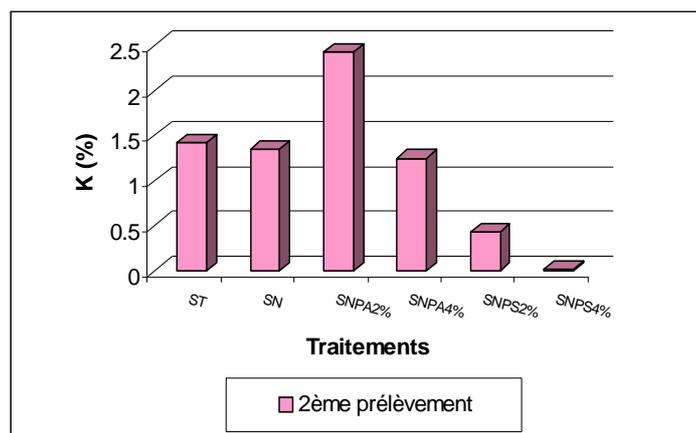


Figure 15 : Evolution de la teneur moyenne du potassium accumulé dans les feuilles des jeunes pommiers

ST: Sol témoin

SN: Sol de noyer

SNPA2%: sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%)

SNPA4%: sol de noyer- MO (feuilles et châtons-4%)

SNPS2%: sol de noyer- MO (débris racinaires-2%)

SNPS4%: sol de noyer- MO (débris racinaires-4%)

De leur côté, Northup (1998) expliquait que l'allélopathie pourrait jouer un rôle indirect en limitant la disponibilité des nutriments pour les autres espèces compétitrices.

Dans le même temps, Schimel et al (1998) en étudiant la succession végétale entre l'aulne (*Alnus tenuifolia*) et le peuplier (*Populus balsamifera*) sur les platières de rivières en Alaska ont constaté que le peuplier réduit la disponibilité en azote pour l'aulne par l'intermédiaire des polyphénols, et cela en inhibant à la fois, la capacité de l'aulne à fixer l'azote atmosphérique et en réduisant les quantités de l'azote disponible dans le sol que l'aulne pourrait potentiellement métaboliser comme substitut à l'azote atmosphérique (N₂).

Dans ces conditions, le peuplier réduit la croissance de l'aulne et devient l'espèce dominante et peut provoquer la disparition de l'autre espèce. Ainsi, les changements survenus dans le recyclage de l'azote seraient dus aux métabolites secondaires du peuplier.

Ce dépérissement pourrait provenir de l'effet de la juglone (produit allélopathique) sur les mycorhizes du sol qui contribuent à une meilleure alimentation phosphatée des jeunes pommiers.

Ces résultats rappellent quelques peu avec ceux de Reau et al. (2003), lesquels ont confirmé que les plants de maïs implantés après une culture de crucifère (colza, chou) manifestent des carences en phosphore qui réduisent leur croissance en début de cycle.

En outre, pour préciser le degré d'influence des différentes concentrations de matière organique du noyer utilisées, nous avons procédé à une étude statistique basée sur l'analyse de la variance (test de Fisher-Snedecor ; tableaux n° 20, 21, 22, 23, 24 et 25 en annexes) qui a fait apparaître un effet « Matière organique-noyer » hautement significatif sur l'accumulation de N.P.K dans les racines) du pommier. Un classement des moyennes (test de Newman-Keuls ; tableaux n° 10, 11, 12, 13, 14 et 15 en annexes) a été établi pour les différents traitements selon l'ordre décroissant suivant : Sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%) > Sol témoin > Sol de noyer > Sol de noyer-MO (feuilles et châtons-4%) > Sol de noyer-MO (débris racinaires-2%) > Sol de noyer-MO (débris racinaires-4%).

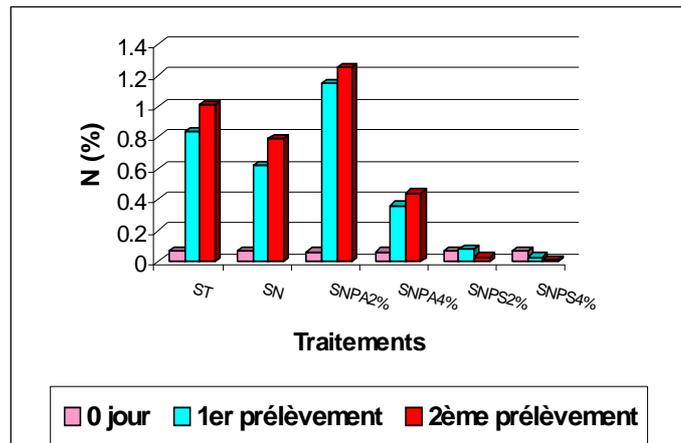


Figure 16 : Evolution de la teneur moyenne de l'azote accumulé dans les racines des jeunes pommiers

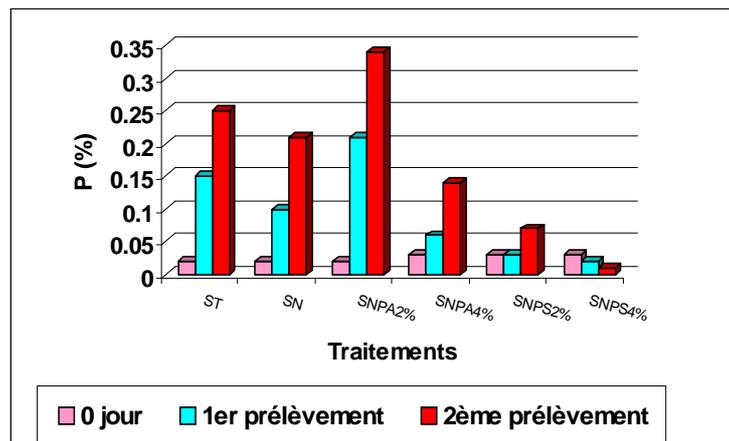


Figure 17 : Evolution de la teneur moyenne du phosphore accumulé dans les racines des jeunes pommiers

ST: Sol témoin

SN: Sol de noyer

SNPA2%: sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%)

SNPA4%: sol de noyer- MO (feuilles et châtons-4%)

SNPS2%: sol de noyer- MO (débris racinaires-2%)

SNPS4%: sol de noyer- MO (débris racinaires-4%)

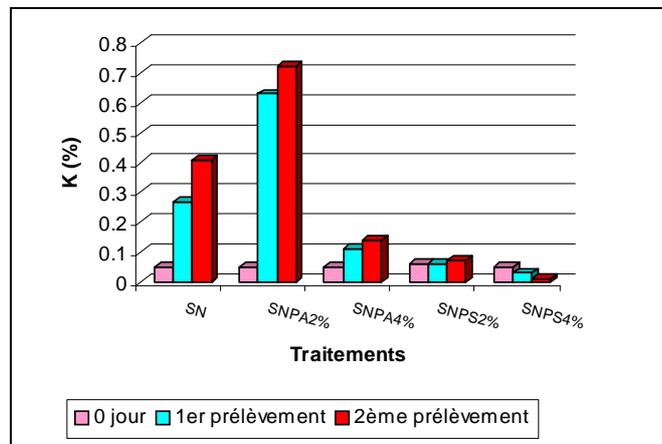


Figure 18 : Evolution de la teneur moyenne du potassium accumulé dans les racines des jeunes pommiers

ST: Sol témoin

SN: Sol de noyer

SNPA2%: sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%)

SNPA4%: sol de noyer- MO (feuilles et châtons-4%)

SNPS2%: sol de noyer- MO (débris racinaires-2%)

SNPS4%: sol de noyer- MO (débris racinaires-4%)

Discussion**Evolution de l'azote dans les différentes parties (tiges, feuilles et racines)**

Il ressort d'après ces résultats que la quantité d'azote prélevée par les jeunes pommiers dans ses différentes parties (tiges feuilles et racines) augmente au cours du temps dans le système sol témoin, le système sol de noyer mais s'élève d'une façon considérable dans le système sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%) ; cela se traduit par une accumulation de N dont les teneurs sont de l'ordre 2.77%, 3.92% et 1.25% respectivement dans les tiges, les feuilles et les racines de plantules de pommier. Cette élévation des quantités d'azote dans les différentes parties (tiges, feuilles et racines) des jeunes plants de pommiers peut être attribué à différent processus :

- Le développement des tiges (l'accroissement des capacités d'absorption de la plante et de ses besoins instantanés) représente la phase qui s'accompagne, en outre, d'une augmentation des capacités photosynthétiques de la plante (Woledge, 1978 in lemaire et Salette, 1984).
- L'augmentation de N dans le végétal avait pour cause une bonne activité minéralisatrice de N organique d'une part et une grande fixation de cet élément par certains souches spécialisées, comme il a été souligné par Dommergues (1971) et Balandreau (1976).
- Les grandes quantités d'azote accumulées seraient dues à une meilleure absorption de l'ammonium par les champignons mycorhizogènes (Stribley et Read 1976,1980 in Birkett et al., 2001).
- Cette amélioration quantitative de N est due au fait que la matière organique (feuilles et châtons-2%) stimule l'activité des micro-organismes, qui, à leur tour, synthétisent certaines substances de croissance.

Parallèlement, de nombreux chercheurs ont noté des effets similaires en constatant des actions favorables de certaines substances de croissance telles que les gibbérellines et l'influence de la nutrition azotée sur la croissance et le métabolisme azoté du dactyle (Champeroux, 1962). Dans d'autres travaux, les études ont porté sur les effets de l'interaction entre l'acide gibbérellique et l'azote sur la production de pâturage, sur sa composition et sa teneur en azote (Scott, 1959 in Goma, et al.,1985).

Cependant, il a été observé dans les différents systèmes; sol de noyer-MO (feuilles et châtons-4%) et sol de noyer-MO (débris racinaires-2% et 4%) une faible teneur en azote dans les parties aériennes (feuilles et tiges) et souterraines (racines) du pommier et cela pourrait être lié à une inhibition des organismes nitrificateurs par des toxines apportées par cette matière organique dans notre cas la juglone; comme cela a été souligné par Beck et al., (1969) in Dommergues et Manganot (1970) dans l'étude de l'effet litière sur la microflore du sol .

Cette substance phytotoxique en l'occurrence la juglone du noyer avait provoquée une diminution de l'absorption de l'azote par le végétal qui serait la conséquence d'une faible activité biologique dans ces différents systèmes.

Cette inhibition de l'absorption de N serait due à une influence dépressive sur les micro-organismes telluriques de ces substances phytotoxiques (Beck et al., 1969 in Dommergues et Mangenot, 1970).

Dans cet ordre d'idée, Dommergues et Mangenot (1970) avaient souligné que la richesse des litières en polyphénols conduit à la formation des complexes tannés où la cellulose est protégée, et où l'azote est difficilement dégradable.

Cependant, Perry et Choquet, (1987) in Boneante et al. (1987).ont considéré que les composés chimiques et en particulier les tannins, à pouvoir complexant à l'égard des protéines, peuvent modifier le cycle de l'azote en réduisant l'activité des bactéries du sol fixatrices d'azote et les interactions mycorrhiziennes.

Mais le blocage d'absorption serait d'après Melin (1953) in Dommergues et Mangenot (1970), la résultante d'une intoxication organique des sols.

Cependant, le prélèvement de l'azote par les plantes est déterminé en grande partie par leur vitesse de croissance et les travaux de Greenwood in Lemaire et al. (1997), Lemaire et Salette (1984) ont permis de mettre en évidence une relation d'allométrie entre le prélèvement d'azote et l'accumulation de matière sèche par le peuplement (le coefficient d'allométrie entre le prélèvement d'azote et la croissance correspond au rapport entre les vitesses relatives). Une telle stabilité dans la relation ne peut s'interpréter que par un contrôle de la vitesse de prélèvement d'azote par la vitesse de croissance de la culture.

Au plan statistique, l'analyse des coefficients de corrélation montre une relation intime entre la vitesse de croissance des pommiers, sa biomasse et le prélèvement de N (tableau n° 24) et cela dans tous les traitements. Les vitesses de croissance des pommiers les plus importantes sont enregistrées dans le système sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%) qui est la conséquence elle-même d'une absorption intense d'azote. Mais ces vitesses diminuent considérablement avec l'augmentation des taux de matières organiques (sol de noyer-MO (feuilles et châtons-4%), sol de noyer-MO (débris racinaires-2%), sol de noyer-MO (débris racinaires-4%).

Mais les différences notées entre les vitesses de croissance des pommiers peuvent s'expliquer par l'existence d'un facteur limitant qui est la juglone, laquelle bloque fortement l'absorption de l'azote par cette culture.

En définitive, on peut conclure que la juglone exerce une action dépressive sur la vitesse de croissance et sur la vitesse d'absorption d'azote par les plantules de pommiers (*Golden delicious*).

Tableau 21 : La corrélation entre la vitesse de croissance des pommiers, sa biomasse et le prélèvement de N

Type de corrélation	Coef. de corrélation (r)
Croissance (06 mois)-Biomasse aérienne	+0.99264242
Croissance (12 mois)-Biomasse aérienne	+0.88133511
Croissance (06 mois)-Biomasse souterraine	+0.99562501
Croissance (12 mois)-Biomasse souterraine	+0.85576847
Biomasse aérienne-absorption d'azote	+0.95870859
Biomasse souterraine- absorption d'azote	+0.99397151

Evolution du phosphore dans les différentes parties (tiges, feuilles et racines)

Pour le phosphore, il a été noté que la meilleure teneur de cet élément dans les parties aériennes (feuilles et tiges) et les parties souterraines (racines) du pommier a été enregistrée sous l'influence de la matière organique (feuilles et châtons-2%).

Aussi, l'augmentation de la quantité de P dans les jeunes plantules de pommiers semble être due à l'effet de ces débris organiques d'origine végétale (feuilles et châtons) qui augmentent la solubilisation de certains éléments tels que le phosphore dans les sols. Ainsi, cette forte mobilisation de P pourrait être due à une forte prolifération microbienne laquelle provoquerait une solubilisation du phosphore (Tradieux –Roche, 1966 et Gachon, 1969 in Berjaud et al., 1986).

En outre ces matières organiques en subissant un processus de minéralisation microbienne vont accroître la réserve minérale du sol en phosphore. Mais l'influence microbienne peut se faire par l'action des hyphes fongiques (plants mycorhizés) qui absorbent rapidement le P soluble, le transportent rapidement et le transfèrent finalement vers la plante.

Par ailleurs, les champignons mycorhiziens ont une action importante dans la nutrition des arbres, du fait de leur relation avec les racines ; ces micro-organismes alimentent l'arbre en substrats carbonés et en phosphore en contrepartie d'assimilats (Bertschinger et al., 2004).

Dans ce contexte, Liu et al., (2003) révèlent que les mycorhizes peuvent contribuer à l'augmentation du phosphore du sol et Dommergues et Manganot (1970) avaient signalé que les hyphes rayonnant à partir des racines accroissent les surfaces absorbantes de la plante qui reçoit

notamment plus de P. Il a été aussi admis que des substances de croissance sont élaborées par les systèmes mycorrhiziens endotrophes. Mai, une corrélation directe existe entre l'intensité de la mycorrhization endotrophe chez les plantes et la teneur du sol en phosphore (Otto, 1962 in Berjaud et al., 1986).

Comme l'ont rappelé Dommergues et Mangenot (1970), les tentatives de reboisement sous *Calluna vulgaris* aboutissent, en partie, à un échec à l'exception du Bouleau, du Pin sylvestre et du Sorbier qui se régénèrent faiblement. Cela est dû au fait que les jeunes plants ne sont pas mycorrhizés et ne peuvent donc se procurer, dans un milieu aussi pauvre, les quantités nécessaires d'aliments indispensables. Il semble que cette pauvreté de sol et le pH acide seront favorables à la mycorrhization. Cependant, les extraits d'humus recueillis sous la callune exercent une action toxique à l'égard des basidiomycètes symbiotes. Ils semblent tolérés par *Boletus scaber* qui présente au contraire une activité oxydasique faible et qui se trouve être l'un des rares champignons mycorrhiziens à fructifier dans les landes françaises.

