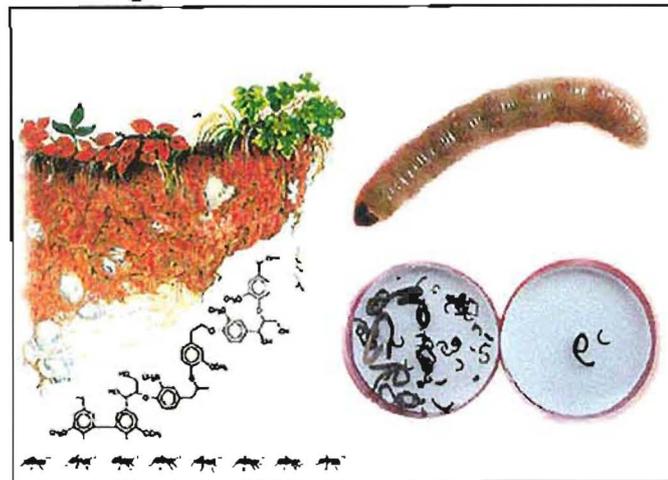


Effets allélopathiques d'une couverture d'avoine et leurs impacts sur la macrofaune du sol



**Mémoire de Diplôme d'Etudes Doctorales
soutenu le 13 septembre 2000**

Marie-Emilie EVENO



Université Pierre et Marie Curie,
IRD, Laboratoire d'Ecologie des Sols Tropicaux
CIRAD-Ca, Station des Colimaçons, Ile de la Réunion

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier le Professeur Patrick Lavelle, Directeur du Laboratoire d'Ecologie des Sols Tropicaux du centre IRD de Bondy, pour m'avoir acceptée en DED et pour avoir présidé ce jury.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à André Chabanne, du CIRAD/Ca/Réunion, pour avoir dirigé mon stage.

Je remercie infiniment Pascal Marnotte, du CIRAD/Ca/Montpellier, pour son aide et pour avoir accepté de participer au jury.

J'exprime toute ma gratitude à Lucien Séguy, du CIRAD/Ca/Brésil, pour ses précieux conseils.

Merci également à Francis Forest, Michel Raunet, Roger Michellon, Christine Casino et Odette Puard du CIRAD/Ca-GEC pour leur aide.

Ces remerciements sont aussi adressés à :

Johnny Boyer, du CIRAD/Ca/Réunion

Et à toute l'équipe des Colimaçons : Patrick, Josian, Aristhène, Just, Maxime, Olivier et Daniel.

RESUME

Dans les pays tropicaux humides, une pression démographique grandissante et une demande de production agricole accrue ont conduit à une diminution du temps de jachère. Il s'ensuit une baisse de la fertilité des sols et un rapide développement des adventices qui devient incontrôlable. La maîtrise de l'enherbement est un problème majeur en agriculture.

Les systèmes de culture avec couverture végétale permettent d'apporter une solution satisfaisante au niveau socio-économique et au niveau de la protection de l'environnement. Les effets d'ombrage et allélopathiques permettent de diminuer fortement la pression des adventices.

L'avoine, espèce communément utilisée comme couverture végétale a été choisie. L'objectif est de confirmer son effet allélopathique déjà pressentie dans la bibliographie et d'en préciser les modes d'action ainsi que les plantes cibles (adventices et plantes cultivées). Les expérimentations ont été menées au champ et en serre.

Au champ, il s'agissait de vérifier l'effet de la couverture d'avoine sur la réduction de l'enherbement, sur la production d'une culture de maïs et son impact sur la macrofaune du sol.

En serre, on a cherché à déterminer le lieu et le mode d'émission des composés allélopathiques. Les plantes cibles, des adventices choisies pour leur nuisibilité et leur mode de reproduction, et des plantes de culture fréquemment utilisées ont été soumises à différentes solutions d'arrosage :

- des solutions de lessivage,
- des solutions de macérations de parties aériennes fraîches ou déjà décomposées, de racines, de parties aériennes associées aux racines à 25°C et à 35°C,
- des solutions d'exsudats racinaires.

Par le choix des traitements, on s'est attaché à respecter au mieux les phénomènes se déroulant dans les conditions naturelles (lessivage, décomposition, exsudation). Ces expériences ont été réalisées sur substrat inerte (la vermiculite) et vivant (le sol) afin de mettre en évidence une éventuelle modulation de l'action de ces composés par les facteurs édaphiques. En ce qui concerne la macrofaune, on a testé les effets des solutions de macération sur une population de vers de terre.

Sur substrat inerte, l'étude a montré trois réponses différentes des plantes cibles : les espèces fortement sensibles à l'effet allélopathique, celles pour lesquelles l'effet est moins marqué et les plantes qui réagissent positivement aux traitements (augmentation de la croissance). Les solutions de parties aériennes décomposées et les exsudats racinaires d'avoine semblent être à l'origine du potentiel allélopathique. Pour l'effet positif observé, l'hypothèse d'un apport d'éléments minéraux reste à vérifier. Toutefois, les effets allélopathiques observés n'ont pas pu être mis en évidence pour les plantes cultivées sur sol. Cette constatation est en conformité avec les observations faites par plusieurs auteurs qui font référence aux interactions entre composés allélopathiques (nature et mode d'action) et facteurs édaphiques.

En milieu naturel, le contrôle de l'enherbement par la couverture d'avoine a été confirmé ainsi que l'absence d'effet dépressif sur la production de maïs.

En comparaison avec le sol nu sarclé (16 ind.m⁻²) et la paille d'avoine importée (22 ind.m⁻²), l'analyse de la macrofaune du sol *in situ*, montre une forte densité et une plus grande diversité biologique sous couverture d'avoine produite sur place (85 ind.m⁻²), et sous parcelle enherbée (48 ind.m⁻²).

Les résultats des expériences en pots, montrent que les extraits de macération des différentes parties de l'avoine (aérienne et racinaire) n'ont pas d'effet antagoniste sur les populations de vers de terre.

SOMMAIRE

<u>1. OBJETS DE LA RECHERCHE</u>	1
1.1. IMPORTANCE DES ADVENTICES	1
1.1.1. EFFETS DES ADVENTICES SUR LA PRODUCTION.....	1
1.1.2. COMPETITION ENTRE ADVENTICES ET PLANTES CULTIVEES.....	1
1.1.3. LUTTE CONTRE LES ADVENTICES.....	2
1.2. LES SYSTEMES DE CULTURE SOUS COUVERTURE VEGETALE (SCV)	3
1.3. L'ALLELOPATHIE	8
1.3.1. DEFINITION.....	8
1.3.2. ORIGINES ET MODES D'EMISSION DES COMPOSES ALLELOPATHIQUES.....	8
1.3.3. NATURE DES COMPOSES ALLELOPATHIQUES.....	10
1.3.4. MECANISMES D'ACTION.....	10
1.3.5. FACTEURS INFLUENÇANT LA QUANTITE DE COMPOSES ALLELOPATHIQUES..	10
1.3.5.1. Caractères morphologiques, physiologiques et écologiques.....	10
1.3.5.2. les facteurs climatiques.....	11
1.3.5.3 Les facteurs édaphiques.....	11
1.3.6. RÔLES DE L'ALLÉLOPATHIE DANS LES ÉCOSYSTÈMES NATURELS.....	12
1.3.7. L'ALLÉLOPATHIE DANS LES ÉCOSYSTÈMES CULTIVÉS.....	12
1.3.7.1. Effets des adventices sur les plantes cultivées.....	12
1.3.7.2 Effets des plantes cultivées sur d'autres plantes cultivées.....	13
1.3.7.3. L'allélopathie des plantes cultivées sur les adventices.....	13
1.3.7.4. L'allélopathie des plantes de couverture sur les adventices.....	13
1.4. L'ALLELOPATHIE DE L'AVOINE	14
1.4.1. SUR LES PLANTES DE CULTURE.....	14
1.4.2. SUR LES ADVENTICES.....	15
1.5. LES SYSTEMES SOUS COUVERTURE VEGETALE ET MACROFAUNE	15
1.6. CONCLUSION	16
<u>2. MATERIELS ET METHODES</u>	17
2.1. MATÉRIEL VÉGÉTAL	17
2.1.1. LA PLANTE DE COUVERTURE.....	17
2.1.2. LES PLANTES DE CULTURE.....	17
2.1.3. LES ADVENTICES.....	17
2.1.3.1. Adventices tropicales.....	17
2.1.3.2. Adventices tempérées.....	18
2.2. LES EXPÉRIMENTATIONS	18
2.2.1. EXPERIMENTATIONS AU CHAMP.....	18
2.2.1.1. Dispositif expérimental 1.....	18
2.2.1.2. Dispositif expérimental 2.....	19
2.2.1.3. Macrofaune du sol.....	20
2.2.2. EXPERIMENTATIONS EN SERRE.....	20
2.2.2.1. Préparation des solutions.....	20
2.2.2.2. Les différents tests.....	22