Ils soulignèrent aussi que l'enrésinement d'anciens sols agricoles ou des prairies conduit parfois à des échecs coïncidant avec un défaut de mycorrhization. On peut attribuer ce fait à l'élimination des symbiotes éventuels par des substances toxiques sécrétées par la végétation herbacée.

Cependant, la faible croissance des plantules implantées dans le système sol de noyer-MO (feuilles et châtons-4%) et dans le système sol de noyer-MO (débris racinaires-2% et 4%) peut être due à leur teneur faible de P, comme cela a été constaté par Gerretsen (1948) in Benbrahim et al., (1996).

De leur côté, Ben Brahim et al. (1996), ont estimé qu'une teneur faible en P affecte le taux de la photosynthèse et l'efficacité de carboxylation qui induisent une faible croissance végétale.

D'après ces données, il semble que la partie aérienne (feuilles et châtons) du noyer à (4%) et la partie souterraine (débris racinaires) pour les deux concentrations (2% et 4%) du noyer recèlent des substances actives qui inhibent l'assimilation du phosphore par les jeunes plants de pommiers, réduisant aussi leur croissances.

Evolution du potassium dans les différentes parties (tiges, feuilles et racines)

En ce qui concerne le potassium, Melin in Dommergues et Mangenot (1970) a montré que les extraits de litières fraîches ont, en général, un effet stimulant sur la croissance des champignons mycorrhiziens, mais, à une concentration assez élevée, ils deviennent plus au moins vite inhibiteurs.

Aussi, Grâce à l'emploi d'éléments marqués, les travaux de Melin et de Harly in (Dommergues et Mangenot, 1970) ont révélé que l'azote des sels d'ammonium ou des acides aminés, le Ca, le K, le Na pouvaient être transportés par les mycorhizes jusqu'à la plante. Ainsi, l'absorption d'éléments par une plantule mycorrhizée, comparée à celle d'un individu non infecté, est supérieure de 75% pour le K, 86% pour le N, plus de 200% pour le P. Mais, dans la nature, de telles augmentations seraient réduites du fait d'une compétition pour les aliments entre le végétal et la microflore libre (Dommergues et Mangenot, 1970).

En outre, Ils pensent qu'une déficience en éléments minéraux et/ou un déséquilibre alimentaire apparaissent souvent comme des facteurs prédisposant à la mycorrhization pour le hêtre, elle est fréquente dans les sols à faibles teneur en Ca et K, pas trop riches en P, mais bien pourvus en Fe^{++} , elle est plus rare sur les sols mieux équilibrés. Mais les éléments minéraux peuvent aussi être limitants en milieu pauvre, en particulier le P, indispensable aux activités photosynthétiques.

De leur côté, Weed et al in Berjaud et al. (1986) ont noté que le potassium, en présence de matières organiques est faiblement mobilisé ; ce phénomène pourrait être dû à une forte activité biologique et une grande densité des micro-organismes, qui, probablement, induisent une immobilisation du potassium.

Conclusion

L'analyse chimique des différents organes végétatifs (tiges, feuilles et racines) des pommiers effectués en fin de d'expérimentation révèle qu'au niveau des parties aériennes et des parties souterraines, il s'est produit une plus grande mobilisation des éléments N, P et K en particulier dans les systèmes expérimentaux suivants sol témoin, sol de noyer et surtout dans le sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%). Cependant, cette étude analytique a montré aussi une réduction de la quantité de N, P et K chez les plantules développées dans le système sol de noyer-MO (feuilles et châtons-4%) et dans les systèmes sol de noyer-MO (débris racinaires) pour les deux concentrations (2% et 4%).

Aussi, cette relative amélioration de la nutrition (N,P,K) des plantules de pommier, implantés dans les systèmes sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%) comparativement au témoin et aux autres traitements peut être lié à l'effet de la matière organique (partie aérienne du noyer à une faible concentration 2%) celle-ci constitue un milieu favorable au développement des micro-organismes ; qui provoquent une meilleure dynamique des éléments N.P.K et une forte minéralisation de ces matières organiques par différents mécanismes de solubilisation comme l'avait signalé Gachon (1969) in Janin, Ohta et Keller (1983).

Ces résultats semblent en totale concordance avec les observations de Saito (1957), Bocoock et Gilvert (1960) in Janin, Ohta et Keller (1983). Cela peut être due à la présence dans le lessivat de ce sol de certains composés organiques ; sucres simples, acides aminés, acides organiques, enzymes qui stimulent la microflore et la microfaune. C'est ce qui avait rapporté Lynch (1982) in Dommergues (1971) dans ses travaux.

En outre, la présence de certains groupes microbiens au niveau de la rhizosphère peut être la cause de l'amélioration de la nutrition des jeunes plants de pommiers. Ainsi, Vancura et Kunc (1977), Vanvurde et Schippers (1980) in Gelhye, Nys et Robinson (1985) ont cité la prédominance des bactéries, lesquelles en utilisant certaines substances énergétiques de choix, vont libérer certains acides organiques qui augmentent à leur tour la mobilisation de certains éléments tels que le P et le K.

Ainsi, la présence dans ce mélange de certains acides d'origines végétales ou microbienne, qui jouent des rôles importants dans la solubilisation des éléments ne se retrouvant qu'à faibles doses comme l'ont représenté Razaghe et Karimi (1974) et Boyle et al (1974) in Tisseaux (1996).

Dans ce contexte, Gautier (1987) a souligné que les matières organiques fraîches et en voie de décomposition jouent vis-à-vis du sol des rôles importants comme suit :

- elles atténuent les effets de l'érosion en protégeant le sol contre le choc des pluies et des arrosages ;
- elles favorisent une meilleure utilisation de l'azote par la plante.
- elles exercent un effet positif sur la disponibilité du phosphore du sol à l'égard des végétaux.

Cependant, nous avons enregistré sous l'effet des matières organiques (feuilles et châtons-4%) et des débris racinaires 2% et 4%), l'existence de faibles teneurs en éléments minéraux (N,P,K) comparativement au système témoin et aux autres systèmes expérimentaux. Il semble aussi que ces matières organiques complexes contiennent des substrats difficilement biodégradables tels que la juglone qui est chimiquement une naphtaquinone ; cette dernière ralentit la décomposition de l'azote minéral par la formation des complexes polyphénols - protéines. Des phénomènes comparables à ceux notés par Scvartz et Brachet (1975) in Tissaux (1996).

Ainsi, il est démontré que la teneur en polyphénols hydrosolubles des litières de pin induit une forte activité inhibitrice (Hayes, 1965 in Boneante et al., 1986). et cela expliquerait quelque peu les teneurs faibles en N des plantules soumis à l'influence des matières organiques (débris racinaires du noyer).

Concernant les deux éléments N et P, nos résultats concordent avec ceux rapportés par Ranger (1981) in Janin et al. (1983), et dans lesquels la teneur en N et P augmente dans les parties aériennes mais diminue dans les parties souterraines (racines).

Tableau n° 22 : La corrélation entre la quantité de N. P. K accumulés dans les racines et la partie aérienne du pommier et le taux de matière organique

Type de corrélation	Coef. de corrélation (r)
N des racines des pommiers-taux de MO	-0.7822615
N des partie aérienne des pommiers-taux de MO	-0.78736237
P des racines des pommiers-taux de MO	-0.95936441
P des partie aérienne des pommiers-taux de MO	-0.91766294
K des racines des pommiers-taux de MO	-0.95936441
K des partie aérienne des pommiers-taux de MO	-0.96576687

Dans ce tableau, l'étude du coefficient de corrélation montre que les quantités de N. P. K accumulées dans les racines et les parties aériennes (tiges et feuilles) des jeunes pommiers sont négativement corrélées avec les taux relativement élevés de MO et positivement corrélées avec les taux de MO feuilles et châtons à une concentration de (2%), dans le système sol de noyer et dans le système sol témoin ($r = +0.69504416$).

B- Résultats de laboratoire (incubation)**I- Influence des différentes matières organiques du noyer sur l'évolution quantitative de l'azote dans le sol de la région de R'haouat.****1.1 Influence des différentes matières organiques du noyer sur l'évolution quantitative de l'azote ammoniacal dans le sol de la région de R'haouat.**

Au cours de la période expérimentale adoptée, nous avons remarqué que l'azote ammoniacal augmente pendant l'incubation, et que le processus d'ammonification apparaît lent dans les systèmes sol de noyer-MO (feuilles et châtons-4%), sol de noyer-MO (débris racinaires-2%) et sol de noyer-MO (débris racinaires-4%) comparativement au système sol de noyer-fumier et le sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%). Nous avons noté, après 42 jours d'incubation à une température de 28°C, des quantités d'azote ammoniacal de 467.2ppm, 350.5ppm et 170.8ppm, respectivement dans les systèmes sol de noyer-fumier (4%), sol de noyer-fumier (2%) et sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%) (figure n° 19 et tableau n° 08 en annexes). Ces résultats expliquent l'influence favorable du fumier et de la matière organique (feuilles et châtons) du noyer à faible concentration (2%) sur l'activité ammonifiante dans le sol.

Cependant, cette ammonification est fortement inhibée dans les sols renfermant des matières organiques (feuilles et châtons-4%) et débris racinaires (2% et 4%) du noyer). Les quantités produites sont de l'ordre de 65.5ppm, 10.6ppm et 5.6ppm après 42 jours d'incubation dans les trois systèmes expérimentaux.

Afin de préciser l'importance relative de l'effet de ces matières organiques, nous avons procédé à une analyse de la variance (test de Fisher-Snedecor ; tableau n° 26 en annexes), à un classement des moyennes (test de Newman-Keuls, tableau n° 23) et une étude du coefficient de corrélation (à une probabilité < 5%).

Cette analyse statistique a confirmée l'effet positif du fumier et de la matière organique (feuilles et châtons) du noyer à une concentration de 2% sur la production de l'azote ammoniacal.

Aussi, l'étude du coefficient de corrélation a permis de déterminer le type de relation existant entre la teneur en N-ammoniacal et le taux de matière organique. Elle montre que la minéralisation est inversement proportionnelle au types de MO (feuilles et châtons-4%) et (débris racinaires 2% et 4%) (une corrélation négative avec un $r = - 0,7789$).

Ainsi, le test de Newman-Keuls classe les différents traitements dans l'ordre décroissant comme suit : Sol de noyer-fumier (4%), Sol de noyer-fumier (2%), Sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%) > Sol témoin > Sol de noyer > Sol de noyer-MO (feuilles et châtons-4%) > Sol de noyer-MO (débris racinaires-2%) > Sol de noyer-MO (débris racinaires-4%). Ce classement montre qu'un effet défavorable des matières organiques commence à partir de 4% de la partie aérienne (feuilles et châtons) du noyer.

Tableau n° 23 : Classement des groupes homogènes (test de Newman-Keuls)

Traitements	Groupes
Sol noyer-fumier (4%)	A
Sol noyer-fumier (2%)	B
Sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%)	C
Sol témoin	D
Sol de noyer	E
Sol de noyer- MO (feuilles et châtons-4%)	F
Sol de noyer-MO (débris racinaires-2%)	G
Sol de noyer-MO (débris racinaires-4%)	H

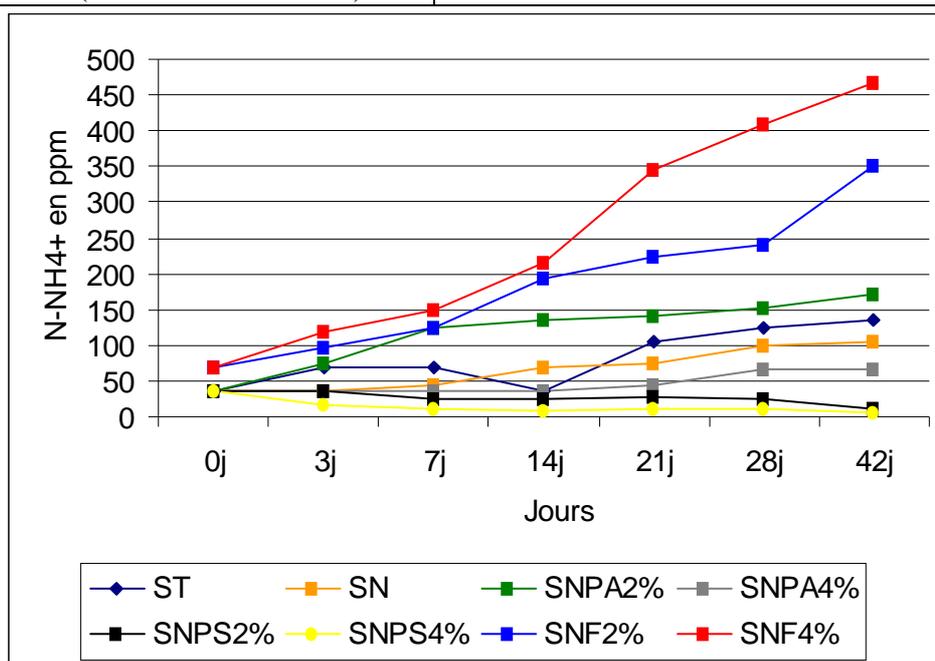


Figure n° 19 : Effet de différentes matières organiques du noyer sur l'évolution de l'azote ammoniacal dans le sol

ST: Sol témoin

SN: Sol de noyer

SNPA2%: sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%)

SNPA4%: sol de noyer- MO (feuilles et châtons-4%)

SNPS2%: sol de noyer- MO (débris racinaires-2%)

SNPS4%: sol de noyer- MO (débris racinaires-4%)

SNF2%: sol de noyer- fumier (2%)

SNF4%: sol de noyer- fumier (4%)

Ces résultats suggèrent que le fumier a pour effet de stimuler l'activité des germes ammonificateurs dans le sol. Ceci est en relation directe avec la richesse de ce fumier en éléments fermentescibles et métabolisables (Grafin, 1970).

Aussi, l'effet favorable des matières organiques (feuilles et châtons-2%) du noyer sur l'ammonification semble donc résulter en partie de l'apport des substances nutritives qui favorisent l'activité des germes ammonificateurs ou encore des composés organiques facilement métabolisables riches en azote organique et constituant une source nutritive pour les populations microbiennes.

L'ammonification dans le sol est l'œuvre d'une multitude de micro-organismes appartenant aux bactéries, champignons et actinomycètes. Donc quelque soit, les conditions écologiques du milieu, il y aura toujours des micro-organismes adaptés à ces conditions et capables de poursuivre le processus d'ammonification (Genermont, 1996).

1.2. Influence des différentes matières du noyer sur l'évolution quantitative de l'azote nitrique dans le sol de la région de R'haouat.

L'observation du tableau n° 09 en annexes et de la figure n° 20 relatifs à la cinétique de nitrification de l'azote organique des sols de noyeraie sur une période de 42 jours d'incubation à une température de 28°C, montrent une activité nitrifiante très élevée dans les systèmes sol de noyer-fumier (4%), sol de noyer-fumier (2%) et sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%) ceci se traduit par la libération respective de 512.1ppm, 357.6 ppm et 175.2ppm d'azote nitrique à la fin d'incubation (42 jours), tandis que dans les systèmes sol témoin et sol de noyer, nous avons noté une quantité de 130.4 ppm et 105.4 ppm.

Pour les sols à forte teneur en matière organique (feuilles et châtons-4%) du noyer et (débris racinaires 2% et 4%) du noyer, la nitrification de l'azote dans la solution du sol est fortement diminuée.

Ceci indique clairement que l'adjonction du fumier à un sol de noyeraie induit une élévation de la concentration en azote nitrique ; ce phénomène est dû à la présence dans ce fumier d'éléments facilement métabolisables qui provoquent une activité minéralisatrice intense.

L'augmentation de la teneur d'azote nitrique sous l'effet du fumier a été confirmée ainsi par Laudelout et Lamber (1982) qui ont justifié à leur tour que cette augmentation est due à l'apparition d'une nouvelle ambiance réunissant tous les facteurs mésologiques (pH, température,...) et énergétique qui induisent une activité potentielle, ainsi qu'un accroissement de la densité des groupes microbiens spécialisés dans la dégradation des formes organiques de l'azote.