3. RESULTATS	25
3.1. DISPOSITIF 1	25
3.1.1. EVOLUTION DE L'ENHERBEMENT.....	25
3.1.2. CROISSANCE ET PRODUCTION DE MAÏS.....	29
3.2. DISPOSITIF 2	31
3.2.1. EVOLUTION DE L'ENHERBEMENT.....	31
3.2.2. BIOMASSE DES ADVENTICES.....	33
3.3. RESULTATS OBTENUS EN SERRE	37
3.3.1. <i>PLANTAGO LANCEOLATA</i>	37
3.3.1.1. Résultats sur la croissance en hauteur.....	37
3.3.1.2. Résultats sur la biomasse sèche.....	39
3.3.2. <i>BIDENS PILOSA</i>	42
3.3.2.1. Résultats des tests de croissance en hauteur.....	42
3.3.2.2. Résultats sur les biomasses sèches.....	42
3.3.3. <i>PHALARIS ARUNDINACEA</i>	47
3.3.3.1. Résultats sur la croissance en hauteur.....	47
3.3.3.2. Résultats sur les biomasses sèches.....	49
3.3.4. <i>CYPERUS ROTUNDUS</i>	51
3.3.5. <i>ORYZA SATIVA</i>	54
3.3.5.1. Résultats sur la croissance en hauteur.....	54
3.3.5.2. Résultats sur les biomasses sèches.....	54
3.3.6. <i>ZEA MAYS</i>	58
3.3.6.1. Résultats sur la croissance en hauteur.....	58
3.3.6.2. Résultats sur les biomasses sèches.....	58
3.3.6.3. Résultats des tests de germination.....	62
3.3.7. <i>LYCOPERSICON ESCULENTUM</i>	63
3.3.7.1. Résultats sur la croissance en hauteur.....	63
3.3.7.2. Résultats sur les biomasses sèches.....	63
3.3.7.3. Résultats des tests de germination.....	68
3.3.8. <i>PHASEOLUS VULGARIS</i>	69
3.3.8.1. Résultats sur les tests de croissance en hauteur.....	69
3.3.8.2. Résultats des biomasses sèches.....	69
3.3.8.3. Résultats sur les tests de germination.....	73
3.4. RESULTATS CONCERNANT LA MACROFAUNE	74
3.4.1. AU CHAMP.....	74
3.4.1.1. Densités.....	74
3.4.1.2. Biomasses.....	76
3.4.2. EN SERRE.....	76

<u>4. INTERPRETATION ET DISCUSSION</u>	78
4.1. EXPERIMENTATIONS DE TERRAIN	78
4.1.1. LA FLORE ADVENTICE PRESENTE.....	78
4.1.2. EFFETS DE LA COUVERTURE D'AVOINE SUR LA PRODUCTION DE MAÏS.....	78
4.1.3. EFFET DE LA COUVERTURE D'AVOINE SUR LES ADVENTICES.....	78
4.1.4. EFFET DES ADVENTICES SUR LA PRODUCTION DE MAÏS.....	79
4.1.5. CONCLUSION.....	80
4.2. EXPERIMENTATIONS EN SERRE	80
4.2.1. RAPPEL DES DIFFERENTS TRAITEMENTS TESTES.....	80
4.2.2. RAPPEL DES HYPOTHESES TESTEES.....	81
4.2.3. RESULTATS SUR SOL.....	81
4.2.4. SYNTHESE DES RESULTATS SUR VERMICULITE.....	83
4.2.4.1. Remarques générales.....	83
4.2.4.2. Les plantes cibles.....	87
4.2.5. DISCUSSION SUR LES TESTS DE GERMINATION.....	90
4.3. DISCUSSION SUR LA MACROFAUNE	92
4.3.1. AU CHAMP.....	92
4.3.2. EN SERRE.....	92
<u>4. CONCLUSION</u>	94
<u>5. BIBLIOGRAPHIE</u>	96
ANNEXE 1 : LE MILIEU PHYSIQUE	101
ANNEXE 2 : PROTOCOLE DU DISPOSITIF 1	105
ANNEXE 3 : PROTOCOLE DU DISPOSITIF 2	109
ANNEXE 4 : ECHELLE DE NOTATION DE L'ENHERBEMENT	112
ANNEXE 5 : SOLUTION MINERALE NUTRITIVE D'HOAGLAND	114

1. OBJETS DE LA RECHERCHE

La maîtrise de l'enherbement est un problème majeur en agriculture. Les systèmes de culture avec couverture végétale permettent d'apporter une solution satisfaisante au niveau socio-économique (diminution des temps de travaux et réduction des intrants) et au niveau de la protection de l'environnement (diminution de l'utilisation de matières actives polluantes). En effet, l'ombrage créé par les couvertures végétales diminue fortement la pression des adventices. De plus, une utilisation raisonnée des éventuels effets allélopathiques permet un meilleur contrôle de l'enherbement. Encore faut-il en vérifier l'innocuité sur les plantes cultivées.

Le but de ce travail est de contribuer à la méthodologie de choix des plantes de couvertures utilisées en fonction des adventices, des plantes cultivées et du milieu. Pour se faire, on a choisi comme objet d'étude une plante productrice de biomasse, l'avoine, dont les effets allélopathiques ont été en partie déjà démontrés. Il s'agira alors d'en affiner la connaissance des mécanismes tout en proposant une méthodologie d'expérimentation.

De plus, on sait que les composés allélopathiques ont une action sur l'activité biologique du sol, notamment sur les micro-organismes (Lakshminarayana et Duhan, 1992). Les expérimentations conduites permettraient de vérifier l'éventuel impact sur un deuxième compartiment, la macrofaune, à travers les vers de terre.

1.1. IMPORTANCE DES ADVENTICES

1.1.1. Effets des adventices sur la production

Dans les pays tropicaux humides, une pression démographique grandissante et une demande de production agricole accrue ont conduit à une diminution du temps de jachère. Il s'ensuit une baisse de la fertilité des sols et un rapide développement des adventices qui devient incontrôlable (Maillet, 1997).

Les adventices représentent l'une des principales contraintes biologiques qui affectent la production agricole alimentaire mondiale et plus particulièrement celle des pays en voie de développement. (Worsham, 1991).

Elles ont des conséquences désastreuses pour les cultures des régions tropicales et subtropicales, notamment pour les petites exploitations agricoles. C'est en ces lieux que l'estimation des pertes de production est la plus élevée, 25% au lieu de 5% dans les régions tempérées (Parker et Fryer, 1975). Coffman (1992) montre ainsi qu'en la deuxième année de culture de maïs, sur une expérience de 5 ans, le rendement en grains est corrélé négativement avec la densité de l'adventice *Panicum sp.*

De plus, les temps de travaux consacrés au désherbage ne sont pas négligeables ; ils absorbent 20 à 50% du temps de travail, de la préparation du terrain jusqu'à la récolte.

1.1.2. Compétition entre adventices et plantes cultivées

Les mauvaises herbes peuvent avoir un effet négatif direct de compétition avec la culture à l'égard des facteurs nécessaires à la croissance : eau, éléments minéraux, lumière, espace de développement. La flore adventice entre rapidement en compétition avec la culture tant pour

le rayonnement que pour l'eau et les minéraux. Cette compétition est la plus importante au début de la culture car aux premiers stades de développement, les mauvaises herbes croissent souvent plus vite que la plante cultivée.

Certains facteurs environnementaux sont responsables de la distribution et de l'abondance des espèces au sein des communautés de mauvaises herbes (nature du sol, climat). Aux facteurs naturels viennent s'ajouter les effets des pratiques culturales, notamment la préparation des sols, les rotations culturales, les assolements...

1.1.3. Lutte contre les adventices

Les techniques de lutte contre les adventices sont nombreuses. On citera les rotations culturales, la densité de semis, le choix variétal (vitesse de croissance rapide pour assurer une couverture du sol précoce), travail du sol, désherbage manuel et chimique. Dans le cadre de cette étude, nous nous intéresserons plus particulièrement aux systèmes de culture avec un travail du sol minimum, voire sans travail du sol, et avec couverture végétale.

La qualité des pratiques culturales, telles que le labour et les sarclages et surtout leur époque de réalisation en fonction du calendrier cultural et du niveau de développement de l'enherbement, apparaît comme un élément essentiel de la limitation efficace des mauvaises herbes (Le Bourgeois, 1995).

Le labour

Le labour enfouit à des profondeurs variables les graines qui se trouvent en surface. Certaines sont alors placées dans des conditions incompatibles avec leur germination. Pour être efficace le labour doit être fermé et l'enfouissement des herbes et de leurs graines, profond (Sébillote, 1969, cité par Le Bourgeois, 1995). Dans le cas des espèces vivaces à multiplication végétative comme *Cyperus rotundus*, le labour réalisé en période pluvieuse avec un outil coupant, tel que le disque, a un effet de dissémination par sectionnement des tubercules.

Le "non labour"

Le non labour consiste à ne pas travailler le sol avant le semis, ce qui maintient dans les parcelles des enherbements diversifiés. De plus les espèces vivaces sont favorisées. Cependant la croissance des adventices est plus lente et se trouve inférieure de 50% à celle d'un sol travaillé (Ayeni *et al.*, 1984).

Le sarclage

Qu'il soit manuel ou mécanique, le sarclage consiste à éliminer les mauvaises herbes par arrachage ou par un travail superficiel du sol : dans ce dernier cas, il affecte les 3 à 5 premiers centimètres du sol. Il n'a pas d'action d'enfouissement des semences en profondeur. En revanche, elles sont placées dans les premiers centimètres et se trouvent dans d'excellentes conditions de germination.

La lutte contre les adventices peut aussi s'effectuer de manière chimique par l'utilisation d'herbicides ; mais ces derniers ne détruisent pas les mauvaises herbes tolérantes, favorisent la résistance de certaines adventices aux herbicides, sont d'un coût élevé, ne peuvent être appliqués sans risques qu'à un stade donné de croissance des végétaux et ne sont pas sans danger pour l'environnement (nappes phréatiques, augmentation de la biodégradation des sols) (Worsham, 1991 ; Parker *et al.*, 1975).

Une autre alternative relativement récente utilisée en agriculture tropicale pour lutter contre les adventices est le système de culture sous couverture végétale vivante ou morte. Le mulch associé à l'absence de labour du sol contribuent à la suppression des adventices (Worsham, 1991).

1.2. LES SYSTEMES DE CULTURE SOUS COUVERTURE VEGETALE (SCV)

En zones tropicales ou subtropicales, ces systèmes de culture sont pratiqués sur des millions d'hectares au Brésil et sont validés et en cours de diffusion dans de nombreux pays. Cette méthode n'est pas entièrement nouvelle puisque certains agriculteurs l'employaient de façon intuitive et empirique. Elle repose sur un modèle de fonctionnement à reproduire pour l'agriculture : la forêt équatoriale ombrophile (système sol - plante fermé) (cf. figures 1 et 2).

Les grands types de système sont (cf. figure 3):

- La succession culturale (résidus de récolte ou recharges en biomasse),
- L'association (couverture vive).

Les systèmes de culture sous couverture végétale permettent (Chabanne *et al*, 1998):

- de lutter contre l'érosion : l'érosion est un problème majeur dans les pays tropicaux du fait de la fréquence des pluies intenses. Elle est favorisée par le travail du sol qui fragilise la structure. L'interception des pluies par un couvert fermé et permanent protège la structure des agrégats de surface de l'action mécanique déstabilisante des gouttes de pluie. La porosité structurale du sol est maintenue, ce qui favorise l'infiltration au détriment du ruissellement,
- d'améliorer le bilan hydrique (meilleure infiltration, diminution de l'évaporation),
- de réguler la température (effet tampon),
- de réactiver l'activité biologique du sol,
- de recycler les éléments minéraux entraînés en profondeur,
- d'améliorer les propriétés physiques et chimiques (restitutions minérales) du sol,
- d'apporter de l'azote dans le cas d'une couverture de légumineuse,
- de diminuer les temps de travaux,
- de lutter contre les adventices (effets allélopathiques et ombrage),
- de diminuer la contamination des nappes phréatiques car les herbicides utilisés pour tuer ou contrôler les couvertures de façon localisée sont des herbicides de contact, qui n'atteignent pas le sol. Des herbicides de post-levée sont requis pour la culture, si besoin est, à un niveau de toxicité souvent plus faible que celle des herbicides de pré-levée. De plus, le recyclage des éléments minéraux par les systèmes racinaires profonds et/ou à grande interface de réception limite la pollution des nappes.

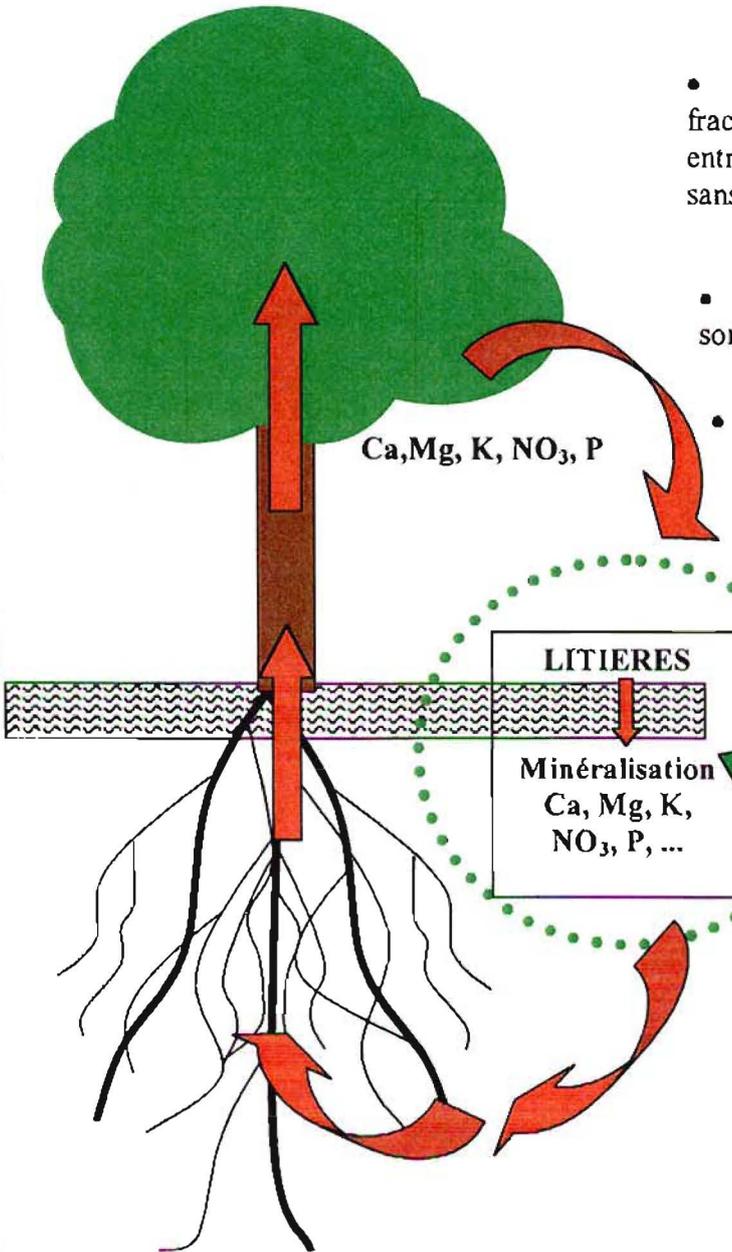
Leurs principaux avantages et limitations techniques sont traduits par le tableau 1.

Certaines couvertures végétales possèdent un potentiel allélopathique et libèrent des substances chimiques dans le sol qui inhibent la germination et la croissance de certains adventices (Altieri, 1970 ; Weston, 1996).

LA FORET EQUATORIALE OMBROPHILE



Un modèle de fonctionnement à reproduire pour l'agriculture



- Dans le système SOL-PLANTE, une grande fraction des éléments fertilisants est recyclée entre la Matière Organique vivante et morte, sans beaucoup d'échanges avec le sol minéral.

- De grandes quantités d'éléments fertilisants sont ainsi RETENUS dans le système.

- Forte activité biologique.

Ecosystème productif et stable même sur sol pauvre

UNE POMPE RECYCLEUSE FONCTIONNELLE EN CONTINU

Fortes capacités d'interception, de recyclage et de régénération de la fertilité.

FIGURE 1 : Fonctionnement de la forêt tropicale ombrophile (D'après L. Séguy et S. Bouzinac)

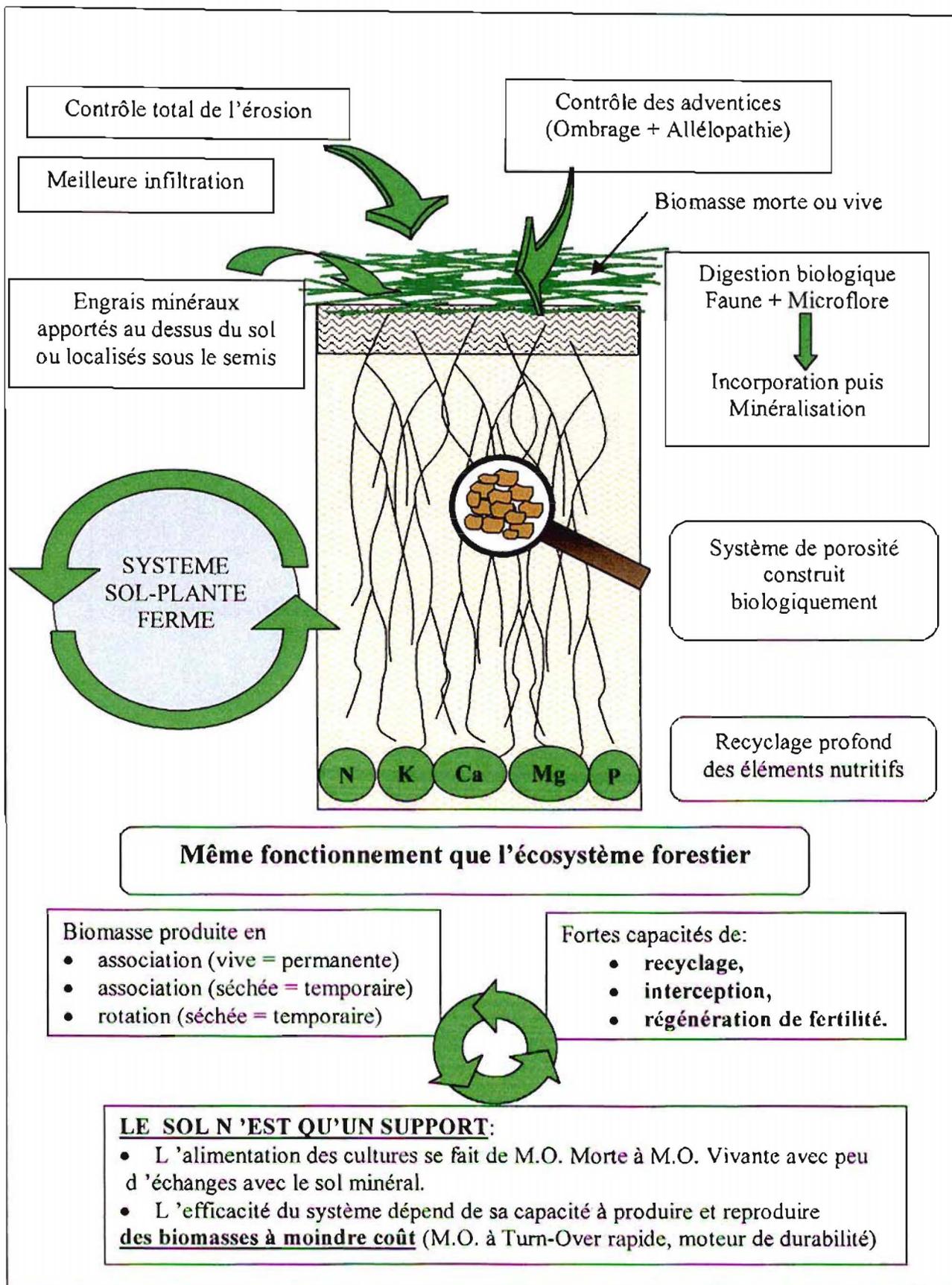


FIGURE 2 : Fonctionnement d'un profil cultural sous couverture végétale en zone tropicale humide (d'après L. Séguéy et S. Bouzinac)