La nitrification semble être favorisée par l'apport des feuilles vertes du noyer à faible concentration (2%).

Selon Dommergues et Mangenot (1970), La nitrification s'effectue dans le sol sous l'action des bactéries chimolithotrophes, telles que ; Nitrosomas, Nitrobacters,...etc. qui sont très actives à pH basique (7-8-9) et en présence de CaCO₃, ce sont des micro-organismes aérobie strictes.

Cependant, nous notons dans le système sol de noyer-MO (feuilles et châtons-4%), sol de noyer-MO (débris racinaires-2%) et sol de noyer-MO (débris racinaires-4%) une faible activité nitrifiante qui s'est traduit par une libération respective de l'azote nitrique de 75ppm, 15.5ppm et 4.75ppm après 42 jours d'incubation.

L'analyse de la variance (tableau n° 27 en annexes), le test de Newman et Keuls (tableau n° 24) et le coefficient de corrélation concernant les différents traitements confirment nettement que la nitrification est négativement corrélée avec le taux de matière organique avec un « $r = - 0.95$ ».

En effet, il existe des différences significatives entre les traitements sur cette période de 42 jours.

Le test de Newman-Keuls (tableau n° 24) classe les différents traitements dans l'ordre décroissant comme suit : Sol de noyer-fumier (4%), Sol de noyer-fumier (2%), Sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%) > Sol témoin > Sol de noyer > Sol de noyer-MO (feuilles et châtons-4%) > Sol de noyer-MO (débris racinaires-2%) > Sol de noyer-MO (débris racinaires-4%). Ce classement montre qu'un effet défavorable de matière organique se manifeste à partir de 4% de la partie aérienne (feuilles et châtons) du noyer.

Tableau n° 24: Classement des groupes homogènes (test de Newman-Keuls)

Traitements	Groupes
Sol noyer-fumier (4%)	A
Sol noyer-fumier (2%)	B
Sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%)	C
Sol témoin	D
Sol de noyer	E
Sol de noyer- MO (feuilles et châtons-4%)	F
Sol de noyer-MO (débris racinaires-2%)	G
Sol de noyer-MO (débris racinaires-4%)	H

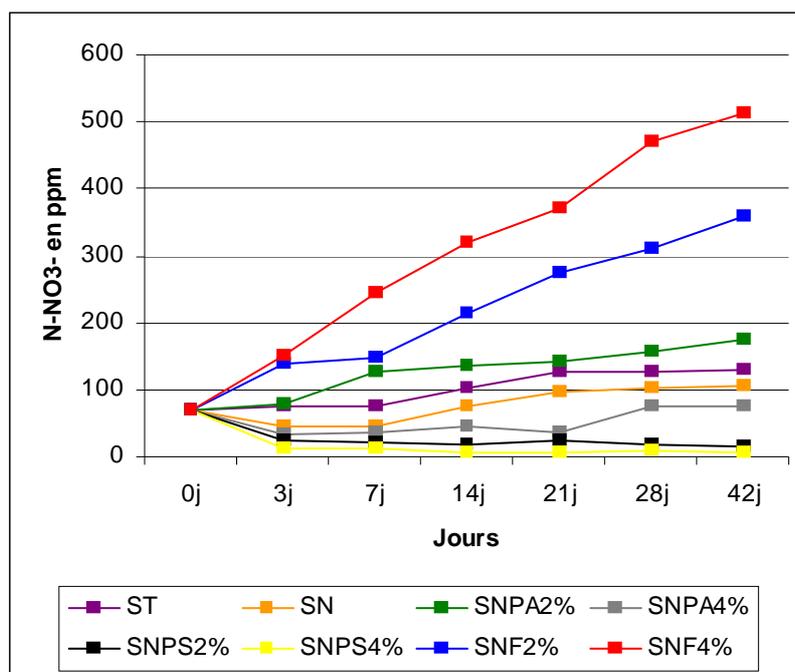


Figure 20 : Effet de différentes matières organiques du noyeraie sur l'évolution de l'azote nitrique dans le sol

ST: Sol témoin

SN: Sol de noyer

SNPA2%: sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%)

SNPA4%: sol de noyer- MO (feuilles et châtons-4%)

SNPS2%: sol de noyer- MO (débris racinaires-2%)

SNPS4%: sol de noyer- MO (débris racinaires-4%)

SNF2%: sol de noyer- fumier (2%)

SNF4%: sol de noyer- fumier (4%)

Ce sont des bactéries et précisément les genres *Nitrosomas* et *Nitrobacter* qui sont responsables de la nitrification et puisqu'il y a un effet sur la nitrification, la matière organique (feuilles et châtons-4%), débris racinaires (2%) et débris racinaires (4%) agirait négativement sur ces micro-organismes de 2 manières (Badia, 2000) : elle **modifie les conditions écologiques** : aération, humidité, pH ...et de ce fait, elle diminue l'activité des micro-organismes ; elle **Réduit la population microbienne** : il se pourrait que de fortes teneurs en matières organiques (feuilles et châtons-4%) et (débris racinaires 2% et 4%) du noyer deviennent toxiques (effet de la juglone) vis-à-vis des micro-organismes nitrifiants.

Il se pourrait aussi que ces matières organiques aient bloqué les germes nitrificateurs. Ainsi plusieurs auteurs ont indiqué que les micro-organismes (les germes nitrificateurs) sont bloqués par les lessivats de litière et de feuilles et il en résulte une diminution de leur densité. Boquel et al (1970), Bertru et al (1985), et Roze et Guisse (1986) in Tissaux (1996) ont noté une forte inhibition de la nitrification par les hydrosolubles de litières, pouvant être due à une inhibition de leurs enzymes.

Cependant, il semble que l'augmentation de la teneur d'N-nitrique sous l'effet du taux de matière organique à faible dose (feuilles et châtons-2%), seront due à une influence positive sur l'ambiance édaphique et ceci stimulerait les germes responsables du processus de nitrification de l'azote ammoniacal.

1.3. Influence des matières organiques du noyer sur l'évolution quantitative de l'azote minéral dans le sol de la région de R'haouat.

L'objectif de cette phase de notre travail est d'analyser respectivement l'effet de matière organique sur les processus d'ammonification et de nitrification des sols.

La minéralisation de l'azote du sol a été suivie à court terme dans 08 systèmes expérimentaux : sol témoin, sol de noyer, sol de noyer-MO (feuilles et châtons 2% et 4%), sol de noyer-MO (débris racinaires 2% et 4%), sol de noyer-fumier (2% et 4%); (figure n° 22 et tableau n° 11 en annexes) , en condition d'incubation de laboratoire (la température est de 28°C, l'humidité est de 80% de la capacité de rétention) et la durée d'incubation est de 42 jours.

Sur le plan évolutif, il s'est minéralisé durant la première décade, une quantité considérable d'azote minéral. Au plan quantitatif, il y a production de 272.2ppm dans le système sol-fumier (2%) et 396.1ppm dans le système sol-fumier (4%).

Cette production importante de l'azote minéral au cours de la première décade correspond à la minéralisation de l'azote organique facilement minéralisable. En effet, ce phénomène a été observé auparavant par de nombreux chercheurs Stan et al. (1972) et Vong et al. (1989).

Parallèlement, il se produit dans le système sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%) la libération d'une quantité importante d'azote minéral (252ppm). Cependant, dans le sol témoin et le sol de noyer, les quantités enregistrées sont respectivement de 145.75ppm et 90.5ppm d'azote minéral.

Peu après, le rythme de minéralisation, dans ces systèmes, augmente lentement et régulièrement, et atteint une quantité de 979.3ppm dans le traitement sol de noyer-fumier (4%) et une quantité de 708.1ppm dans le traitement sol de noyer-fumier (2%). Toutefois, des quantités de

346ppm dans le traitement sol de noyer-MO(feuilles et châtons) (2%), de 265.4 ppm dans le sol témoin et de 210.4ppm dans le sol noyer et cela après 42 jours d'incubation.

Cependant, nous avons enregistré dans les traitements sol de noyer-MO (feuilles et châtons-4%), sol de noyer-MO (débris racinaires-2%) et sol de noyer-MO (débris racinaires-4%) un abaissement graduel de l'activité minéralisatrice durant toute la période d'incubation.

En outre, pour avoir une idée précise sur le degré d'influence des différents taux de matières organiques utilisés, nous avons procédé à une étude statistique basée sur l'analyse de la variance (test de Fisher-Snedecor ; tableau n° 28 en annexes), un classement des moyennes (test de Newman-Keuls, tableau n° 25) et une étude du coefficient de corrélation (à une probabilité < 0,05%).

L'analyse de la variance fait apparaître un effet «matière organique» très hautement significatif sur la production de l'N-minéral dans le sol. L'étude du coefficient de corrélation permet de déterminer le type de relation existant entre la teneur en N-minéral et le taux de matière organique. Elle montre que la minéralisation de l'azote est inversement proportionnelle au taux de MO (feuilles et châtons-4%) et (débris racinaires) (2% et 4%) (une corrélation négative avec un $r = -0,9970$).

Le test de Newman-Keuls classe les différents traitements dans l'ordre décroissant comme suit : Sol de noyer-fumier (4%), Sol de noyer-fumier (2%), Sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%) > Sol témoin > Sol de noyer > Sol de noyer-MO (feuilles et châtons-4%) > Sol de noyer-MO (débris racinaires-2%) > Sol de noyer-MO (débris racinaires-4%). Ce classement montre qu'un effet défavorable des matières organiques commence à se manifester à partir de 4% de la partie aérienne (feuilles et châtons) du noyer.

Tableau n° 25: Classement des groupes homogènes (test de Newman-Keuls)

Traitements	Groupes
Sol noyer-fumier (4%)	A
Sol noyer-fumier (2%)	B
Sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%)	C
Sol témoin	D
Sol de noyer	E
Sol de noyer- MO (feuilles et châtons-4%)	F
Sol de noyer-MO (débris racinaires-2%)	G
Sol de noyer-MO (débris racinaires-4%)	H

Il ressort de ces résultats que l'effet «matière organique» est variable en fonction de la qualité et de la quantité des matières organiques

- Il y a un effet «fumier 2% et 4%» très significatif qui est suivi de l'effet matière organique- (feuilles et châtons-2%), ceux-ci ont augmenté le pouvoir minéralisateur de l'azote, et ont stimulé l'activité biologique dans les sols.

Cela est sans doute lié à la biodégradation microbienne des formes simples et facilement biodégradables d'azote, ainsi qu'à l'existence dans les feuilles de noyer de petites concentrations en azote.

Selon Alkinson et Maclean (1966) et Gros (1967), les matières organiques fraîches comme le fumier a une action immédiate sur l'activité microbienne, sur les propriétés physiques et sur la fertilité du sol, et cela par l'action des produits transitoires formés au cours de sa décomposition.

Il y a lieu, de souligner particulièrement l'effet positif du fumier sur l'activité des germes minéralisateurs, conformément aux travaux de Laudelout et Lambert (1982), cette minéralisation est liée à la richesse du fumier en composés azotés facilement biodégradables, et la présence des éléments chimiques tels que le Ca^{++} , le P... . Ces composés stimulent l'activité des micro-organismes et induisent ainsi une certaine biodégradation des formes organiques de l'azote.

On peut expliquer cette similitude aussi par un épuisement de l'azote facilement minéralisable dans le système solde noyer-fumier, et son immobilisation par les micro-organismes réorganisateur due à un rapport C/N élevé du fumier, ce qui peut réduire certainement une accumulation de l'azote minéral dans le sol. De plus, les processus d'immobilisation et de minéralisation sont deux phénomènes instantanés (Bonneau et Souchier, 1979).

La très faible minéralisation de l'azote observée est due aux fortes teneurs en matière organique (feuilles et châtons-4%) puis (débris racinaires-2%) puis (débris racinaires-4%) du noyer (figures n° 21) riches en substances phytotoxiques (juglone).

Selon Tissaux (1996), les polyphénols réduisent la qualité du site par réduction de la minéralisation des nutriments.

Ainsi, la teneur en composés phénoliques peut affecter la décomposition et le turn-over de la matière organique. Les composés secondaires (résines, gommés, composés phénoliques) peuvent inhiber l'action des micro-organismes, voire même avoir des effets toxiques, fongicides et antibiotiques.

Il semblerait que la juglone empêche la minéralisation dans les différents traitements de la matière organique du noyer, comme cela a été signalé par Tissaux (1996) qui rapporta que les polyphénols, empêchent la minéralisation des litières.

Néanmoins, nous notons une forte production d'azote minéral dans le sol amendé par la partie aérienne du noyer (feuilles et châtons-2%), et ce comparativement au sol témoin.

Cette différence d'activité pourrait être due en grande partie à la teneur élevée en azote facilement minéralisable fournie par cette matière organique, laquelle induit une stimulation et un accroissement des populations microbiennes dans le sol.

En effet, les substances énergétiques que renferment les engrais verts stimulent l'activité microbienne, et la minéralisation (Vilain, 1997).

D'après Berner et al (2004), l'apport des matières organiques dans le sol influencera fortement et différemment les divers micro-organismes. Ceci dépend d'une part de la dose, mais aussi du type de substance organique apportée.

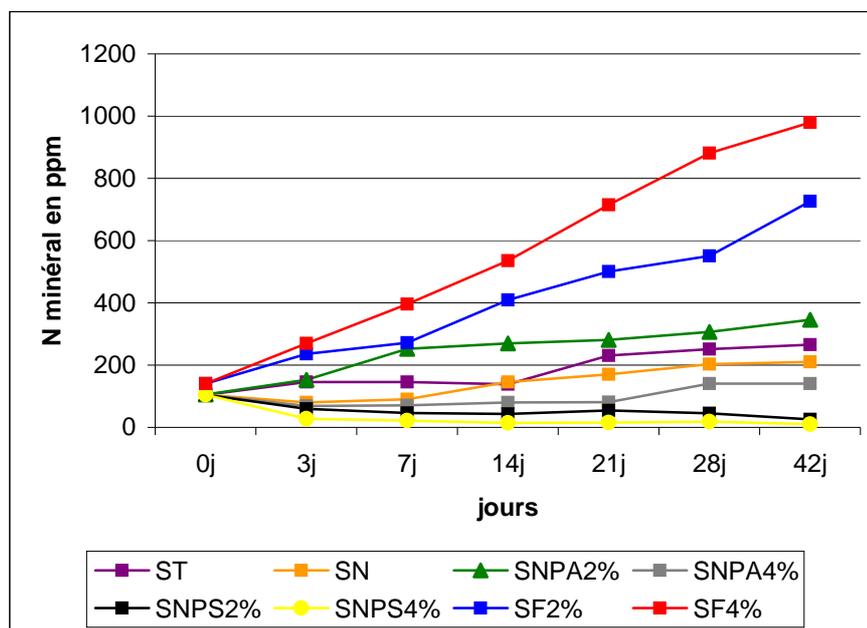


Figure 21 : Effet de différentes matières organiques du noyeraie sur l'évolution de l'azote minéral dans le sol

ST: Sol témoin

SN: Sol de noyer

SNPA2%: sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%)

SNPA4%: sol de noyer- MO (feuilles et châtons-4%)

SNPS2%: sol de noyer- MO (débris racinaires-2%)

SNPS4%: sol de noyer- MO (débris racinaires-4%)

SNF2%: sol de noyer- fumier (2%)

SNF4%: sol de noyer- fumier (4%)

Conclusion

L'accumulation de l'azote dans la plante est la conséquence d'une minéralisation intense et d'une meilleure nutrition azotée des plantules. Le cas du sol ayant un faible taux de MO (feuille et châtons) du noyer (2%) où la plante dispose d'une quantité d'N minéral suffisante.

Cependant, la faible accumulation de l'azote notée dans les plantules de pommiers (feuille et châtons du noyer 4%, débris racinaires du noyer 2% et 4%), le ralentissement du développement du végétal (production d'une faible biomasse végétale) sont vraisemblablement le résultat d'une moindre minéralisation dans le sol suite à l'effet des substances toxiques (juglone) existants dans ses matières organiques de noyeraie.