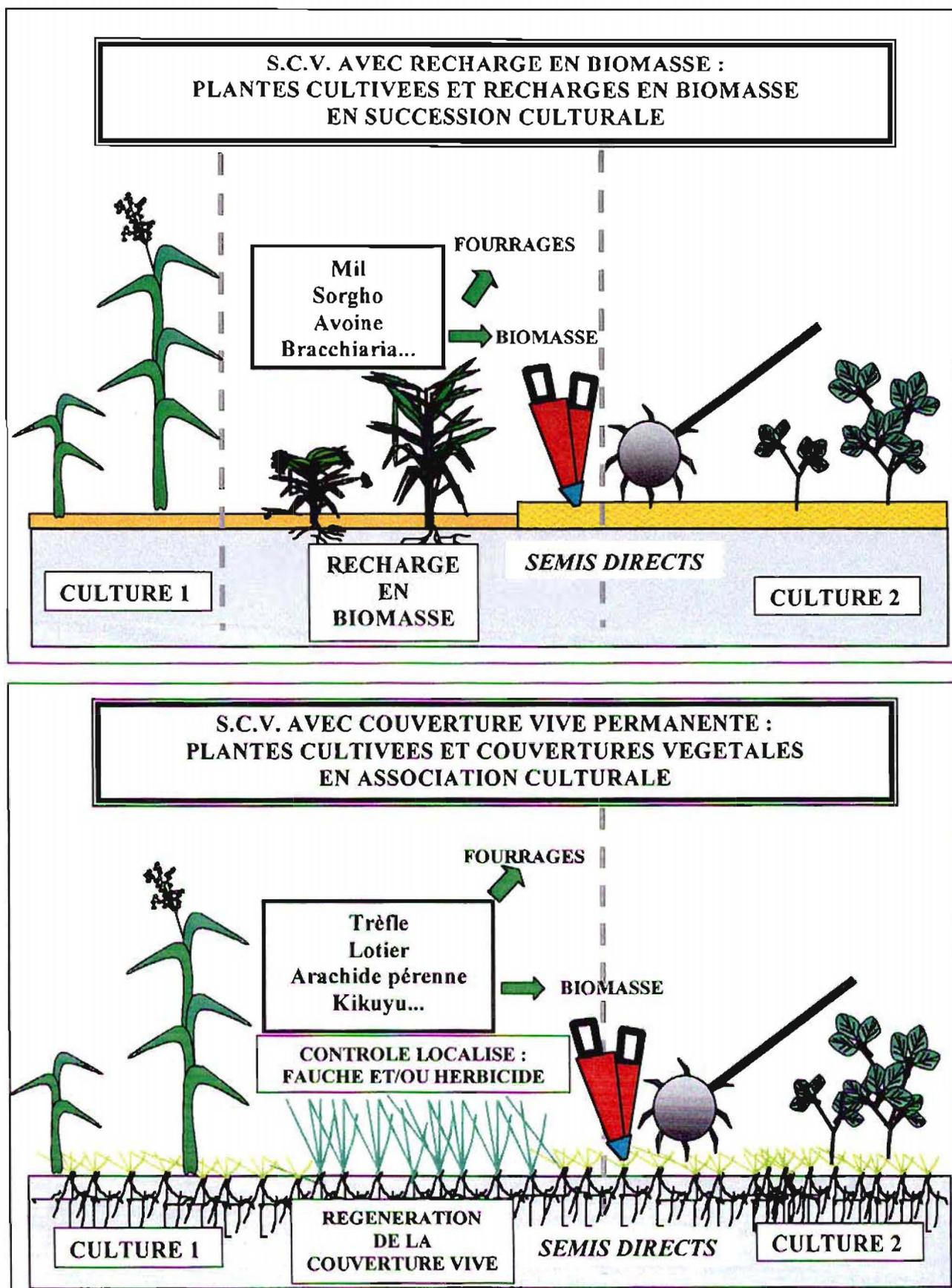


FIGURE 3 : Les deux principes généraux de conception de systèmes de cultures avec couverture végétale

Tableau 1 : Avantages et inconvénients techniques des systèmes de culture.

	CONSTITUTION DE LA COUVERTURE		
	Résidus + Adventices	Recharge en biomasse	Une couverture vive
PRODUCTION DE BIOMASSE	Biomasse produite sans intervention supplémentaire mais en quantité souvent insuffisante, d'où un effet fugace.	Nécessité d'immobiliser la parcelle pour la production de la biomasse.	Implantation parfois difficile de la couverture (enherbement,...). Il est recommandé de cultiver dans une parcelle où la couverture est déjà installée.
EXPLOITATION FOURRAGERE DE LA BIOMASSE	Impossible (biomasse insuffisante)	Possible avec une exportation partielle de la biomasse. Il faudra alors ajuster la fertilisation pour compenser les exportations.	Possible avec une exportation partielle ou totale de la biomasse. Il faudra alors ajuster la fertilisation pour compenser les exportations.
PREPARATION DE LA BIOMASSE (séchage)	Herbicide total Et/ou fauche.	Herbicide total Et/ou fauche Et/ou roulage.	Traitement herbicide ou fauche sur les lignes de plantation.
PERENNITE DE LA BIOMASSE	Biomasse à effet fugace à renouveler après chaque culture.	Biomasse à renouveler.	Biomasse permanente.
CONTROLE DE LA BIOMASSE DANS LA CULTURE	Contrôle nécessaire des adventices Nécessaire car la flore évolue vers des espèces résistantes aux herbicides.	Non (couverture morte).	Contrôle souvent nécessaire pour éviter toute compétition (physique, minérale, hydrique) avec la culture. Contrôle ménagé pour ne pas détruire la couverture.
PLANTE CULTIVEE <i>* semis</i> <i>* entretien</i>	Pas de problèmes particuliers. Reprise de l'enherbement précoce dès que la biomasse a disparu.	Matériel et modes de semis à ajuster pour semer dans une biomasse importante. Reprise de l'enherbement progressive. (effets allélopathiques)	Matériel et modes de semis à ajuster pour semer dans une biomasse importante. Enherbement fortement réduit par la présence de la couverture.
TEMPS DE TRAVAUX	Calendrier alourdi par la lutte contre les adventices.	Meilleure répartition annuelle des temps de travaux. La couverture réduit les temps de sarclage en période de pointe (saison des pluies). Sa mise en place se fait en période peu chargée (hiver).	Réduction importante des temps de travaux lorsque la couverture est installée.
TECHNICITE REQUISE <i>* respect des dates</i> <i>* choix des produits</i> <i>* souplesse des dosages</i>	Large souplesse dans les dates d'intervention. Herbicides totaux déjà utilisés par les agriculteurs. Souplesse dans les dosages.	Large souplesse dans les dates d'intervention mais nécessité de respecter les dates de semis car il faut intégrer une production de biomasse dans les calendriers culturaux. Herbicides totaux déjà utilisés par les agriculteurs. Souplesse dans les dosages.	Respect absolu des dates de contrôle de la couverture pour éviter les compétitions aux stades critiques (sauf dans les vergers). Herbicides spécifiques souvent nouveaux pour les agriculteurs Respect absolu des doses pour bien contrôler la couverture sans la détruire
EROSION	Faible efficacité.	Efficacité en fonction de la quantité de biomasse et sa vitesse de décomposition.	Efficacité totale.
ADAPTABILITE CULTURELLE	Technique largement diffusée malgré les contraintes socio-culturelles ("travail dans la saleté").	Technique nouvelle mais proche des pratiques sur résidus de récolte.	Technique nouvelle qui rejoint certaines pratiques traditionnelles.

1.3. L'ALLELOPATHIE

1.3.1. Définition

A l'intérieur d'une communauté, les plantes interagissent de façon positive, neutre ou négative le plus souvent. Cet effet négatif d'association de plantes est appelé interférence (ou concurrence) et englobe l'ensemble des relations d'une plante sur une autre.

Les causes potentielles de l'interférence sont :

- La compétition (retrait ou réduction de certains facteurs du milieu par d'autres plantes partageant l'habitat, l'eau, la lumière, les éléments minéraux).
- L'allélopathie (libération d'une ou plusieurs molécules chimiques ayant une action stimulante ou inhibitrice sur le fonctionnement du végétal). Le terme allélopathie donné en 1937 par Molisch fait référence aux interactions biochimiques inhibitrices ou stimulatrices entre tous types de végétaux, y compris les micro-organismes.

Depuis 1937 plusieurs définitions de allélopathie ont été proposées et celle de Caussanel (1975) semble la plus complète :

L'allélopathie est "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".

1.3.2. Origines et modes d'émission des composés allelopathique

Les composés allélopathiques sont soit des produits du métabolisme, soit des produits déchets évacués dans la vacuole pour éviter une auto-intoxication.

L'émission des métabolites secondaires dans l'environnement peut se faire par différentes voies (cf. figure 4)

- Volatilisation : exsudation de composés volatiles par les parties vivantes de la plante, en particulier terpènes et éthylène.
- Lessivage : les parties aériennes subissent un lessivage par la pluie ou la rosée qui entraîne les substances solubles.
- Décomposition des débris : la décomposition des parties mortes de plante (litière à la surface du sol, racines) peut libérer des toxines soit directement, soit à la suite de la décomposition par les micro-organismes du sol.
- Exsudation racinaire : l'appareil racinaire vivant et intact excrète une grande variété de composés chimiques.