Donc, l'inhibition de la minéralisation de l'N dans ces traitements provoque une carence en azote. Or celui-ci est un élément nécessaire au développement des plantes, en effet, (l'azote participe à l'élaboration des chaînes protéiques qui constitue l'ossature essentielle des divers parties de la cellules : cytoplasme, membranes, inclusions fonctionnelles telles que les mitochondries,...) (Skirej, 2000).

Dans le sol du noyer où les teneurs de fumier sont de (2%) et de (4%), nous notons une amélioration de la minéralisation de l'azote par rapport aux autres systèmes. Cette influence favorable est liée d'une part de la disparition de l'effet « MO » et d'autre part à l'avènement d'une ambiance nouvelle (bonne structure, aération,...) propice à l'activité biologique globale et la survie des jeunes plants.

Cette adjonction des matières organiques entraîne, dans le cadre d'un co-métabolisme microbien, la dégradation des composés organiques qui sont susceptibles de perturber la croissance des jeunes plants de pommier (*Golden delicious*). Ainsi, l'apport de fumier peut atténuer l'acidité des litières et relance l'activité biologique dans les horizons supérieurs du sol.

Aussi, cette substance peut favoriser un démarrage de l'activité biologique des sols singulièrement bloqués par les composés organiques acides d'origine végétale et/ou microbienne comme l'avait noté Messadia (1987) dans ses travaux sur les problèmes de régénération de peuplements forestiers.

Au plan statistique, l'étude de coefficient de corrélation, confirme également la relation proportionnelle entre l'azote minéralisé dans le sol et l'azote prélevé par la plante, avec une corrélation positive ($r = +0,0849$).

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Cette investigation relative à l'étude de l'influence de différentes matières organiques de noyeraie (feuilles, châtons et débris racinaires) dans la région de R'Haouat (Hidoussa) a été menée en vue de caractériser l'arrière effet d'un verger de noyers sur de jeunes plants de pommiers et de rechercher plus particulièrement l'action éventuelle d'un phénomène allélopathique dans le mauvais comportement, voire même le dépérissement de cette espèce fruitière.

Sur le plan du comportement du végétal, différents tests comportant différentes matières organiques du noyer (feuilles, châtons et débris racinaires) ont été effectués pour suivre les effets de ces matières issues du noyer sur la croissance, la biomasse et la minéralomasse des systèmes aériens et souterrains des pommiers et ce en employant la culture en pots comme technique expérimentale.

Parallèlement, des incubations en laboratoire d'échantillons de sols seuls ou de sols additionnés de matières organiques du noyer ont été menés pour suivre la dynamique de l'azote minéral dans les sols soumis à l'effet de matières organiques de la noyeraie.

Cette étude a montré que l'effet de certaines matières organiques telles que les feuilles et les châtons (dose 2%) se traduit par une augmentation relative de la croissance, de la biomasse et de la minéralomasse des différents organes des jeunes pommiers; ce-ci peut être lié à la présence dans ces matières organiques de quelques substances acides de type organiques, d'acides aminés et de carbohydrates de différentes natures dont le métabolisme donne lieu à des substances qui semblent favoriser un meilleur comportement des jeunes pommiers. Aussi, ces composés simples stimulent indirectement la croissance et le développement des plantules, en favorisant une meilleure activité microbienne dans le sol et la biosynthèse, par voie microbienne, de métabolites nécessaires aux fonctions des jeunes plants de pommiers.

Ce type de matière organique (feuilles et châtons-2%) ne se comporte plus comme une source d'éléments phytotoxiques, mais plutôt comme une réserve d'éléments nutritifs qui sont libérés progressivement sous l'action des microflores telluriques et mis à la disposition des végétaux.

Ainsi, les matières organiques (feuilles et châtons-2%) en plus de leurs rôles de fournisseur d'éléments minéraux semble influencer favorablement certains facteurs exogènes les plus importants pour l'expression des potentialités organogénétiques des tissus et pour la synthèse des régulateurs de croissance en particulier les auxines et les cytokinines, comme cela a été souligné également dans les travaux de Margara et Rancillac (1966) in Dommergues et Mangenot (1970).

Toutefois, d'autres matières organiques telles que les débris racinaires du noyer semblent renfermer des composés hydrosolubles doués d'un pouvoir quelque peu antimicrobien comparativement aux matières organiques de type (feuilles et châtons-2%). Ce pouvoir réduit relativement l'activité microbienne, comme l'ont constaté Topps et Wain (1957), Mandels et al (1961) et Sening (1963) in Tissaux (1996) et influence défavorablement le comportement végétal.

D'autre part, il est noté qu'à partir d'une concentration de 4% de la matière organique (feuilles et châtons) du noyer, le pommier dépérit après 12 mois de culture en pots.

D'une façon générale, les plantules qui se sont développées dans le système sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%) présentent les meilleurs résultats au plan de la croissance, de la production de matière sèche et de la minéralomasse. Dans ce sens, un classement a été établi comme suit : système sol témoin > système sol de noyer > système sol de noyer-MO (feuilles et châtons-4%) > système sol de noyer-MO (débris racinaires-2%) > système sol de noyer-MO (débris racinaires-4%).

Cependant, l'effet inhibiteur des matières organiques issues des (feuilles et châtons-4%), (débris racinaires-2%) et (débris racinaires-4%) de *Juglans regia* L. est due vraisemblablement à la présence des allélochimiques ou des phytotoxines qui sont libérés lors du pluvio-lessivage (lavage) et de la décomposition des matières organiques du noyer dans les sols.

Dans les conditions de cette expérimentation, il apparaît que l'impact des matières organiques du noyer sur la croissance et la biomasse des jeunes pommiers s'est principalement exprimé par une diminution de la disponibilité des éléments nutritifs du sol et une diminution ou le blocage de la synthèse des substances de croissances.

Cet effet d'inhibition de la croissance, de la biomasse et de la minéralomasse des jeunes pommiers est vraisemblablement attribué à la richesse de ces matières organiques (feuilles et châtons-4%), (débris racinaires-2%) et (débris racinaires-4%) en juglone, car un effet nul est relevé sous l'action d'un matériel végétal pauvre en juglone (feuilles et des châtons de noyer utilisés à une concentration de (2%) dans les sols).

Ainsi, ces observations mettent en relief un rôle négatif de la juglone dont l'effet inhibiteur observé au champ confirme ainsi la manifestation d'un véritable phénomène d'allélopathie d'origine végétale ; autrement dit, c'est un arrière effet défavorable du noyer sur le pommier.

Cette étude révèle que les débris organiques provenant des racines du noyer (*Juglans regia* L.) sont ceux qui induisent les effets les plus inhibiteurs et les plus intenses sur le végétal et cela au vu de la concentration de ces matières organiques en cette substance phytotoxique (juglone) (Dana et Rosie Lerner, 2004, Mohlenbrock, 2002, Funt et Martin, 1999).

Il semble alors que les débris racinaires du noyer contiennent plus de composés phénoliques comparativement aux jeunes feuilles vertes et ceci pourrait être dû à la synthèse par ces organes végétaux de plus grandes quantités de composés phénoliques fortement inhibiteurs.

Dans cette étude, les réductions observées au niveau de certaines fonctions végétales peuvent être attribuées à l'interférence allélopathique du noyer et ses effets négatifs sur la culture de pommier et cela par l'intermédiaire de substances phénoliques phytotoxiques (juglone) provenant des matières organiques du noyer qui s'incorporent continuellement après leur chute aux sols.

Les composés phénoliques identifiés et à pouvoir allélopathique élevé se trouvent dans les parties aériennes (feuilles) et dans les parties souterraines (racines) du noyer (*Juglans regia* L) et appartiennent essentiellement à la famille des quinones, lesquelles induisent des effets inhibiteurs significatifs sur la biomasse des tiges, des feuilles et des racine, la croissance (en hauteur, radiale et racinaire) et la minéralomasse des tiges, des feuilles et des racines des jeunes pommiers.

Dans les conditions expérimentales adoptées, nous avons parallèlement enregistré au vue des résultats obtenus, un effet favorable de ces matières organiques (feuilles et châtons) du noyer sur la production de l'azote minéral dans le sol lorsqu'ils sont ajoutés à une dose de 2%.

Cette évolution de l'azote minéral semble être liée aux fortes teneurs en azote total de la matière organique (feuilles et châtons-2%). Ainsi l'accumulation relative de l'azote dans le système sol de noyer-MO (feuilles et châtons) à une teneur de 2% est alors due à une minéralisation intense du pool organique azoté au cours de l'incubation.

Il semble que la nature "améliorante" des feuilles et des châtons du noyer à la concentration de (2%) et qui sont composées de substances hydrolysables (sucres, acides aminés...) induit un effet positif marqué sur l'ambiance édaphique, ceci stimulerait les germes responsables du processus de l'ammonification (Mangenot et Toutain in Pochon et Deberjac, 1958).

Néanmoins, cette étude étalée sur une période de 42jours d'incubation nous a permis de constater en revanche que l'enfouissement de ces matières organiques du noyer à des doses importantes (feuilles et châtons-4%), débris racinaires-2% et débris racinaires-4%) induit un blocage de la minéralisation de l'azote dans le sol de la noyeraie. On peut penser que la juglone aurait exercé un effet antimicrobien très remarquable à l'égard des minéralisateurs de l'azote organique.

Concernant l'influence des matières organiques sur l'évolution de l'azote, nous avons remarqué que l'adjonction des feuilles et châtons-4% du noyer aux sols provoquerait une inhibition des germes minéralisateurs et/ou un phénomène d'immobilisation de l'azote minéral, réduisant alors les formes assimilables de l'azote dans le sol.

Parallèlement, cette investigation fait ressortir aussi que l'adjonction des matières organiques (débris racinaires-2%) et la matière organique (débris racinaires-4%) provoque un effet dépressif très net sur les germes du sol et sur le processus de la minéralisation de l'azote.

Finalement, nous pouvons suggérer que l'augmentation de la dose de la matière organique du noyer a pour effet un blocage considérable du processus de minéralisation de l'azote dans les sols de la noyeraie. Cela est dû au rapport C/N relativement élevé qui semble être le facteur principal de cette immobilisation (Jacquin et Vong, 1990).

Cette immobilisation est liée, au rapport C/N des matières organiques utilisées (feuilles et châtons-4%) et débris racinaires (2% et 4%) du noyer et à la présence au sein de ces substances complexes des substrats hydrocarbonés difficilement biodégradables, en particulier dans les débris racinaires. Ainsi, l'adjonction d'un substrat carboné issu des racines du noyer à un sol peut provoquer très nettement un effet dépressif sur les associations microbiennes minéralisatrices de l'azote.

Aussi, la matière organique du noyer à une dose de 4%, quelle que soit son origine, a pour effet de ralentir la cinétique de la croissance des jeunes pommiers, leurs biomasse, et leurs minéralomasse et diminue nettement la minéralisation de l'azote organique dans les sols.

Cependant, il a été constaté que l'incorporation d'une autre matière organique de type "fumier" améliore significativement le processus de minéralisation de l'azote dans le sol de la noyeraie.

Un tel résultat confirme l'intérêt agronomique du fumier, qui joue un rôle de conditionneur important de l'activité de microflore dans les sols et des autres propriétés des sols.

A l'issue de ce travail, il semblerait que l'utilisation des matières organiques du noyer à des doses faibles améliorent le rendement des jeunes plants de pommiers. Néanmoins, les doses élevées induisent des effets dépressifs sur le végétal et les microflores du sol, donc, il serait judicieux de procéder à des apports de fumier et d'établir des normes d'utilisation de ce type de matière organique afin de rentabiliser aux mieux les effets de cette matière organique en décomposition.

Dans le cadre des perspectives, cette étude devrait être complétée par d'autres travaux pour mieux comprendre le phénomène et les mécanismes par lesquels les matières organiques (feuilles, châtons et racines) du noyer agissent sur le comportement des jeunes pommiers. Ainsi, il serait préférable de procéder à la quantification de la juglone, dans un premier temps, dans les parties végétatives aériennes et les parties souterraines du noyer.

Dans un deuxième temps, il devient nécessaire suite à ces résultats d'orienter nos travaux vers une étude de longue durée afin de mieux élucider l'importance du phénomène de la minéralisation de l'azote lors de l'enfouissement des résidus organiques du noyer (feuilles et châtons-2%).

Il nous semble nécessaire aussi, d'apporter un éclairage nouveau sur les mécanismes d'action de cette substance (juglone) sur le comportement des jeunes plants aussi son devenir dans les sols et la rhizosphère, cela pourrait contribuer à expliquer au plan chimique et biochimique l'effet allélopathique de ces composés sur la physiologie des plantules de pommiers dans la région de R'Haouat.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références Bibliographiques

- A F O C E L.; (2004) :** Eucalyptus et environnement. Itinéraire technique et production. Fiche Information Eucalyptus n°3.V.2.pp.1-4.
- ALKINSON H-J., MACLEAN A-J.; (1966) :** Fumier, engrais vert et compost. Ministère de l'Agriculture Canada. Pub.OHIO.agr. Expt.Sta.Bull n° 605.pp1-18.
- ANDERSON R.; (2003) :** Black walnut toxicity. Rev. Cooperative Extension Washington State University n°32. p.222 Havana and Spokane Connty.
- APPLETON B., BERRIER R., HARRIS R., ALLEMAN D., SWANSON L.; (2000) :** The walnut tree : allelopathic effects and tolerant plants. Pub 430-021. Virginia Cooperative Extension.
- AUBERT G.; (1966) :** Méthodes d'analyse des sols, CRDP, Marseille. 191p.
- BADIA D.; (2000) :** Potential nitrification rates of semi arid crop land soils from the central .Ebro-Valley. Spain-Arid soils .Res.reha,jour .nat.agr (14) 3 .pp.281-292.
- BALANDREAU A.; (1976) :** Sugars in one year old seedlings of maritime pine (*pinus pinaster*). Annl.sci.Forest n°30.
- BECKER M., LEVY G.; (1983) :** Influence d'un dessèchement du sol sur la nutrition minérale des jeunes plants des résineux. Ann.Sci.forest.n°17.pp.22-26.
- BENBRAHIM L., LOUSTAU D., GAUDILLERE J-P., SAURE E.; (1996) :** Effects of phosphates deficiency photosynthesis and accumulation of strach and soluble. Annl.forest n°16.
- BERJAUD C., DOUMAS P., CLLEJA M., COUPE M., ESPEOLE C., AUZALE J.; (1986) :** Phosphatases extracellulaires et nutrition phosphatée chez les champignons ectomycorhiziens et les plantes hôtes. Ann. Phys. Veg.n°21. Ed. Gauthier-Villars.pp.14-25.
- BERNER A., BIERI M., GALLI U., FUCHS J., MAYER J., SCHLEISS K.; (2004) :** Influence des composts et des digestats sur l'environnement, la fertilité des sols et la santé des plantes. Rev.Agroscope. Ed.FIBL.17p.
- BERNIER Y-J.; (2005) :** La recherche forestière sur la côte nord. Bulletin d'information n°93 du 20 janvier 2005.
- BERTOLO A.; (1998) :** Etudes expérimentales sur le rôle des poissons sur le fonctionnement des systèmes pélagiques lacustres. Thes.Doct.Ecol.Univ.Paris. 6-85p.
- BERTSCHINGER L., GYSI C., HÄSELI A., NEUWEILER R., PFAMMATTER W., PYSER J-P., SCHMID A., WEIBEL A.; (2004) :** La fumure en arboriculture fruitière. Fruits à pépins, fruits à noyaux, Kiwis, baies d'arbustes. Rev.FAW n°15. 48p.
- BHOSAL S-H., BODHANKAR S-L., KULKARNI M-B., , KULKARNI B-A.; (1999) :** Pharmacological studies of isomeric juglones on the isolated frog heart. Indian journal of pharmacology 1999 n°31.pp.222-224.

- BILLES G-P., BOTTNER N., RIOLET G.; (1987)** : La rhizosphère. Site d'interactions biologiques. Rev.ecol.Biol.sol.22.pp116-127.
- BILLES G-P., BOTTNER N., RIOLET G.; (1988)** : Effets des racines de graminées sur la minéralisation nette de l'azote du sol. Rev.ecol.Biol.sol.25 (3).pp216-277.
- BIIRKETT M-A., CHAMBERLAIN K., HOOPER A-M., PICKETT J-A.; (2001)** : Does allelopathy offer real promise for practical weed management and for explaining rhizosphere interactions involving higher plants? Plant and Soil, pp.31-39.
- BLUM B-J.; (2004)** : Perspectives pratiques du contrôle biologique des adventices. AFPP-dix neuvième conférence du Columa. Journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes. Dijon 8-9 et 10 dec 2004. 8p.
- BLUMENTHAL M.; (1998)** : Walnut hull. The complete German Commission E Monographs. Qustin TX Q;ericqn Botqnicql Concil. P381.
- BOELKINS J-N., BOTTNER N., RIOLET G.; (1987)** : Effects of intravenous in the dog. Toxicon.6. p99.
- BONEANTE P., ASOLO F., PEARSON V., SHANNERINIS S., GLANINAZZIS S.; (1986)** : Analyses ultracyptique des interactions entre plantes et champignons au niveau cellulaires dans les mycorhize. Ann.scien.Forest.n°24.pp.31-40p.
- BONEV I.; (1973)** : Note technique sur le noyer, production des plants greffés et création des noyeraies. Ed. Bibliothèque forestière.Alger.31p.
- BOUHIER DE L'EGLUSE R.; (1983)** : La pomme culture et débouchés. Ed. Flammarion. 316p.
- BOULLARD R.; (1995)** : La guerre chimique des végétaux. Thes.Doct.Univ.Paris. 221p
- BOUNEAU M., SOUCHIER B.; (1979)** : Pédologie. Constituants et propriétés du sol. Ed. Masson. Paris.pp.388-392.
- BOURGOIN B.; (1999)** : Influence des exsudats racinaires des graminées sur la croissance des arbustes. Rev.n°24.pp.23-28.
- BOUSQUET-MELOU A., LOUIS S., ROBLES C., FERNANDEZ C., GREFF S., DUPOUYET S.; (2004)** : Potentialités allélopathiques de *Medicago arborea* L. (Fabaceae), espèce envahissante en milieu méditerranéen. Deuxième journée de l'Institut Français de la Biodiversité. Marseille, 25-28 mai 2004.p.110.
- BRETAUDEAU J.; (1981)** : Atlas d'arboriculture fruitière. Vol.IV. Ed. J-B Bailliere. Paris.pp.147-170.
- BRUCKERT S., DOMMARGUES Y., JUNG G.; (1968)** : Etude comparée de diverses substances hydrosolubles extraites de quelques litières tropicales et tempérées. Ann. Sci.foret n°21.pp.85-100.

BRUGIERE N., SUZUKI A., HIREL B.; (1987) : Assimilation de l'ammonium. Assimilation de l'azote chez les plantes. Aspect physiologique, biochimique et moléculaire. Ed.INRA. Paris.pp.85-107.

BRURUNEL C.; (2002) : Décoloration des iris ? Revue Iris et Bulbeuses n° 144.p 6.

CAUSSANEL J.P.; (1997) : Phénomène de concurrence par l'allélopathie entre adventices et plantes cultivées. Columa-EWRC. Cycle international de perfectionnement en malherbologie. 7p.

CHAILLOU S., LAMAZE T .; (1997) : Nutrition ammoniacale des plantes. Assimilation de l'azote chez les plantes. Aspect physiologique, biochimique et moléculaire. Ed. INRA.Paris .pp.67-81.

CHAMPEROUX A.; (1962) : Effet de la gibbérelline et de la nutrition azotée sur la croissance et le métabolisme azotée des dactyles. Annl.physio.vég n°12.pp.23-28.

CHAUVEL G., COURPET N.; (1996) : Carences minérales des arbres fruitiers et d'ornement. Rev.Phytoma défense des cultures n°418.pp.18-23.

CHIAPUSIO G.; (2000) : Devenir des composés allélopathiques. Thèse de l'université de Savoie et de l'Université de Vigo.

CHIFFLOT V.; (2003) : Interactions entre culture intercalaire et feuillus précieux en système agroforestier. Thes.d'Ing des Travaux Agricoles. INRA. France.89p.

CHOTTES J-C.; (1986) : Evolution d'une biomasse racinaire doublement marquée (C.N) dans un système sol-plante, Etude sur le cycle annuel d'une culture de maïs. Thes.Doct.Univ.Nancy-France.116p.

CLIQUET J-B., OURRY A., BOUCAUD J.; (1987) : Mobilisation des réserves azotées chez les plantes herbacées. Assimilation de l'azote chez les plantes. Aspect physiologique, biochimique et moléculaire. Ed. INRA.Paris .pp.281-127.

CLOUTIER D-C., LEBLQNC M-L .; (2004) : Cultures intercalaires. 4p.

CLOUTIER D .; (2003) : Besoins en fertilisation des cultures : comment les déterminer ? Guide des pratiques de conservation en grandes cultures. 16p.

CORDONNIER T .; (2004) : Perturbations, diversité et permanence des structures dans les écosystèmes forestiers. Thes.Doct.ENGREF.pp.62.

C.R.P.F (CENTRE DE RESSOURCES POUR PROPRIETAIRES FONCIERS) (1999) : Options de gestion pour les champs agricoles abandonnés. Bulletin de diffusion Ontario.8p.

DANA M-N., ROSIE LERNER B.; (2004) : Black walnut. Rev n°0HO-193-W General horticulture. Unv.Purdue University cooperative Extension Service West Lqfqyette, IN.pp.39-40.

DAVET P .; (1996) : Vie microbienne du sol et production végétale Ed.INRA.Paris.383p.

DELABAYS N .; (2004) : Guerre chimique dans le monde végétale. Station fédérale de recherches en production végétale de Changins.

- DELABAYS N .; (2005) :** L'allélopathie et son utilisation en agriculture biologique. Journées techniques fruits et légumes et viticulture biologique.pp.25-33. Beaune, les 6 et 7 décembre 2005.
- DELABAYS N., MERMILOD G .; (2004) :** Phénomène d'allélopathie : premières observations au champ. Revue Suisse Agric.n°34.pp.213-237.
- DE RAISSAC R.; (2002) :** Processus agrobiologiques mis en jour par les SCV. Rev. Suisse.agr n°36.pp.25-35.
- DEROCHE M-E., BALBAR M.; (1987) :** L'activité nitrate réductase in vivo dans les différents organes de la luzerne. Les colloques de l'INRA19-21 nov. Ed. INRA.pp.121-133.
- DESAYMARD P.; (1977) :** Malherbologie forestière. Rev.phytoma. défense des cultures n°291.pp.5-8.
- DHARMASIRI N., DHARMASIRI S., JONES A-M., ESTELLE M. ; (2003) :** Auxin action in a cell-free system. Current biologie. Vol. 13.pp.1418-1422.
- DIEHL .; (2004) :** Agriculture générale. Ed. JB Baillère.pp.220-239.
- DOBREMEZ J-F., GALLET C., PELLISSIER F .; (1995) :** La guerre chimique chez les végétaux. La recherche. 26.912-916.
- DOMMERGUES Y .; (1971) :** Ecologie microbienne du sol. Ed. Masson et Cie.pp.156-213.
- DOMMERGUES Y . MANGENOT F.; (1970) :** Ecologie microbienne du sol. Ed. Masson et Cie.796P.
- DRAPIER J .; (1983) :** Les difficultés de régénération des sapinières vosgiennes. Importance de l'humus et rôle de l'allélopathie. Thes.Doct.3^{ème} cycle. Sciences forestières. Univ. Nancy.109p.
- DUCHAUFOR P-H .; (1977) :** Pédogénèse et classification des sols. Ed. Masson et Cie.796p.
- DUPAIGRE R-F .; (1999) :** Des connaissances sur les mauvaises herbes, les herbicides et les cultures. 17^{ème} conférence du COLUMA à Dijon. Rev.phytoma. Défense des végétaux. n°515.pp.12-16.
- ELREFAI IM., MOUSTAFA SMI .; (2004) :** Allelopathic effect of some cruciferous seeds on *Rhizoctonia solani kuhn* and *Grossypium barbadense L.* Pakistan journal of biological sciences 7 (4).pp.550-558.
- FANNY B.; (2005) :** Mise en évidence du potentiel allélopathique de la graminée *Festuca paniculata* dans les prairies subalpines. Rapport de stage de master –science du vivant- biodiversité écologie environnement.125p.
- FAO STAT .; (2006) :** La production mondiale des noix. Fev.2006.
- FAURE J-D ., WEYER C., CABOCHE M .; (1997) :** Assimilation du nitrate : nitrate et nitrite réductase. Assimilation de l'azote chez les plantes. Aspect physiologique, biochimique et moléculaire. Ed.INRA. Paris.pp.45-65.

- FEHER M., CHEM J.; (2003) :** Biodiversité et métabolites secondaires . Rev.sci.n°43.pp.28-35.
- FERGUSON S., BAIS H-P., VEPACHEDU R., GILROY S., VIVANCO J-M .; (2003) :** Allelopathy and exotic plant invasion from molecules and genes to species interactions. Science.301.1277-1380.
- FERRARIO S., FOYER C-H., MOROT-GAUDRY J-F .; (1987) :** Coordination entre métabolisme azoté, photosynthétique et respiration. Assimilation de l'azote chez les plantes. Aspect physiologique, biochimique et moléculaire. Ed.INRA. Paris.pp.235-247.
- FONTAR X ., THOMAS L.; (1992) :** Processus agrobiologique mis en jeu par les scv .Rev.agr.Suisse n°26.pp.12-25.
- FUNT R-C., MARTIN G.; (1999) :** Black walnut toxicity to plants, humans and horses. HYG 1148-93. Ohio University Extension Factsheet.pp.5-8.
- GRAVEL L.; (1971) :** Le stage "noyer". Bulletin de la vulgarisation forestière n°71. France 11p.
- GARBAYE J ., PINON J.; (1997) :** Nutrition minérale et sensibilité d'*Amorssonina brunna* et *Populus euramiricana*. Etude préliminaire sur les jeunes plants en milieu contrôlé. Ann.Sci.Forest.n°21.pp.36-42.
- GASTAL F., LEMAIRE G.; (1987) :** Comprendre le devenir de l'azote dans la plante. Rev. Perspective agricole n°21.pp.38-39.
- GATE P., HEBARD J-P.; (1997) :** Synthèse des acides aminés. Assimilation de l'azote chez les plantes. Aspect physiologique, biochimique et moléculaire. Ed.INRA. Paris.pp.198-248.
- GAUDILLERE J-P.; (1987) :** Gestion de l'azote chez les espèces ligneuses. Assimilation de l'azote chez les plantes. Aspect physiologique, biochimique et moléculaire. Ed.INRA. Paris.pp.295-234.
- GAUTIER M.; (1987) :** La culture fruitière, Vol 1 l'arbre fruitier. Ed.J-B Ballière 492p.
- GELHY D., NYS C., ROBINSON R.; (1995) :** Réponse d'un peuplement de pin larico de Corse (*Pinus nigra*). Espèce Haricio à la fertilisation en Sologne. Ann.Sci.Forest.n°17.pp.15-24.
- GENERMONT S.; (1996) :** Modélisation de la volatilisation d'ammoniac après épandage de lisiers sur parcelle agricole. Thes.Doct.Toulouse.170p.
- GERMAIN N. (1985) :** Minéralisation de l'azote dans un sol acide de Lande. Etude de l'effet litière in situ. Rev.Ecol.Biol.Sol.n°25.pp.31-46.Ed.Ghautier Villars.
- GOMA J. TCHIMBAKALA N., ROZE F.; (1985) :** Minéralisation de l'azote dans un sol acide de Lande. Etude de l'effet litière in situ. Rev.Ecol.Sol.n°22 (03).pp.281-290.
- GONDE H. CARRE G., JUSSIAUX P-H., GONDE R.; (1968) :** Cours d'agriculture moderne. Ed. la maison rustique. pp 80-82.
- GRAFIN P-H.; (1970) :** Evolution d4qppport organique dans le sol. Ed.Masson. Paris. pp.29-47.

GRIMA-PETTENATI J., LATCHE J-C., CAVALIE G.; (1987) : Migration des assimilats et protéolyse foliaire chez le soja : effet d'une carence en azote. Les colloques de l'INRA 19-21 nov.1985. Ed. INRA.pp.153-164.

GROS B.; (1967) : Engrais. Guide pratique de la fertilisation. Ed. Masson Rustique.430p.

GUYOT P., ZERULLA W., KNITTEL H.; (1990) : Effets du dicyandiamide en tant qu'inhibiteur de nitrification sur l'utilisation de l'azote et le rendement du blé d'hiver. Symposium international de l'INRA 7-8 nov. 1990. Nitrates-Agriculture-Eau. Ed.INRA.pp.451-452.

HAMINDER P-S., RAVINDER K-K., DAIZY R-B.; (2003) : Allelopathic interference of populus deltoide season crops. Pub.Panjab University. Chandrgraph.India.25p.

HOBEL H.; (2002) : Connaître et reconnaître les arbres et arbustes de nos forêts. pp.125-130.

HOQUE R., ROMEL A., UDDIN M-B., HOUSSAIN M-K.; (2003) : Allelopathic effects of different concentration of water extracts of *Eupatorium odoratum* leaf on germination and growth behavior of six agricultural crops. Journal of biological sciences 3 (8). Institute of forestry and – environmental sciences. Univ.Chittagong.Bangladesh.pp.741-750.

HOUOT S., MORDELET P., TARDIEU F., MOLINA J.; (1995) : Effets du tassement et de la teneur en eau du sol sur la biomasse microbienne et la libération d'azote minéral. Symposium international de l'INRA 7-8 nov.1990. Nitrates-Agriculture-Eau. Ed. INRA.pp.200-437.

HUGUET J-G (1978) : Pratique de la fertilisation minérale des arbres fruitiers. Ed. INVUFLEC. 43p.

HULOT F., LACROIX.; (2005) : L'allélopathie en milieu aquatique. Laboratoire Dynamique des Ecosystèmes d'Altitude Université d'Altitude Université de Savoie. 3p.

JACOBONI N.; (1996) : Recherche sur la biologie florale et fructification du noyer (*Juglans regia*). Italia.pp.3-13.

JACQUIN F., VONG P-C.; (1990) : Quantification des mécanismes d'organisation et de minéralisation de l'azote en sols cultivés. Rev.Ecol.Sci.sol.n°28.pp.39-43.

JANIN G., OHTA S., KELLER R.; (1983) : Effet de divers mode de fertilisation (NPK) sur certains caractéristiques physiques, chimiques et propriétés du pin maritime (*Pinus pinaster* Ait) des Landes. Ann.scien.forest.n°23.pp.24-28.

JOLIVET E.; (1987) : Transport et mise en réserves des photo-assimilats dans les racines de luzerne au cours de la végétation de printemps et d'automne. Les colloques de l'INRA 19-21 nov.1985. Ed. INRA.p.165.

JOY A., HUDELSON B., JULL L.; (2003) : Black walnut toxicity. Rev.Extension XHT1017 du 25 avril 2003. University of Wisconsin Garden Facts.

KIM K-U.; (2004) : Integrated management of paddy weeds in Korea, with an emphasis on allelopathy. Journal of biological sciences 9 54-.pp.8-22.

KRUMIECEL R-B.; (1954) : Observation sur le développement des fleurs du noyer (*Juglans regia*). Ed. Masson. P105.

LACROIX C.; (2003) : Bran de scie : des réponses à vos questions. FERTIOR. pp.27-31.

LANCE C., REBOUL V., DERAISSAC M., MARNOTTE P.; (1996) : Mise en évidence d'effets allélopathiques de *Calopogonium mucunoides*. Desv.10^{ème} coll.Int.. sur la biologie des mauvaises herbes. Dijon (France). 11-13 sept.1996.pp.83-89.