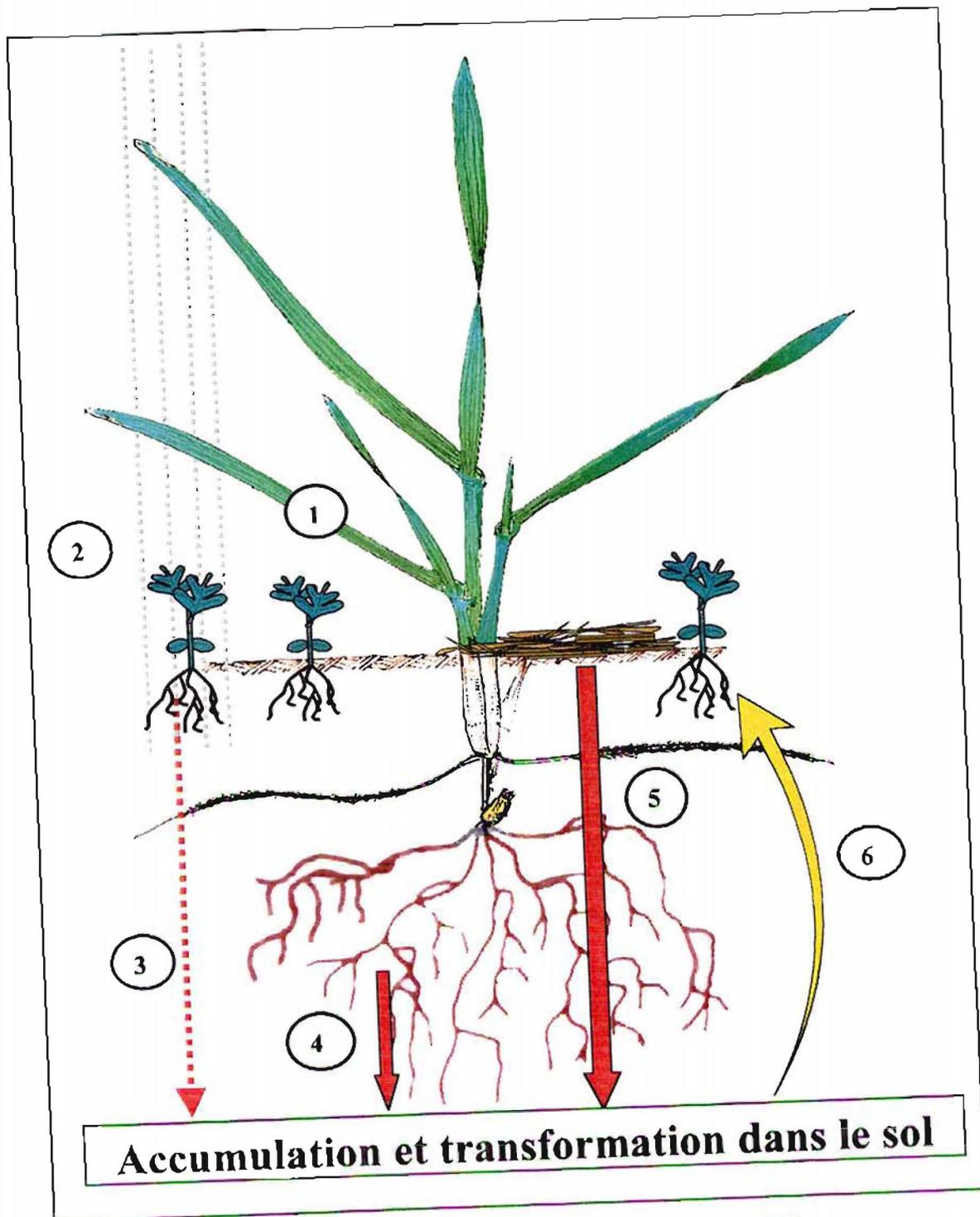


FIGURE 4 : De la plante émettrice à la plante cible

- 1 : Transport par l'air (volatilisation)
- 2 : Lessivage des parties aériennes et de la litière
- 3 : Transport par l'eau de pluie (drainage)
- 4 : Exsudats racinaires
- 5 : Décomposition et macération (parties aériennes et racinaires)
- 6 : Effets après accumulation et transformation dans le sol

1.3.3. Nature des composés allélopathiques

La plupart des composés allélopathiques sont des métabolites secondaires, c'est-à-dire ne participant pas aux fonctions de base de la plante (Rice, 1984) comme les composés phénoliques, terpénoïdes, alcaloïdes, stéroïdes, polyacétylènes et huiles essentielles. Toutefois certains métabolites primaires comme les acides palmitique et stéarique isolés à partir du sol jouent un rôle dans le phénomène d'allélopathie (Waller *et al.*, 1987 cité par Inderjit et Keating, 1999).

1.3.4. Mécanismes d'action

Les composés allélopathiques interfèrent sur les processus physiologiques, biochimiques et moléculaires des plantes cibles.

Les symptômes les plus visibles de l'action de molécules sur un végétal sont les effets globaux tels que le dépérissement ou le déficit de croissance.

L'utilisation de modèles simplifiés (cultures cellulaires ou extraits enzymatiques) suggère deux cibles principales, non exclusives l'une et l'autre (Dobremez *et al.*, 1995) :

- Les hormones (auxine, gibbéréllines, acide abscissique) qui contrôlent les grandes étapes du cycle vital de la plante (germination, croissance, floraison),
- Les membranes : perturbation de leur perméabilité.

Les principaux niveaux d'interférence sont donc :

- Interférence avec l'élongation et la division cellulaire,
- Interférence avec la photosynthèse : Einhellig *et al.* (1970) montrent une réduction significative de la photosynthèse sur les plants de tabac traités à la scopolétine (coumarine). Inderjit et Dakshini (1992) observent une augmentation significative du taux de photosynthèse, de conductance stomatique et de concentration en CO₂ dans les cavités stomatiques chez l'asperge sur sol avec *Pluchea lanceolata* L.,
- Interférence avec la respiration,
- Interférence avec le pompage des ions minéraux (Rice, 1984),
- Interférence avec les protéines et les acides nucléiques du métabolisme.

1.3.5. Facteurs influençant la quantité de composés allélopathiques

1.3.5.1. Caractères morphologiques, physiologiques et écologiques

Densité

La densité des plantes cibles influence les réponses aux composés allélopathiques (Weidenhamer *et al.*, 1989 ; Thijs *et al.*, 1994). La quantité des composés allélopathiques disponible pour chaque plante cible diminue avec l'augmentation de la densité des plantes cibles (Weidenhamer, 1989).

Age de la plante et ses caractéristiques phénotypiques

L'âge de la plante influence l'expression de l'allélopathie (Rice, 1984). Par exemple, Guenzi *et al.* (1967) montrent que la toxicité de la paille d'avoine est la plus importante au stade de la récolte.

De plus, selon le cycle de la plante (annuelle ou pérenne), l'allélopathie peut s'exprimer différemment.

1.3.5.2. les facteurs climatiques

Le milieu a une influence significative sur l'expression de l'allélopathie. Il est donc important de mener les études sur l'allélopathie sur plusieurs sites.

Au champ, le potentiel allélopathique d'une plante varie avec le site en raison des différents facteurs climatiques et édaphiques. Il est modifié par les conditions saisonnières comme la température de l'air et du sol ainsi que l'humidité du sol (Weston, 1996).

Généralement, les plantes productrices stressées ont une activité allélopathique supérieure à celle des plantes non stressées (Einhellig, 1996) ; Tand *et al.* (1995, cité par Einhellig, 1996) montrent que la sécheresse augmente l'activité inhibitrice d'extraits de tissus et d'exsudats racinaires de *Cyperus rotundus*. Un relargage accru de composés secondaires phytotoxiques dans la rhizosphère de plante stressée en condition de stress pourrait expliquer les observations au champ : l'interférence *Cyperus* - maïs est plus sévère sous condition de sécheresse.

1.3.5.3. Les facteurs édaphiques

La rétention, la transformation et le transport des composés allélopathiques dans le sol et les composés physico-chimiques et biologiques du sol influencent le devenir des composés allélopathiques et donc leurs effets (Cheng, 1989 cité par Inderjit *et al.*, 1999).

Il est important de comprendre le devenir de ces composés et de savoir comment les facteurs abiotiques et biotiques du sol influencent leur persistance et leur devenir dans la rhizosphère.

Les facteurs physico-chimiques

Les facteurs physico-chimiques du sol affectent la quantité et la qualité des composés allélopathiques (Rice, 1984). La texture et les facteurs comme le pH, le carbone organique et l'azote disponible influencent significativement l'expression de l'allélopathie dans les systèmes naturels (Rice, 1984).

Le pH joue un rôle important dans le pompage et l'immobilisation des ions inorganiques et dans l'accumulation des éléments nutritifs.. De plus, un pH élevé peut stimuler l'activité microbienne.

Les nutriments comme N, K, S influencent significativement l'activité allélopathique (Rice, 1984).

Facteurs biologiques

Les micro-organismes jouent un rôle important dans l'allélopathie car ils ont le potentiel de modifier ses effets. Ils peuvent dégrader les composés allélopathiques produisant des

composés plus toxiques ou moins toxiques. Ils peuvent influencer la disponibilité en nutriments qui influence le devenir des composés allélopathiques (Inderjit et Keating, 1999).

1.3.6. Rôles de l'allélopathie dans les écosystèmes naturels

Dans les écosystèmes naturels, l'allélopathie joue un rôle prépondérant dans la répartition de la végétation et la succession des différents types de plantes sur de nombreuses années. La plupart des écologistes ont expliqué la répartition spatiale de la végétation et la distribution générale des plantes par le phénomène de compétition. Mais l'allélopathie joue probablement un rôle dans ces phénomènes (Rice, 1984). Des effets ont été observés chez les espèces herbacées, les arbres et les arbustes. (exemples : noyer, eucalyptus (Dobremez *et al.*, 1995), épicéa (Pélissier, 1993).

Les successions végétales naturelles sont liées aux changements des facteurs physiques de l'habitat, à la disponibilité en éléments minéraux, aux différences de dispersion et de production des graines, à l'interférence (Rice, 1984).

1.3.7. L'allélopathie dans les écosystèmes cultivés

1.3.7.1. Effets des adventices sur les plantes cultivées

La plupart des effets des adventices sur les rendements des cultures ont été qualifiés de "compétitifs" sans avoir vérifié s'ils étaient dus à la compétition, l'allélopathie ou les deux phénomènes (interférence) (Rice, 1984). Au champ il est difficile de séparer ces deux mécanismes (Putnam et Weston, 1986).

De nombreuses espèces ont été étudiées, et à titre d'exemple, nous mentionnons celles qui ont les effets allélopathiques les plus importants.