LAUDELAUT H., LAMBERT R.; (1982) : Variation saisonnière de la population microbienne du sol. Influence sur la minéralisation de l'azote du sol. Rev.Ecol.Biol.Sol.(19) 1.pp.1-15.

LAVOIE S-B., ALBERT A-L., VINCENT M.; (2003) : Pin1 : une peptidylprolyl cis/transisomérase aux rôles insoupçonnés. Rev. Médecine et sciences n°19.pp.1251-1258.

LE C-L.; (1992) : Multiplication clonale du lisianthus (*Estoma grandiflorum*). Rev.Suisse.Viti.arbo n°24.pp.19-25.

LECONTE D.; (2004) : Biodiversité et réversibilité de la friche. Dossier de l'environnement de l'INRA.n°21.162p.

LELONG B., FERNANDEZ C., BOUSQUET-MELOU A., VILA B., ROBLES H., GREFF G., DUPOUYET S.; (2004) : Etude des potentialités allélopathiques du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Miller). Conséquences sur la biodiversité dans des zones de déprise agricole. 2^{ème} journée de l'Institut français de la biodiversité, Marseille.25-28 Mai 2004.p130.

LEMAIRE G., GASTAL F., PLENET D-C.; (1997) : Le prélèvement d'azote par les peuplements végétaux et la production des cultures. Ed.INRA.pp.121-136.

LEMAIRE G., SALETTE J.; (1984) : Relation entre dynamique de croissance et dynamique de prélèvement d'azote pour le peuplement de graminées fourragères. I- Etude de l'effet du milieu. Agronomie.4.p.423-430.

LESOURD F.; (1920) : Le noyer. Ed. Lacadémie d'agriculture. Paris. 49p.

LEVESQUE I-J.; (2005) : Intoxication au noyer noir. Rev. Raizo n°33 du 4 mars 2005.pp.3-5.

LIMAMI A.; (1987) : Aquaporines (TIP et PIP). Canaux à eau sur le tonoplaste et le plasmalemma. Assimilation de l'azote chez les plantes. Aspect physiologique, biochimique et moléculaire. Ed.INRA. Paris.pp.294-259.

LIMAMI A., AMAZIANE R.; (1987) : Nutrition azotée (NO₃) et distribution du carbone dans la plante. Assimilation de l'azote chez les plantes. Aspect physiologique, biochimique et moléculaire. Ed.INRA. Paris.pp.294-259.

LIU A., HAMEL C., BEGNA S-H., MA B-L., SMITH D-L.; (2003) : Soil phosphorus depletion capacity of arbuscular mycorrhizae formed by maize hybrids. Can.J. Soil Sci n° 83.pp.337-342.

MANCENOT F., TOUTAIN F.; (1980) : Les litières. Actualités d'écologie forestière. Sol. Flore. Faune. Ed. Bourdas. Paris.140p.

- MARC DECONCHAT M.; (2004)** : Gestion forestière et diversité végétale. Dossier de l'environnement de l'INRA.n°21.150p.
- MERCK L.; (1997)** : Juglone 5282. The Merck Index, 12th ed. New York Chapman et Hall.
- MERCER J-O.; (2004)** : Black walnut toxicity to plants. Université d'agriculture de Delaware R.9 Coopérative Extension in Agriculture and Home Economics.pp.18-22.
- MESSADIA H.; (1987)** : Les facteurs d'inhibition de la régénération naturelle du hêtre (*Fagus sylvatica* L.) en forêt domaniale de Lyons (Haute Normandie). Influence de l'allélopathie et du mode de recyclage des litières forestières. Thes.Doct.Es.Sci.Biol.Univ Rouen.147p.
- MICHEZ J-M.; (1994)** : Le chiendent rampant. Rev. Phytoma. Défense des végétaux.n°457.pp.26-28.
- MOHLENBROCK R.; (2002)** : Black walnut (*Juglans nigra* L). USDmNRCSm Nqtionql Plqnt Dqtq Center.pp.4-8.
- MOREL R.; (1996)** : Les sols cultivés. Ed.ISBN.389p.
- MORIN R.; (1998)** : Diversité et structure génétique des populations de noyer cendré (*Juglans cineria* L). Thes.M.Sc. Univ. Laval.73p.
- MOROT-GAUDRY J-F.; (1997)** : Sources et cycle de l'azote. Assimilation de l'azote chez les plantes. Aspect physiologique, biochimique et moléculaire. Ed.INRA. Paris.pp.20-25.
- MOROT-GAUDRY J-F.; (1987)** : Synthèse des acides aminés. Assimilation de l'azote chez les plantes. Aspect physiologique, biochimique et moléculaire. Ed.INRA. Paris.pp.198-248.
- MOROT-GAUDRY J-F., MONGET C., FIALA., NICOL M-Z., DEROCHE M-E., JOLIVET E.; (1987)** : Transport et mise en réserves des phyto-assimilats dans les racines de luzerne au cours de la végétation de printemps et d'automne. Les colloques de l'INRA. 19-21nov.1985. Ed. INRA.p165.
- MSALLEM M., MEHRI H., RADHOUANE .; (2000)** : Inventaires des collections d'olivier en Tunisie. Rev. Bulletin de ressources phytogénétiques n°122 : 36-40.
- MUNSON A-D., THIFFAULT N.; (2004)** : Scarfiage, fertilisation et manipulation des microsites pour l'établissement des conifères sur une station à Kamilia, Vaccinium et cladonies, art.sci.j.For.Res.7p.
- NORTHUP P.; (1998)** : Allélopathie et rôle des polyphénols dans les successions. Symp du 2-3 avril 1998. Dijon.
- OUNIS M., ZITOUNI A.; (1996)** : Le noyer commun (*Juglans regia* L). Le connaître ...pour mieux le développer. Rev la forêt algérienne n°2. Ed.INRF Algérie .pp15-20.
- PASQUIER P.; (1986)** : Les maladies de carence chez les arbres fruitiers à pépins. Rev.Phytoma défense des cultures n°381.pp.28-38.

- PELLISSIER F.; (2002)** : Mission développement et valorisation. Revue de l'Université de Savoie n° 17 du 25 juin 2002.pp7-8.
- POCHON J., DEBERJAC C-H.; (1958)** : Traité de microbiologie des sols. Applications agronomiques. Ed. Danod.pp.131-249.
- PUTNAM A-R., TANG C-S.; (1986)** : The science of allelopathy. Wiley Interscience. USA. 317p.
- RANGER J.; (1981)** : Etude de la minéralisation et du cycle biologique dans deux peuplements de pin Larico de Corse dont l'un a été fertilisé à la plantation. Annl.sci.foret.n°21. pp.23-28.
- REAU R., QUINSAC A., SAUSSE C.; (2003)** : Comment les crucifères réduisent les maladies du pois et du blé et limitent l'alimentation en phosphore du maïs. Les références annuelles du CETIOM 25-26 nov.pp.114-123.
- REBOULET J-N.; (2005)** : Les auxiliaires entomophages. Journées Techniques Fruits, Légumes et Viticulture Biologiques. Beaune, les 6 et 7 décembre 2005. page3.
- RICE E-L.; (1984)** : Allelopathy. Physiological ecology. Academic Press Inc.413p.
- RIZVI S-J-H., RIWVI V.; (1991)** : Allelopathy : basic and applied aspects. Ed. Chapman and Hall. New York.480p.
- ROBIN P., SALSAC L.; (1987)** : Interactions entre approches biochimiques et approches agronomiques de la nutrition azotée. Les colloques de l'INRA 19-21 nov.1985. Ed.INRA.pp.79-94.
- ROOD T.; (2001)** : Walnut toxicity. Cornell cooperative Extension/Yates county.pp.1-6.
- SHAW P-E.; (2002)** : Peptidyl-prolyl isomerases : a new twist to transcription. EMBO (European Molecular Biology Organization) reports. Vol 3.n°06.pp521-526.
- SKIREDJ A.; (2000)** : Besoins des plantes en eau et en éléments nutritifs.pp12-16
- SINGH H-P., KOHLI R-K., BATISH D-R.; (2001)** : Allelopathic interference of populus deltoids with some winter season crops. Art.INRA 21.pp139-146.
- SPARKS K., MEYER M.; (2003)** : Planting under trees. North Central Regional.Pub.AG-BU.3238-C.University of Minnesota.
- SRVA-LBL-OFAG.; (2004)** : Guide Suisse –Bilqnw.1-2 juin 2004.21p.
- STAN D., FORD G., SMITH S-J .; (1972)** : Nitrogen mineralisation potentiels of soil. Soil.sci.of America proceedining n°36.pp465-472.
- THIFFAULT N.; (2003)** : Etude des interactions entre sylviculture et produits de pépinières : performance de l'épinette noire sur des stations à Kalmia, paru dans le PROGRES FORESTIER, hiver 2003. Rev.INFOCTRI.Vol2, n°4, avril 2003.

THOMSON A-C.; (1985) : The chemistry of allelopathy : Biochimical interactions among plants. American Chemical Society Symposium. Series268.470p.

TISSAUX J-C.; (1996) : Une revue bibliographique des principaux mécanismes pédogénétiques pour caractériser le rôle du bois raméal fragmenté (BRF) dans le processus d'humification. Mémoire de fin d'étude. Pub.n°60. Département des sciences de bois et de la forêt. Université Laval. Québec

TOURAINÉ B., GOJON A.; (1987) : Intégration de l'absorption du nitrate dans la plante. Assimilation de l'azote chez les plantes. Aspect physiologique, biochimique et moléculaire. Ed.INRA. Paris.pp.109-280.

UK-CHON S., COUTTS J-H., NELSON C-H.; (2004) : Effects of light, growth media, and seedling orientation on bioassays of Alfalfa autotoxicity. Journal of biological sciences 10 (4).pp.118-125.

VANIER P.; (1999) : Plantes médicinales.231p

VILAIN M.; (1997) : Agriculture d'aujourd'hui. Sciences, Techniques, Applications. La production végétale. "La maîtrise technique de la production" Vol.2.Ed.INRA.Paris.449p.

VONG P-C., BOUCHAMA J., JAQUIN F.; (1989) : Contribution à l'étude du potentiel de minéralisation de l'azote en sols cultivés. Lorrains.Rev.Sci du sol. Vol 27 n°03. pp.215-226.

WALIGORA C.; (2004) : Rotation. Valoriser le non-labour avec les protéagineux. Rev.Techniques culturales simplifiées. N°30. nov/déc2004. 223p.

WARIDEL P.; (2003) : Investigation phytochimique des plantes aquatiques (*potamogeton pectinatus* L, *P. lucens* L., *P. perfoliatus* L., et *p. crispus* L) (Potamogetonaceae). Thes.Doct.Fac.Sciences. Inst.Pharmacognosie et Phytochimie. Univ.Lausanne.223p.

WROBEL R-L., MATVIENKO M., YODER J-I.; (2003) : Heterologous expression and biochemical characterization of an NAD(p)H : quinone oxidoreductase from the hemiparasitic plant *Triphysaria versicolor*. Rev plant physiol Biochem.n°40.pp.265-272.

ZENG R-S., LUO S-M., SHI Y-H., ZENG Q., TQN H-F.; (2004) : Allelopathy of *Aspergillus japonicus* on crops. Journal of biologicql sciences.pp.105-112.

ANNEXES

Tableau n° 01 : Evolution de la quantité de matière sèche moyenne de la tige produite dans les différents systèmes de sol étudiés

Traitements Temps	ST	SN	SNPA2%	SNPA4%	SNPS2%	SNPS4%
0 jour	1.51	1.5	1.5	1.53	1.52	1.56
1^{er} prélèvement (après 06 mois de plantation)	3.05	2.41	3.54	1.63	0.83	0.14
2^{ème} prélèvement (après 12 mois de plantation)	3.64	3.11	3.94	1.98	0.28	0.09

Tableau n° 02 : Evolution de la quantité de matière sèche moyenne des feuilles des jeunes plants de pommier produites dans les différents systèmes de sol étudiés.

Traitements Temps	ST	SN	SNPA2%	SNPA4%	SNPS2%	SNPS4%
2^{ème} prélèvement (après 12 mois de plantation)	3.12	2.47	4.21	1.63	1.24	0.39

Tableau n° 03 : Evolution de la quantité de matière sèche moyenne de la racine des jeunes plants de pommier produite dans les différents systèmes de sol étudiés.

Traitements Temps	ST	SN	SNPA2%	SNPA4%	SNPS2%	SNPS4%
0 jour	1.12	1.11	1.16	1.11	1.16	1.16
1^{er} prélèvement (après 06 mois de plantation)	2.1	1.46	2.7	0.94	0.16	0.05
2^{ème} prélèvement (après 12 mois de plantation)	2.8	2.61	3.48	1.32	0.23	0.07

Tableau n° 04 : Evolution de la longueur moyenne de la partie aérienne des jeunes plants de pommier dans les différents systèmes de sol étudiés.

Traitements Temps	ST	SN	SNPA2%	SNPA4%	SNPS2%	SNPS4%
0 jour	79.3	80.9	80.9	79.1	79.7	79.5
1^{er} prélèvement (après 06 mois de plantation)	99	80	108.4	70.8	52.6	39.08
2^{ème} prélèvement (après 12 mois de plantation)	101.64	83.5	112.22	72.19	55.62	40.39

Tableau n° 05 : Evolution de la longueur moyenne de la partie souterraine des jeunes plants de pommier dans les différents systèmes de sol étudiés.

Traitements \ Temps	ST	SN	SNPA2%	SNPA4%	SNPS2%	SNPS4%
0 jour	15.01	14.98	14.95	14.73	14.68	15.01
1^{er} prélèvement (après 06 mois de plantation)	34.68	30.7	40.71	24.23	19.82	15.4
2^{ème} prélèvement (après 12 mois de plantation)	45.5	35.5	55.1	29.28	20.99	9.38

Tableau n° 06 : Les teneurs moyennes de N.P.K accumulés dans les parties aériennes des jeunes plants de pommier (exprimés en % de MS) sous l'influence des concentration différentes de matière organique lors des deux prélèvements

Traitements \ Temps		Témoin		SN		SNPA2%		SNPA4%		SNPS2%		SNPS4%	
		Tige	Feuilles	Tige	Feuilles	Tige	Feuilles	Tige	Feuilles	Tige	Feuilles	Tige	Feuilles
N.P.K contenu dans les jeunes plants de pommier avant plantation (0jrs)	N	0.10	-	0.12	-	0.12	-	0.12	-	0.12	-	0.12	-
	P	0.09		0.09		0.08		0.09		0.09		0.09	
	K	0.10		0.10		0.10		0.10		0.11		0.11	
N.P.K contenu dans les jeunes plants de pommier (après 06mois de culture)	N	1.60	-	1.32	-	2.25	-	1.13	-	0.14	-	0.10	-
	P	0.25		0.15		0.34		0.12		0.05		0.01	
	K	1.44		1.21		1.56		1.08		1.04		0.09	
N.P.K contenu dans les jeunes plants de pommier (après 12 mois de culture)	N	1.81	2.61	1.43	2.25	2.77	3.92	1.10	1.33	0.08	0.33	0.02	0.02
	P	0.49	1.12	0.25	0.95	0.52	1.76	0.15	0.46	0.06	0.16	0.01	0.01
	K	1.37	1.42	1.30	1.35	1.63	2.42	1.18	1.25	1.09	0.44	0.04	0.02

Tableau n° 07 : Les teneurs moyennes de N.P.K accumulés dans les parties souterraines (racines) des jeunes plants de pommier (exprimés en % de MS) sous l'influence des concentration différentes de matière organique lors des deux prélèvements

Traitements		Témoin	SN	SNPA2%	SNPA4%	SNPS2%	SNPS4%
Temps							
N.P.K (%) contenu dans les jeunes plants de pommier avant plantation (0jrs)	N	0.07	0.07	0.06	0.06	0.07	0.07
	P	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03
	K	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.05
N.P.K (%) contenu dans les jeunes plants de pommier (après 06mois de culture)	N	0.84	0.62	1.15	0.36	0.08	0.03
	P	0.15	0.10	1.21	0.06	0.03	0.02
	K	0.51	0.26	0.62	0.13	0.08	0.01
N.P.K (%) contenu dans les jeunes plants de pommier (après 12 mois de culture)	N	1.01	0.79	1.25	0.44	0.03	0.01
	P	0.25	0.21	0.34	0.14	0.07	0.01
	K	0.62	0.41	0.74	0.14	0.07	0.02

Tableau n°08 : Evolution de l'azote ammoniacal sous l'influence de MO du noyer des sols incubés.

Traitement	0j	3j	7j	14j	21j	28j	42j
Sol témoin	35	70	70.25	35.3	105.5	125.5	135
Sol de noyeraie	35	35.5	45	70	75	100.7	105
Sol de noyeraie-MO(feuilles et châtons 2%)	35	75.5	125.5	135	140.2	150.7	170.8
Sol de noyeraie-MO(feuilles et châtons 4%)	35	35.5	35.35	35	45.5	65	65.5
Sol de noyeraie-MO(débris racinaires 2%)	35	35.5	25.4	25.75	28.5	25.5	10.6
Sol de noyeraie-MO(débris racinaires 4%)	70	15.25	10.5	9.2	10.5	10.6	5.6
Sol de noyeraie-fumier (2%)	70	95.5	125	194.2	225	240	350.5
Sol de noyeraie-fumier (4%)	70	120	150.5	215	344	410.2	467.2

Tableau n°09 : Evolution de l'azote nitrique sous l'influence de MO du noyer des sols incubés.

Traitement	0j	3j	7j	14j	21j	28j	42j
Sol témoin	70	75.5	75.5	102.7	125.2	125.5	130.4
Sol de noyeraie	70	45	45.5	75.5	95.5	102.7	105.4
Sol de noyeraie-MO(feuilles et châtons 2%)	70.75	77	126.5	135.2	140.5	155.5	175.2
Sol de noyeraie-MO(feuilles et châtons 4%)	70	33.2	35.7	45.2	35.8	75.5	75
Sol de noyeraie-MO(débris racinaires 2%)	70	23.5	21.2	17.5	25.5	19.5	15.5
Sol de noyeraie-MO(débris racinaires 4%)	70	12.5	10.75	5.5	5.2	7.7	4.75
Sol de noyeraie-fumier (2%)	70.75	140	147.2	215.4	275.4	310.6	357.6
Sol de noyeraie-fumier (4%)	70.75	150	245.6	320	370.8	471.3	512.1

Tableau n°10 : Evolution de l'azote minéral sous l'influence de MO du noyer des sols incubés.

Traitement	0j	3j	7j	14j	21j	28j	42j
Sol témoin	105	145,5	145,75	138	230,7	251	265,4
Sol de noyeraie	105	80,5	90,5	145,5	170,5	203,4	210,4
Sol de noyeraie-MO(feuilles et châtons 2%)	105,75	152,5	252	270,2	280,7	306,2	346
Sol de noyeraie-MO(feuilles et châtons 4%)	105	68,7	71,05	80,2	81,3	140,5	140,5
Sol de noyeraie-MO(débris racinaires 2%)	105	59	46,6	43,25	54	45	26,1
Sol de noyeraie-MO(débris racinaires 4%)	105	27,75	21,25	14,7	15,7	18,3	10,35
Sol de noyeraie-fumier (2%)	140,75	235,5	272,2	409,6	500,4	550,6	726,1
Sol de noyeraie-fumier (4%)	140,75	270	396,1	535	714,8	881,5	979,3

Analyse de la variance

Tableau n° 01 : Analyse de la variance pour la quantité de la matière sèche moyenne produite dans les tiges des jeunes pommiers (1^{er} prélèvement).

Facteurs	DDL	Test F.calculé	Probabilité	Signification	CV%
Var. totale	29				
Var. fact1 :	5	48.27	0.0000		
Var. résiduelle	24		0.0000	THS	0.7%

Tableau n° 02 : Analyse de la variance traitements pour la quantité de la matière sèche moyenne produite dans les tiges des jeunes pommiers (2^{ème} prélèvement).

Facteurs	DDL	Test F.calculé	Probabilité	Signification	CV%
Var. totale	29				
Var. fact1 :	5	103.11	0.0000		
Var. résiduelle	24		0.0000	THS	1.7%

Tableau n° 03 : Analyse de la variance pour la quantité de la matière sèche moyenne produite par les feuilles des jeunes pommiers.

Facteurs	DDL	Test F.calculé	Probabilité	Signification	CV%
Var. totale	29				
Var. fact1 :	5	451.57	0.0000		
Var. résiduelle	24		0.0000	THS	6.7%

Tableau n° 04 : Analyse de la variance pour la quantité de la matière sèche moyenne produite dans les racines des jeunes pommiers (1^{er} prélèvement).

Facteurs	DDL	Test F.calculé	Probabilité	Signification	CV%
Var. totale	29				
Var. fact1 :	5	76.97	0.0000		
Var. résiduelle	24		0.0000	HS	21.8%

Tableau n° 05 : Analyse de la variance traitements pour la quantité de la matière sèche moyenne produite dans les racines des jeunes pommiers (2^{ème} prélèvement).

Facteurs	DDL	Test F.calculé	Probabilité	Signification	CV%
Var. totale	29				
Var. fact1 :	5	2002.71	0.0000		
Var. résiduelle	24		0.0000	THS	4.1%

Tableau n° 06: Analyse de la variance pour la hauteur moyenne des jeunes pommiers (1^{er} prélèvement).

Facteurs	DDL	Test F.calculé	Probabilité	Signification	CV%
Var. totale	29				
Var. fact1 :	5	16.29	0.0000		
Var. résiduelle	24		0.0000	S	19.6%

Tableau n° 07 : Analyse de la variance pour la hauteur moyenne des jeunes pommiers (2^{ème} prélèvement).

Facteurs	DDL	Test F.calculé	Probabilité	Signification	CV%
Var. totale	29				
Var. fact1 :	5	15.98	0.0000		
Var. résiduelle	24		0.0000	15.24	19.6%

Tableau n° 08 :Analyse de la variance pour la longueur moyenne des racines des jeunes pommiers (1^{er} prélèvement).

Facteurs	DDL	Test F.calculé	Probabilité	Signification	CV%
Var. totale	29				
Var. fact1 :	5	453.87	0.0000		
Var. résiduelle	24		0.0000	THS	1.14%

Tableau n° 09 : Analyse de la variance pour la longueur moyenne des racines des jeunes pommiers (2^{ème} prélèvement).

Facteurs	DDL	Test F.calculé	Probabilité	Signification	CV%
Var. totale	29				
Var. fact1 :	5	70.00	0.0000		
Var. résiduelle	24		0.0000	THS	11.6%

Tableau n° 10: Analyse de la variance pour la teneur moyenne en azote accumulé dans les tiges des jeunes pommiers (1^{er} prélèvement).

Facteurs	DDL	Test F.calculé	Probabilité	Signification	CV%
Var. totale	29				
Var. fact1 :	5	1.36	0.2727		
Var. résiduelle	24		0.2727	HS	17.3%

Tableau n° 11: Analyse de la variance la teneur moyenne en azote accumulé dans les tiges des jeunes pommiers (2^{ème} prélèvement).

Facteurs	DDL	Test F.calculé	Probabilité	Signification	CV%
Var. totale	29				
Var. fact1 :	5	5292.02	0.0000		
Var. résiduelle	24		0.0000	THS	0.7%

Tableau n° 12 : Analyse de la variance pour la teneur moyenne en phosphore dans les tiges des jeunes pommiers (1^{er} prélèvement).

Facteurs	DDL	Test F.calculé	Probabilité	Signification	CV%
Var. totale	29				
Var. fact1 :	5	285.52	0.0000		
Var. résiduelle	24		0.0000	HS	10.6%

Tableau n° 13 : Analyse de la variance pour la teneur moyenne en phosphore dans les tiges des jeunes pommiers (2^{ème} prélèvement).

Facteurs	DDL	Test F.calculé	Probabilité	Signification	CV%
Var. totale	29				
Var. fact1 :	5	11364.54	0.0000		
Var. résiduelle	24		0.0000	HS	1.8%

Tableau n° 14 : Analyse de la variance pour la teneur moyenne en potassium dans les tiges des jeunes pommiers (1^{er} prélèvement).

Facteurs	DDL	Test F.calculé	Probabilité	Signification	CV%
Var. totale	29				
Var. fact1 :	5	5268.39	0.0000		
Var. résiduelle	24		0.0000	HS	1.5%

Tableau n° 15 : Analyse de la variance pour la teneur moyenne en potassium dans les tiges des jeunes pommiers (2^{ème} prélèvement).

Facteurs	DDL	Test F.calculé	Probabilité	Signification	CV%
Var. totale	29				
Var. fact1 :	5	2609.30	0.0000		
Var. résiduelle	24		0.0000	HS	2.2%

Tableau n° 16: Analyse de la variance pour la teneur moyenne en azote accumulé dans les feuilles des jeunes pommiers.

Facteurs	DDL	Test F.calculé	Probabilité	Signification	CV%
Var. totale	29				
Var. fact1 :	5	5384.55	0.0000		
Var. résiduelle	24		0.0000	TSH	2.6%

Tableau n° 17 : Analyse de la variance pour la teneur moyenne en phosphore dans les feuilles des jeunes pommiers.

Facteurs	DDL	Test F.calculé	Probabilité	Signification	CV%
Var. totale	29				
Var. fact1 :	5	773.71	0.0000		
Var. résiduelle	24		0.0000	HS	7.2%

Tableau n° 18 : Analyse de la variance pour la teneur moyenne potassium dans les feuilles des jeunes pommiers.

Facteurs	DDL	Test F.calculé	Probabilité	Signification	CV%
Var. totale	29				
Var. fact1 :	5	4319.26	0.0000		
Var. résiduelle	24		0.0000	HS	2.5%

Tableau n° 19 : Analyse de la variance la quantité de la teneur moyenne en azote accumulé dans les racines des jeunes pommiers (1^{er} prélèvement).

Facteurs	DDL	Test F.calculé	Probabilité	Signification	CV%
Var. totale	29				
Var. fact1 :	5	7216.80	0.0000		
Var. résiduelle	24		0.0000	THS	2.3%

Tableau n° 20 : Analyse de la variance pour la quantité de la teneur moyenne en azote accumulé dans les racines des jeunes pommiers (2^{ème} prélèvement).

Facteurs	DDL	Test F.calculé	Probabilité	Signification	CV%
Var. totale	29				
Var. fact1 :	5	159238.98	0.0000		
Var. résiduelle	24		0.0000	THS	0.5%

Tableau n° 21: Analyse de la variance pour la teneur moyenne en phosphore dans les racines des jeunes pommiers (1^{er} prélèvement).

Facteurs	DDL	Test F.calculé	Probabilité	Signification	CV%
Var. totale	29				
Var. fact1 :	5	324.81	0.0000		
Var. résiduelle	24		0.0000	THS	9.8%

Tableau n° 22 : Analyse de la variance pour la teneur moyenne en phosphore dans les racines des jeunes pommiers (2^{ème} prélèvement).

Facteurs	DDL	Test F.calculé	Probabilité	Signification	CV%
Var. totale	29				
Var. fact1 :	5	80.17	0.0000		
Var. résiduelle	24		0.0000	HS	17.7%

Tableau n° 23 : Analyse de la variance pour la teneur moyenne potassium dans les racines des jeunes pommiers (1^{er} prélèvement).

Facteurs	DDL	Test F.calculé	Probabilité	Signification	CV%
Var. totale	29				
Var. fact1 :	5	331.88	0.0000		
Var. résiduelle	24		0.0000	THS	11.3%

Tableau n° 24 : Analyse de la variance pour la teneur moyenne potassium dans les racines des jeunes pommiers (2^{ème} prélèvement).

Facteurs	DDL	Test F.calculé	Probabilité	Signification	CV%
Var. totale	29				
Var. fact1 :	5	2742.78	0.0000		
Var. résiduelle	24		0.0000	THS	3.9%

Tableau n° 25: Analyse de la variance de l'azote ammoniacal

Facteurs	DDL	Test F.calculé	Probabilité	Signification	CV%
Var. totale	55				
Var. fact1 :	7	17.78	0.0000		
Var. résiduelle	42			HS	54.3

Tableau n° 26 : Analyse de la variance de l'azote nitrique

Facteurs	DDL	Test F.calculé	Probabilité	Signification	CV%
Var. totale	55				
Var. fact1 :	7	16.94	0.0000		
Var. résiduelle	42			HS	54.8

Tableau n° 27: Analyse de la variance de l'azote minéral

Facteurs	DDL	Test F.calculé	Probabilité	Signification	CV%
Var. totale	55				
Var. fact1 :	7	15.03	0.0000		
Var. résiduelle	42			HS	0.5

Classement en groupes homogènes

Tableau n° 01 : Classement en groupes homogènes des traitements pour la teneur moyenne en azote accumulé dans les tiges des jeunes pommiers (1^{er} prélèvement).

Traitements	Groupes
Sol de noyer-MO (feuilles et châtons) (2%)	A
Sol témoin	B
Sol de noyer	C
Sol de noyer- MO (feuilles et châtons) (4%)	D
Sol de noyer-MO (débris racinaires) (2%)	E
Sol de noyer-MO (débris racinaires) (4%)	F

Tableau 02: Classement en groupes homogènes des traitements pour la teneur moyenne en azote accumulé dans les tiges des jeunes pommiers (2^{ème} prélèvement).

Traitements	Groupes
Sol de noyer-MO (feuilles et châtons) (2%)	A
Sol témoin	B
Sol de noyer	C
Sol de noyer- MO (feuilles et châtons) (4%)	D
Sol de noyer-MO (débris racinaires) (2%)	E
Sol de noyer-MO (débris racinaires) (4%)	F

Tableau n° 03 : Classement en groupes homogènes des traitements pour la teneur moyenne en phosphore accumulé dans les tiges des jeunes pommiers (1^{er} prélèvement).

Traitements	Groupes
Sol de noyer-MO (feuilles et châtons) (2%)	A
Sol témoin	B
Sol de noyer	C
Sol de noyer- MO (feuilles et châtons) (4%)	D
Sol de noyer-MO (débris racinaires) (2%)	E
Sol de noyer-MO (débris racinaires) (4%)	F

Tableau 04: Classement en groupes homogènes des traitements pour la teneur moyenne en phosphore accumulé dans les tiges des jeunes pommiers (2^{ème} prélèvement).

Traitements	Groupes
Sol de noyer-MO (feuilles et châtons) (2%)	A
Sol témoin	B
Sol de noyer	C
Sol de noyer- MO (feuilles et châtons) (4%)	D
Sol de noyer-MO (débris racinaires) (2%)	E
Sol de noyer-MO (débris racinaires) (4%)	F

Tableau n° 05 : Classement en groupes homogènes des traitements pour la teneur moyenne en potassium accumulé dans les tiges des jeunes pommiers (1^{er} prélèvement).

Traitements	Groupes
Sol de noyer-MO (feuilles et châtons) (2%)	A
Sol témoin	B
Sol de noyer	C
Sol de noyer- MO (feuilles et châtons) (4%)	D
Sol de noyer-MO (débris racinaires) (2%)	E
Sol de noyer-MO (débris racinaires) (4%)	F

Tableau 06 : Classement en groupes homogènes des traitements pour la teneur moyenne en potassium accumulé dans les tiges des jeunes pommiers (2^{ème} prélèvement).