Cyperus rotundus

Elle affecte les cultures de grand intérêt économique comme le maïs, haricot, soja, cotonnier et canne à sucre. Sur la canne à sucre, la compétition est très forte durant tout le cycle, mais elle s'exerce surtout en début de cycle et au cours des différentes phases de développement. Par l'exsudation de substances allélopathiques, le cypéris inhibe la germination des bourgeons et le tallage de la canne. Les substances allélopathiques sont formées dans les tubercules et libérées intensément au cours de leur décomposition. (Séguy et Bouzinac, 1999).

Selon Mallik et Tesfai (1988), les résidus de *Cyperus esculentus* à basse concentration stimulent la nodulation du soja mais pas sa croissance. Ceci est contradictoire avec les résultats de Dorst et Doll (1980, cités par Mallik et Tesfai) qui ont montré que les résidus et les extraits hydrosolubles de *Cyperus esculentus* réduisaient significativement la croissance du soja, les tubercules étant plus inhibiteurs que les parties aériennes.

Avena fatua

C'est une adventice principale et commune dans de nombreux pays. Elle est responsable de fortes pertes de rendement dans de nombreuses cultures (Martin *et al.*, 1987 cités par Pérez et Omeno-Nunez, 1991). Schumacher (1983) montre que la croissance des feuilles et des racines de blé est significativement réduite par les exsudats racinaires d'avoine sauvage au stade 2-4 feuilles. Les exsudats racinaires d'avoine sauvage collectés entre les stades émergence et une

feuille inhibent la croissance des racines et du coléoptile de blé de printemps (Perez et Ormemo-Nunez, 1991).

1.3.7.2. Effets des plantes cultivées sur d'autres plantes cultivées

L'étude des effets allélopathiques des plantes cultivées sur d'autres plantes cultivées englobe de nombreux éléments : les effets des résidus de culture en surface ou enfouis dans le sol, la rotation des cultures, les conduites culturales (labour ou non), les cultures associées, les phénomènes d'autotoxicité, les facteurs environnementaux jouant sur la décomposition (microflore du sol, humidité, température, ...).

Chou et Lin (1976, cité par Rice, 1984) montrent que les extraits aqueux de résidus de riz en décomposition dans le sol inhibent la croissance de la racine de laitue. Les extraits de sol de champs de riz ont un effet inhibiteur persistant de 4 mois sur la laitue.

Certaines plantes cultivées sont connues pour leur auto-intoxication par leurs résidus en décomposition.

Il a été observé que les rendements en riz en deuxième récolte sont toujours inférieurs à ceux de la première. Des extraits aqueux de résidus de riz en décomposition dans le sol inhibent la croissance des plantules de riz (Chou et Lin, 1976, cité par Rice, 1984).

La luzerne (*Medicago sativa* L.) est autotoxique et allélopathique ; la hauteur et le poids frais de la luzerne sont plus faibles sur un sol issu d'un champ de luzerne que sur un sol issu d'un champ de sorgho. Les composés allélopathiques du sol sous luzerne sont impliqués dans l'inhibition de la croissance. L'incorporation dans le sol de racines fraîches de luzernes (ou de racines + parties végétatives) réduit l'émergence de la luzerne, sa hauteur et son poids sec par pied (Hedge et Miller, 1990)

1.3.7.3. L'allélopathie des plantes cultivées sur les adventices

Les travaux de Altieri et Doll (1978) indiquent que plusieurs plantes de culture ont des effets allélopathiques sur les adventices.

De nombreuses études montrent que le tournesol a un fort potentiel allélopathique sur de nombreuses adventices. Des expériences en champ, laboratoire et serre ont été réalisées pour étudier l'effet allélopathique du tournesol sur la germination et la croissance de la moutarde blanche ; la macération de feuilles de tournesol non diluée entraîne 75% d'inhibition de germination. Le lessivage inhibe la germination mais pas la croissance. L'exsudation racinaire inhibe la croissance mais son effet est moins important que ceux de la macération et du lessivage (Leather, 1983).

1.3.7.4. L'allélopathie des plantes de couverture sur les adventices

L'intérêt de l'utilisation des effets allélopathiques dans le cadre des systèmes de cultures avec couvertures végétales se situe à deux niveaux:

- en début de cycle au moment où la plante cultivée n'est pas suffisamment couvrante (phase A),

- et en fin de cycle (épiaison-maturation), moment à partir duquel le sol reçoit de nouveau la lumière (phase B).

Ces deux périodes correspondent à des conditions d'humidité du sol caractérisée par des phases d'alternance d'humidification et de dessiccation du profil, donc, en conditions non-drainantes. La concentration en composés allélopathiques exsudés y serait alors maximale. Cependant, il convient d'ajouter les composés allélopathiques lessivés à partir des parties aériennes et, surtout, ceux qui sont libérés suite à la minéralisation des parties aériennes en décomposition.

Durant la phase A, les couvertures végétales assurent un contrôle des adventices principalement par le fait qu'elles jouent un rôle protecteur contre la lumière, et par les composés allélopathiques résiduels issus des exsudats antérieurs ou libérés (ou néo-formés) lors de la décomposition des parties végétales mortes. Durant la phase B, ce sont principalement les exsudats racinaires des couvertures en pleine croissance qui sont en jeu. C'est trois aspects régulateurs de l'enherbement (lumière, exsudats racinaires et dégradation de la partie aérienne) devront obligatoirement être dissociés afin d'en apprécier la juste contribution respective.

Le sorgho (*Sorghum bicolor*) est souvent utilisé en tant que mulch permanent du fait de sa très lente décomposition. (Seguy *et al.*, 1999). Ce mulch a un effet allélopathique inhibiteur sur certaines adventices (Alsaadawi *et al.*, 1986 cité par Alsaadawi, 1992 ; Putnam et DeFrank, 1983, cité par Rice, 1984). Les molécules allélopathiques seraient des phénols (Guenzi et McCalla, 1966 cité par Alsaadawi, 1992).

Sur des parcelles plantées avec du kikuyu (*Pennisetum clandestinum*), les adventices pousseraient moins abondamment que sur des parcelles sans kikuyu (Chou, 1989). Le kikuyu aurait un effet significatif sur le nombre des adventices mais aussi sur leur croissance. Des expériences en serre montrent qu'il s'agit d'un effet allélopathique ; des extraits aqueux de kikuyu diminuent le nombre d'espèces et le poids sec des adventices.

1.4. L'ALLELOPATHIE DE L'AVOINE

Les études réalisées montrent que l'avoine a des effets allélopathiques sur certaines plantes de culture et adventices : La couverture morte d'avoine diminue fortement la biomasse d'adventices (Almeida, 1989) et les effets sont de nature chimique. Elle exerce des effets inhibiteurs sur la germination et la croissance de plusieurs plantes de culture et certaines adventices (Rice, 1984).

1.4.1. Sur les plantes de culture

Les résidus d'avoine prélevés au stade de la récolte contiennent des composés hydrosolubles qui inhibent la croissance des pousses de blé (Guenzi et McCalla, 1967). ; ces résidus séchés diminuent la longueur des racines de blé ainsi que le rapport racine/tige (Lovett *et al.* 1982). Sur la laitue, Kato-Noguchi (1994) montre que la fraction hydrosoluble extraite de résidus de pousses d'avoine inhibe la germination et la croissance de racines et d'hypocotyles. Le principe actif en jeu serait le L-Tryptophan qui inhiberait aussi la croissance des racines et d'hypocotyles d'autres plantes telles que l'amarante, le riz, le blé et l'avoine.

1.4.2. Sur les adventices

L'avoine réduit la croissance, l'accumulation de biomasse et la surface foliaire de *Chenopodium album* (Rice, 1984). Martin et Rademacher (1960) et Altieri (1978) montrent que les exsudats racinaires d'avoine exercent un effet allélopathique inhibiteur sur *Chenopodium album*, *Papaver rhoeas*, *Sinapis arvensis*.

Sur *Chenopodium*, l'effet inhibiteur est bien d'origine allélopathique. Il n'est pas dû à un effet compétitif puisqu'il n'y a pas de diminution de NPK disponible pour *Chenopodium* (Weston, 1996).

Fay et Duke (1977) ont travaillé sur l'avoine et la moutarde blanche. La scopolétine (coumarine) est un composé exsudé par les racines d'avoine (Martin et Rademacher, 1960). La croissance de la moutarde blanche est réduite lorsque la plante est nourrie avec les exsudats d'avoine. L'inhibition dépendrait du cultivar d'avoine. La variété PI 266281 exsude trois fois plus de scopolétine que le cultivar Garry. Mais la quantité retrouvée est trop faible pour avoir une action sur la croissance des adventices. Fay et Duke considèrent alors que les composés allélochimiques seraient peut-être adsorbés par les particules du sol ou métabolisés par les micro-organismes et que les effets phytotoxiques observés seraient probablement le résultat d'une synergie entre scopolétine et autres composés allélopathiques.

1.5. LES SYSTEMES SOUS COUVERTURE VEGETALE ET MACROFAUNE

La comparaison de divers systèmes de culture montre le rôle prépondérant des couvertures végétales dans la restauration de la fertilité des sols grâce à leur réactivation biologique par la macrofaune (Boyer *et al.*, 1999).

Certains groupes-clés de macro-invertébrés tels que les vers de terre, les termites, les fourmis et autres arthropodes se nourrissent de la litière, affectent la structure physique du sol et la dynamique des nutriments et de la matière organique par leurs effets sur la minéralisation et l'humification (Lavelle, 1999).

En milieu tropical humide, les vers représentent généralement plus de 50% de la biomasse de la faune totale (Lavelle *et al.*, 1989) et ils exercent le plus souvent des effets positifs sur la plupart des paramètres physiques et chimiques de la fertilité naturelle des sols et, *in fine*, sur la croissance des plantes. Par ailleurs, ils affectent l'ensemble de l'espace des horizons supérieurs, contrairement aux fourmis et aux termites, eux aussi abondants, mais dont les actions sont plus localisées.