Traitements	Groupes
Sol de noyer-MO (feuilles et châtons) (2%)	A
Sol témoin	B
Sol de noyer	C
Sol de noyer- MO (feuilles et châtons) (4%)	D
Sol de noyer-MO (débris racinaires) (2%)	E
Sol de noyer-MO (débris racinaires) (4%)	F

Tableau n° 07: Classement en groupes homogènes des traitements pour la teneur moyenne en azote accumulé dans les feuilles des jeunes pommiers

Traitements	Groupes
Sol de noyer-MO (feuilles et châtons) (2%)	A
Sol témoin	B
Sol de noyer	C
Sol de noyer- MO (feuilles et châtons) (4%)	D
Sol de noyer-MO (débris racinaires) (2%)	E
Sol de noyer-MO (débris racinaires) (4%)	F

Tableau n° 08: Classement en groupes homogènes des traitements pour la teneur moyenne en phosphore accumulé dans les feuilles des jeunes pommiers

Traitements	Groupes
Sol de noyer-MO (feuilles et châtons) (2%)	A
Sol témoin	B
Sol de noyer	C
Sol de noyer- MO (feuilles et châtons) (4%)	D
Sol de noyer-MO (débris racinaires) (2%)	E
Sol de noyer-MO (débris racinaires) (4%)	F

Tableau n° 09: Classement en groupes homogènes des traitements pour la teneur moyenne en potassium accumulé dans les feuilles des jeunes pommiers

Traitements	Groupes
Sol de noyer-MO (feuilles et châtons) (2%)	A
Sol témoin	B
Sol de noyer	C
Sol de noyer- MO (feuilles et châtons) (4%)	D
Sol de noyer-MO (débris racinaires) (2%)	E
Sol de noyer-MO (débris racinaires) (4%)	F

Tableau 10: Classement en groupes homogènes des traitements pour la quantité de la teneur moyenne en azote accumulé dans les racines des jeunes pommiers (1^{er} prélèvement).

Traitements	Groupes
Sol de noyer-MO (feuilles et châtons) (2%)	A
Sol témoin	B
Sol de noyer	C
Sol de noyer- MO (feuilles et châtons) (4%)	D
Sol de noyer-MO (débris racinaires) (2%)	E
Sol de noyer-MO (débris racinaires) (4%)	F

Tableau 11: Classement en groupes homogènes des traitements pour la quantité de la teneur moyenne en azote accumulé dans les racines des jeunes pommiers (2^{ème} prélèvement).

Traitements	Groupes
Sol de noyer-MO (feuilles et châtons) (2%)	A
Sol témoin	B
Sol de noyer	C
Sol de noyer- MO (feuilles et châtons) (4%)	D
Sol de noyer-MO (débris racinaires) (2%)	E
Sol de noyer-MO (débris racinaires) (4%)	F

Tableau 12 : Classement en groupes homogènes des traitements pour la quantité de la teneur moyenne en phosphore accumulé dans les racines des jeunes pommiers (1^{er} prélèvement).

Traitements	Groupes
Sol de noyer-MO (feuilles et châtons) (2%)	A
Sol témoin	B
Sol de noyer	C
Sol de noyer- MO (feuilles et châtons) (4%)	D
Sol de noyer-MO (débris racinaires) (2%)	E
Sol de noyer-MO (débris racinaires) (4%)	F

Tableau 13 : Classement en groupes homogènes des traitements pour la quantité de la teneur moyenne en phosphore accumulé dans les racines des jeunes pommiers (2^{ème} prélèvement)..

Traitements	Groupes
Sol de noyer-MO (feuilles et châtons) (2%)	A
Sol témoin	B
Sol de noyer	C
Sol de noyer- MO (feuilles et châtons) (4%)	D
Sol de noyer-MO (débris racinaires) (2%)	E
Sol de noyer-MO (débris racinaires) (4%)	F

Tableau 14: Classement en groupes homogènes des traitements pour la quantité de la teneur moyenne en potassium accumulé dans les racines des jeunes pommiers (1^{er} prélèvement).

Traitements	Groupes
Sol de noyer-MO (feuilles et châtons) (2%)	A
Sol témoin	B
Sol de noyer	C
Sol de noyer- MO (feuilles et châtons) (4%)	D
Sol de noyer-MO (débris racinaires) (2%)	E
Sol de noyer-MO (débris racinaires) (4%)	F

Tableau 15: Classement en groupes homogènes des traitements pour la quantité de la teneur moyenne en potassium accumulé dans les racines des jeunes pommiers (2^{ème} prélèvement).

Traitements	Groupes
Sol de noyer-MO (feuilles et châtons) (2%)	A
Sol témoin	B
Sol de noyer	C
Sol de noyer- MO (feuilles et châtons) (4%)	D
Sol de noyer-MO (débris racinaires) (2%)	E
Sol de noyer-MO (débris racinaires) (4%)	F



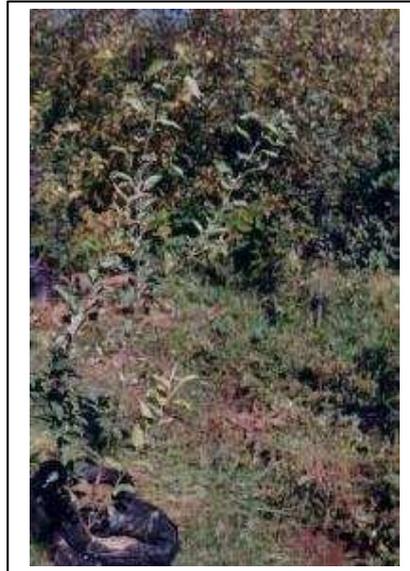
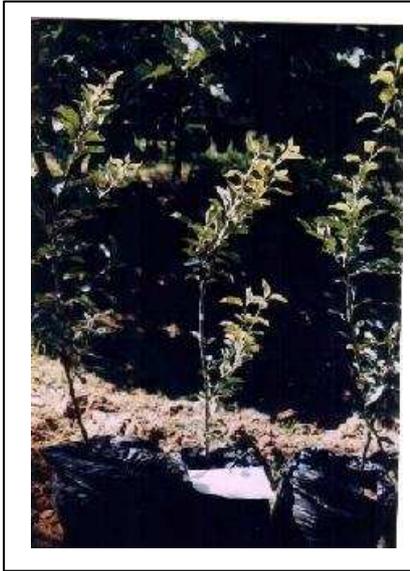
Les feuilles des jeunes pommiers plantés dans le système sol de noyer-MO (feuilles et châtons-4%)



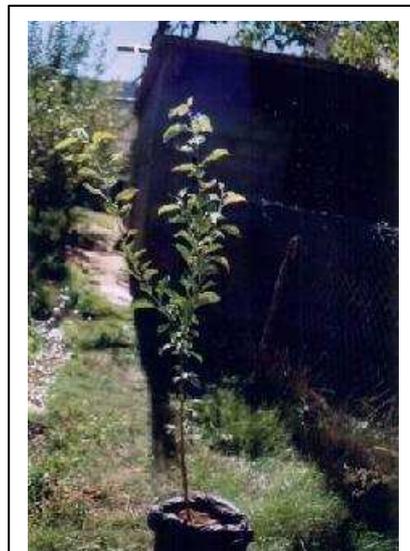
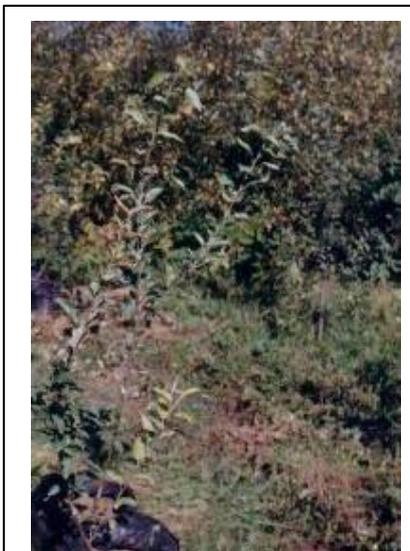
Les feuilles des jeunes pommiers plantés dans le système sol de noyer-MO (débris racinaire-2%)



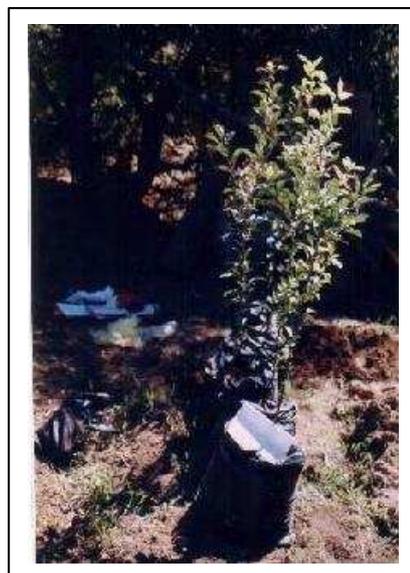
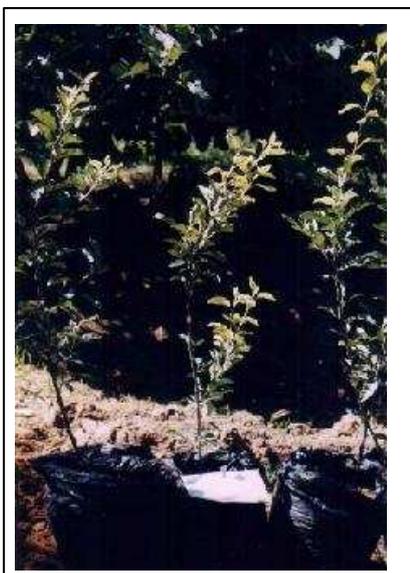
Les feuilles des jeunes pommiers plantés dans le système sol de noyer-MO (débris racinaire-4%)



Les jeunes pommiers plantés dans le système sol témoin



Les jeunes pommiers plantés dans le système sol de noyer



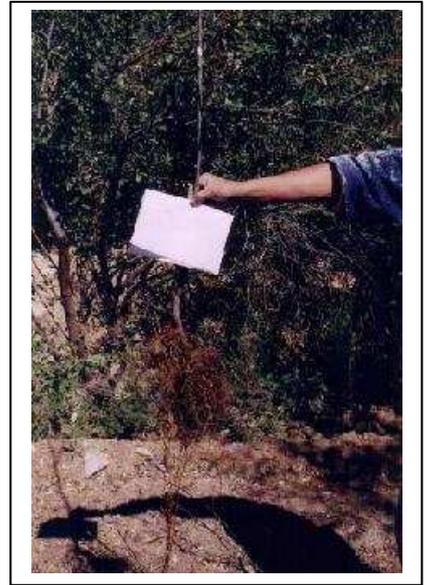
Les jeunes pommiers plantés dans le système sol de noyer-MO (feuille et châtons-2%)



Les racines des jeunes pommiers plantés dans le système sol témoin



Les racines des jeunes pommiers plantés dans le système sol de noyer



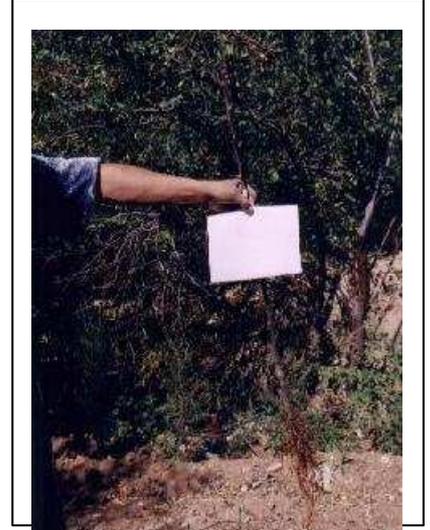
Les racines des jeunes pommiers plantés dans le système sol de noyer-MO (feuilles et châtons-2%)



Les racines des jeunes pommiers plantés dans le système sol de noyer-MO (feuilles et châtons-4%)



Les racines des jeunes pommiers plantés dans le système sol de noyer-MO (débris racinaires-2%)



Les racines des jeunes pommiers plantés dans le système sol de noyer-MO (débris racinaires-4%)



L'ensemble des racines des jeunes pommiers plantés dans le système sol de noyer-MO (feuilles et châtons 2%)

L'ensemble des racines des jeunes pommiers plantés dans le système sol de noyer-MO (débris racinaires 4%)



RESUME

Cette étude expérimentale avait pour objectif la recherche des causes ayant provoqué des échecs au plan de la croissance, voire même un phénomène de dépérissement du pommier planté sur des sols de noyeraies ou sur des sites proches de leur environnement dans la région de R'Haouat (Hidoussa).

Afin de confirmer le phénomène d'allélopathie, souvent mis en cause dans cette problématique, nous avons étudié par le biais des mesures biométriques et l'évolution de la minéralomasse des jeunes pommiers, l'impact de différents types de matières organiques (feuilles, châtons et débris racinaires) du noyer sur le comportement du pommier (*Golden delicious*) et pour cela, nous avons employé la culture en pot comme technique expérimentale.

Parallèlement, des incubations en laboratoire d'échantillons de sols seuls ou de sols additionnés de matières organiques du noyer ont été menés pour caractériser l'évolution quantitative de l'azote minéral dans les sols soumis à l'effet de ces matières organiques de la noyeraie.

Au plan expérimental, deux doses (2% et 4%) de matières organiques du noyer ont été testées et les paramètres étudiés sont la biomasse, la croissance et la minéralomasse des jeunes pommiers.

Les observations notées et les résultats obtenus ont montré que l'apport des matières organiques du noyer influence différemment la croissance de la plante et cela dépend des doses appliquées. Cette étude révèle que l'ensemble des paramètres étudiés tels que la biomasse, la croissance, la minéralomasse ainsi que l'évolution de l'azote minéral dans le sol ont subi une amélioration notable par l'apport de la matière organique (feuilles et châtons-2%) et la plante ne semble pas être affectée par un effet de phyto-toxicité de la juglone lorsqu'elle est additionnée au sol à cette même dose.

Cependant, l'apport de matières organiques du noyer (feuilles et châtons) à une dose élevée (4%) et celui des débris racinaires (2% et 4%) produit un effet dépressif sur le développement des jeunes pommiers.

Mots clés : Noyer, allélopathie, matière organique, pommier (*Golden delicious*), juglone, phyto-toxicité, croissance, biomasse, minéralomasse.

المخلص

تهدف هذه الدراسة التطبيقية البحث عن الأسباب التي تؤدي إلى عدم نجاح نمو و ذبول أشجار التفاح المغروسة في بساتين أشجار الجوز أو في أماكن قريبة من محيطها في منطقة الرحوات -حيدوسة-. لكي تثبت ظاهرة التسمم النباتي و الذي يعتبر هو السبب في هذه الاشكالية ، قمنا بدراسة تأثير مختلف أنواع المواد العضوية لأشجار الجوز (أوراق، أزهار ذكورية و جذور) عن طريق قياسات تجريبية وكذا تطور العناصر المعدنية في أشجار التفاح ، و لهذا الغرض استعملنا طريقة الغرس في أصيصات كطريقة تجريبية. في نفس الوقت قمنا بحضن عينات للتربة في المخبر بمفردها أو مضاف إليها المواد العضوية لأشجار الجوز و هذا لأجل معرفة تطور الازوت المعدني في التربة.

في الجانب التطبيقي، قمنا بتجريب تركيزين مختلفين (2% و 4%) من المواد العضوية لأشجار الجوز، ثم قمنا بدراسة تأثيرها على كمية المادة الجافة ، النمو و نسبة العناصر المعدنية في أشجار التفاح . الملاحظات و النتائج المحصل عليها أثبتت أن إضافة المواد العضوية لأشجار الجوز أثرت على نمو أشجار التفاح وهذا على حسب تركيزها. بينت هذه الدراسة أن هناك تحسن في العناصر المدروسة و التي تتمثل في كمية المادة الجافة، النمو و نسبة العناصر المعدنية في أشجار التفاح و أيضا تطور الازوت المعدني في التربة عند إضافة المواد العضوية لأشجار الجوز (أوراق، أزهار ذكورية) بنسبة 2% كما أن أشجار التفاح لم يظهر عليها أي تسمم نباتي ناتج من مادة الجقلون الموجودة في أشجار الجوز، لكن عند إضافة المواد العضوية لأشجار الجوز (أوراق، أزهار ذكورية) بنسبة عالية (4%) و كذا المواد العضوية (جذور) الجوز بنسبة (2% و 4%) نتج عنها تأثير سلبي على نمو التفاح.

الكلمات الدلالية : الجوز، التسمم النباتي، المادة العضوية، التفاح، مادة الجقلون، النمو، المادة الجافة، الماد المعدنية.