Dans les sols tropicaux humides, les vers de terre appartiennent majoritairement à la catégorie écologique des endogés (espèces vivant dans le sol et s'en nourrissant) (Lavelle, 1983). Ces vers ingèrent de grandes quantités de sol sans y ajouter de matériau organique frais tel que la litière ; ils se nourrissent de la matière organique du sol, contrairement aux épigés (vivant dans la litière et s'en nourrissant) et aux anéciques (vivant dans le sol et se nourrissant de la litière) qui se nourrissent essentiellement de débris organiques peu humifiés.

L'activité des vers, principalement celle des endogés, affecte l'agrégation du sol, la densité apparente, la porosité et le taux d'infiltration de l'eau, prévenant dans la majorité des cas l'érosion et la compaction (Blanchart, 1990).

L'action des vers de terre se manifeste aussi sur les caractéristiques chimiques du sol. Les nutriments contenus dans les déjections de vers (turricules) sont, à court et à moyen terme,

plus disponibles que dans le sol, en particulier l'azote et le phosphore. A différentes échelles de temps, la matière organique des sols tropicaux est affectée par les vers de terre.

Interactions entre les vers de terre et la végétation

De nombreux travaux menés en milieu tempéré et tropical ont mis en évidence une corrélation positive entre l'abondance des vers de terre et la production de plantes cultivées.

Toutes les espèces de vers de terre n'ont pas le même impact sur la croissance des plantes.

Réciproquement la végétation elle-même exerce une influence sur les populations naturelles de vers de terre. Cet effet semble lié d'une part aux espèces végétales impliquées et d'autre part aux techniques de culture : culture annuelle ou culture permanente. Ainsi sous les pâturages améliorés avec les plantes herbacées de couverture, la macrofaune montre une forte densité en vers de terre dont la biomasse représente plus de 70% de la biomasse totale de la macrofaune du sol (Lavelle et Pashanasi, 1989 ; Decaëns *et al.*, 1994, 1997). Au contraire sous les cultures annuelles de riz et de manioc fortement fertilisées, on constate une diminution importante quantitative et qualitative des populations d'invertébrés du sol (Decaëns, 1994).

1.6. CONCLUSION

D'après les travaux déjà effectués, l'avoine exerce un effet allélopathique sur les adventices et les plantes de culture. C'est sur cette hypothèse de base que les travaux relatés dans ce mémoire ont été entrepris.

Trois questions sont posées :

- 1)- Quel est le lieu et le mode d'émission des composés allélopathiques?
- 2)- Le sol module-t-il l'action des composés allélopathiques?
- 3)- Ces composés ont-ils un impact sur la macrofaune du sol?

Pour cela, deux types d'expérimentations ont été menées :

- En serre : on étudie le lieu et le mode d'émission des composés allélopathiques sur des adventices choisies pour leur nuisibilité et des plantes de culture fréquemment utilisées. Ces travaux sont réalisés sur sol et vermiculite afin de vérifier l'existence d'interactions entre les substances allélopathiques et les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol.
- Au champ : l'étude est faite sur la flore adventice naturellement présente ; on vérifie de même que l'avoine n'exerce aucun effet allélopathique sur une culture de maïs en milieu réel.

Au cours de ces expérimentations, des travaux sur la macrofaune du sol ont été effectués.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1. MATERIEL VEGETAL

2.1.1. La plante de couverture

L'avoine (*Avena sativa* L.) est une plante monocotylédone de la famille des Poacées. Elle est cultivée pour ses grains utilisés dans l'alimentation humaine et animale mais aussi pour sa paille qui sert de couverture végétale. Nous utilisons la variété Ebène.

2.1.2. Les plantes de culture

Quatre plantes de culture fréquemment utilisées ont été choisies : deux céréales parmi les plus cultivées au monde (le maïs et le riz), et deux cultures maraîchères (la tomate et le haricot).

- Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) : dicotylédone appartenant à la famille des Solanacées. Cette plante maraîchère est une herbacée annuelle rampante cultivée pour ses fruits très variés dans leur forme ou leur couleur selon les variétés. La variété utilisée est Elko.
- Maïs (*Zea mays* L.) : monocotylédone appartenant à la famille des Poacées. Cette plante annuelle monoïque est cultivée pour ses grains et son fourrage destiné au bétail. Les nombreuses variétés existantes diffèrent entre elles par la précocité des grains et leur utilisation finale (alimentaire, agricole ou industrielle). La variété utilisée est sc509.
- Haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) : dicotylédone annuelle appartenant à la famille des Fabacées. Elle comprend un nombre important de variétés. Elles diffèrent entre elles par leur port, leur couleur, la grosseur et la composition de leurs gousses et de leurs grains. Nous utilisons la variété Marlat.
- Riz (*Oryza sativa* L.) : monocotylédone appartenant à la famille des Poacées. Cette céréale des régions chaudes comprend plusieurs espèces, mais la plus importante économiquement est *Oryza sativa*. La variété utilisée est FOFIFA 134.

2.1.3. Les adventices

Les adventices sont choisies pour leur mode de reproduction différent (deux espèces à graines, une à tubercules et une à rhizomes), leur potentiel infestant important et leur résistance aux herbicides.

2.1.3.1. Adventices tropicales

- *Bidens pilosa* L.
Plante dicotylédone appartenant aux Astéracées, cette composée annuelle est répartie dans le monde entier et se reproduit uniquement par graines. A La Réunion, elle envahit les différentes zones cultivées jusqu'à 1000m.

- *Cyperus rotundus* L.

Espèce vivace monocotylédone appartenant aux Cypéracées, elle se multiplie principalement par son réseau de tiges souterraines le long desquelles se forment les tubercules. La multiplication est favorisée par le travail du sol qui coupe les chaînes de tubercules. La reproduction par graines est très faible. A La Réunion cette adventice est présente sur tout type de sol et à toute altitude. La lumière et un minimum d'eau sont nécessaires à son développement. C'est pourquoi elle est retrouvée le plus fréquemment en zone humide ou irriguée dans les champs de jeunes cannes, de maïs et de cultures maraîchères.

2.1.3.2. Adventices tempérées

- *Plantago lanceolata* L.

Plante dicotylédone appartenant aux Plantaginacées, cette herbacée vivace se propage principalement par ses graines et croît sur différents types de sol. Elle est couramment présente à La Réunion, en moyenne altitude dans les zones Ouest et Sud de l'île où elle infeste surtout les plantes maraîchères.

- *Phalaris arundinacea* L.

Monocotylédone pérenne à profonds et puissants rhizomes appartenant à la famille des Poacées, elle ne fleurit que rarement. Cette graminée se plaît dans les régions à précipitations relativement abondantes suivies d'une saison sèche longue et marquée. A La Réunion, on la retrouve dans l'Ouest et le Sud Ouest de l'île.

2.2. LES EXPERIMENTATIONS

2.2.1. Expérimentations au champ

Les essais se déroulent de décembre à août à Trois Bassins sur le site de Cocâtre entre 900 et 1000 m d'altitude (cf. Annexe 1). Ils sont conduits sur andosol non perhydraté recevant annuellement 1400 mm de pluie, avec une période sèche de mai à octobre, et une température moyenne de 17°C.

Les protocoles détaillés des dispositifs 1 et 2 sont reproduits en Annexes 2 et 3.

2.2.1.1. Dispositif expérimental 1

Le dispositif expérimental est le carré latin à 5 répétitions et 5 traitements :

- Traitement 1 : sol nu + culture non sarclée (SN1) sur lequel on laisse pousser les adventices afin d'apprécier le potentiel infestant et son impact sur la production de maïs,
- Traitement 2 : sol nu + culture (SN2) régulièrement sarclée afin d'apprécier la production de maïs en sol nu sans aucune contrainte d'adventices,
- Traitement 3 : culture + couverture inerte (CI) afin d'évaluer l'effet de l'ombrage sur la croissance des adventices,
- Traitement 4 : culture + avoine importée (AI) afin d'apprécier l'effet d'une couverture de parties aériennes d'avoine sur l'enherbement,

- Traitement 5 : culture + avoine produite sur place (AP) (système racinaire + parties aériennes)

Les parcelles élémentaires font 3 m x 4 m, soit 12 m².

La couverture inerte doit reproduire au mieux l'effet physique de la couverture végétale en assurant un ombrage tout en maintenant la perméabilité à l'air et à l'eau.

Le tableau 2 résume les différentes hypothèses testées.

Tableau2 : Récapitulatif des hypothèses testées

Hypothèses		Comparaison de traitements
concurrence des adventices sur la culture		T1↔T2
effet de la couverture inerte		T1↔T3
effet du mulch d'avoine		T1↔T5,T4
effet ombrage		T3↔T1
effet allélopathique		T3↔T4, T5
si effet allélopathique	parties aériennes (lessivage et décomposition)	T4↔T3
	parties racinaires (exsudation ou décomposition)	T5↔T4

Le désherbage avant essai s'effectue avec une matière active herbicide à faible rémanence (glyphosate).

L'avoine est semée en décembre 1999 pour les traitements 5 (AP) et 4 (AI). Pour le traitement 4 (paille d'avoine importée), l'avoine est semée sur une parcelle proche de l'essai. Sa nutrition minérale est assurée à partir de pulvérisations foliaires afin d'éviter d'éventuels biais d'une fertilisation minérale en granulés qui pourrait favoriser le développement des adventices. Etant donné que cette avoine est produite en saison chaude, un traitement préventif systématique contre les maladies fongiques est appliqué de façon hebdomadaire. A maturité elle est fauchée et laissée sur place sur (AP) et apportée sur les parcelles AI. Les quantités de paille sur les traitements 4 et 5 sont homogénéisées et complétées, si nécessaire, de manière à avoir 8T de matière sèche par hectare.

La culture principale, le maïs fourrager, est conduite selon les techniques culturales généralement préconisées et de façon identique sur l'ensemble des traitements. Elle est semée dès que la biomasse d'avoine est jugée suffisante sur le traitement 5 (AP).

Sur chaque traitement, on effectue tous les 10 jours environ une notation visuelle (cf. l'échelle de notation en Annexe 4 fournie par P. Marnotte) du peuplement de mauvaises herbes. Et en fin d'expérimentation (floraison du maïs), on mesure la biomasse aérienne de chaque espèce d'adventices présentes. La croissance, le développement, la production en biomasse et l'état phytosanitaire du maïs sont de même suivis.

2.2.1.2. Dispositif expérimental 2

Cet essai vise à étudier les effets de la couverture d'avoine sur l'enherbement et l'origine de l'inhibition de l'enherbement (racines et/ou paille d'avoine).

C'est un dispositif à 4 traitements et à 5 répétitions où les témoins sont adjacents et intercalés de manière aléatoire.

- Avoine produite et laissée sur place (effets racines + paille) = TT
- Avoine produite mais paille exportée (effets des racines seules) = Rac
- Avoine importée (effets de la paille seule) = Pai
- Témoin (sol nu) = T0

Après désherbage de l'ensemble de la parcelle au glyphosate, l'avoine est semée à la canne planteuse à raison de 100 kg/ha, et des traitements phytosanitaires sont effectués (raticide, anti-fongiques, anti-limaces). Les repousses d'avoine sur les parcelles Rac et TT sont régulièrement coupées et la biomasse verte récoltée de Rac est exportée vers les parcelles Pai. Pour chaque traitement, une analyse quantitative (biomasse et espèces) et qualitatives (espèces) des adventices est effectuée.

2.2.1.3. Macrofaune du sol

La méthode d'échantillonnage utilisée est celle recommandée par le programme "Tropical Soil Biology and Fertility" (Lavelle et Pashanasi, 1989 ; Anderson et Ingram, 1993).

Dix monolithes de sol de 25 cm x 25 cm x 30 cm sont prélevés sur la parcelle d'étude avant la mise en place des différents traitements (parcelle enherbée). Après avoir récupéré la litière, on découpe le monolithe en 3 couches successives de 10 cm d'épaisseur. Chaque couche du sol est ensuite triée à la main et tous les invertébrés visibles à l'œil nu sont prélevés et fixés à l'alcool 75°. Les vers de terre sont conservés dans du formol à 4%.

L'étude de la macrofaune porte sur leurs densités et leurs biomasses. Les macro-invertébrés conservés dans l'alcool et le formol ont un poids inférieur à leur état d'origine. La biomasse est réajustée en utilisant des coefficients de correction (déterminés par mesures des animaux vivants).

Le deuxième échantillonnage est réalisé à la fin du cycle de la culture principale.

2.2.2. Expérimentations en serre

Quatre objectifs sont recherchés :

- 1) vérification d'effets allélopathiques (à distinguer de l'effet d'ombrage des couvertures végétales) sur les adventices
- 2) vérification de l'absence d'effets allélopathiques de l'avoine sur les plantes cultivées (tests de germination et de croissance réalisés sur haricot, tomate et maïs)
- 3) détermination de la nature de l'origine allélopathique (lessivage des parties aériennes, exsudation racinaire, décomposition des résidus).
- 4) mise en évidence d'un éventuel impact de l'effet allélopathique de l'avoine sur la dynamique de peuplement de la macrofaune du sol.

2.2.2.1. Préparation des solutions

- Solution nutritive

C'est la solution de Hoagland (cf. Annexe 5) qui est utilisée comme témoin.

- Solutions de lessivage des parties aériennes

Ces solutions mettent en jeu deux mécanismes d'émission de composés allélopathiques : le lessivage et la décomposition des résidus végétaux.

Elles sont obtenues à partir de biomasse d'avoine décomposée et verte. La biomasse verte est récupérée sur le terrain. Une partie est prélevée et mise à décomposer. Elle est étalée sur des pots contenant de la vermiculite. La quantité appliquée correspond à celle utilisée sur le terrain c'est-à-dire 8 tonnes de matière sèche par hectare.

Nous utilisons 5 bacs de 18 litres (45cm x 23cm) pour un type de biomasse. L'arrosage s'effectue avec de l'eau (500 ml par bac tous les jours); les solutions de lessivage sont récupérées dans des bouteilles et complétées avec de la solution nutritive. Soit 2 solutions :

T₁ : solution de lessivage de la biomasse verte

T₂ : solution de lessivage de la biomasse décomposée;

- Solutions de macération

Elles sont réalisées soit à partir de la biomasse aérienne décomposée, soit à partir de la biomasse aérienne verte, soit à partir des racines, soit à partir de la combinaison biomasse aérienne-biomasse racinaire. Après macération les solutions sont complétées avec de la solution nutritive.

Les 5 solutions de macération sont :

T₃ : biomasse aérienne verte (100g pour 1 litre d'eau)

T₄ : biomasse aérienne décomposée (50g pour 1 litre d'eau, le taux d'humidité est de 50%)

T₅ : système racinaire (100g pour 1 litre d'eau)

T₆ : biomasse aérienne verte + racines (100g + 100g pour 1 litre d'eau)

T₇ : biomasse aérienne décomposée + racines (50g + 100g pour 1 litre d'eau)

Ces préparations devraient permettre d'obtenir des solutions dont la concentration en composés allélopathiques est supérieure à celle des solutions de lessivage. Les traitements T₆ et T₇ visent à évaluer l'effet synergique possible entre parties aériennes et racines d'avoine. Deux séries de macération sont effectuées : l'une à température ambiante à 25-30°C (T₃, T₄, T₅, T₆, T₇) l'autre à 35°C (T₃, T₄, T₅, T₆, T₇). La durée de macération est de 24 h dans les deux cas. Les solutions de macération sont préparées de façon hebdomadaire et fournissent ainsi la quantité nécessaire aux arrosages d'une semaine.

- Solutions à base d'exsudats racinaires

L'avoine est semée dans 40 pots de 14 cm de diamètre contenant de la vermiculite. L'arrosage s'effectue avec une solution nutritive (Hoagland, cf. Annexe 4) en évitant tout contact de la solution d'arrosage avec les parties aériennes. La solution contenant les exsudats racinaires est récupérée dans des bouteilles (solution T₈).

Avant chaque arrosage, le pH de ces solutions est vérifié et ajusté à pH 7-7,5 par addition d'acide nitrique ou de soude.

2.2.2.2. Les différents tests

• Tests de germination

Ces tests sont réalisés sur les graines des adventices et plantes cultivées choisies. Les semences et les tubercules sont mis à germer dans des boîtes de Pétri sur du papier de germination imbibé de solution (eau ou solution préparée). Quinze traitements regroupés en 3 séries sont effectués:

- 1) Des boîtes arrosées avec les solutions de lessivage T₁, T₂
- 2) Des boîtes arrosées avec les solutions de macération T₃, T₄, T₅, T₆, T₇, T_{3'}, T_{4'}, T_{5'}, T_{6'}, T_{7'}.
- 3) Des boîtes arrosées avec la solution T₈ à base d'exsudats racinaires d'avoine.

Le témoin est arrosé avec de l'eau et de la solution nutritive. L'humidité des papiers de germination est régulièrement contrôlée. Un premier arrosage a été réalisé à partir de 6 ml de solution testée par boîte. Suivant l'absorption des solutions par les gaines, un complément de 3 ml par boîte de solution testée a parfois été nécessaire deux jours après le premier arrosage.

• Adventices:

- A graines : 10 graines par boîte.
- 5 répétitions par adventice sont effectuées.

• Plantes cultivées

- Tomate : 20 graines par boîte
- Haricot, maïs : 10 graines par boîte.
- Nous réalisons 5 répétitions par espèce étudiée.

Les graines germées sont comptées tous les jours : la germination est définie lorsque la radicule est d'environ 2 mm. Les graines germées et/ou pourries sont enlevées quotidiennement afin qu'elles ne gênent pas la germination des graines suivantes.

• Tests de croissance

Les semences (ou tubercules ou rhizomes) des adventices et des plantes cultivées sont mises à germer en pots. Par la suite les plantes seront démarquées et on ne gardera que les deux plus vigoureuses. Deux types de support sont utilisés :

- un support inerte, la vermiculite, qui permet d'éviter toutes interactions entre les substances allélopathiques et les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol.
- un support vivant qui représente mieux les conditions réelles. Il s'agit du sol prélevé sur les parcelles nues de l'expérimentation en champ.

Pour la tomate, le maïs et le haricot, des pots de 1.3 l ont été utilisés et ils ont été remplis de la même quantité de sol (500 g) ou de vermiculite (250 g). Pour les autres espèces, des godets de 80 ml ont été utilisés et remplis de 30 g de sol et 15 g de vermiculite.

Avant l'expérimentation, un arrosage précoce du sol a permis de faire lever la germination d'éventuelles adventices présentes et de les éliminer.

La germination des espèces à graines et le début de croissance des espèces à tubercule ou rhizome ont été assurés par des arrosages à l'eau. Dès que les plantules présentaient une

hauteur moyenne de 2 cm, les arrosages avec les solutions testées ont débuté. Ils ont eu lieu tous les deux jours à raison de 100 ml par pot et 10 ml par godet.

Seize traitements de 5 répétitions chacun regroupés en 6 séries sont effectués :

- A1 : des pots arrosés avec les solutions de lessivage T₁ et T₂.
- A2 : des pots avec les solutions de macération T₃, T₄, T₅, T₆, T₇, T_{3'}, T_{4'}, T_{5'}, T_{6'}, T_{7'}.
- A3 : des pots avec la solution à base d'exsudats racinaires T₈.
- A4 : des pots alimentés avec de la solution nutritive en alternance avec de l'eau distillée
- A5 : des pots avec un mulch inerte (polystyrène) arrosés avec de la solution nutritive en alternance avec l'eau distillée.
- A6 : des pots contenant un mulch de biomasse verte arrosés avec de l'eau distillée.

Le tableau 3 résume les différents traitements des tests de croissance et le tableau 4 les différentes hypothèses testées.

Tableau 3 : Récapitulatif des différents traitements utilisés pour le test de croissance

	SERIES	TRAITEMENT	DESCRIPTIF		
VERMICULITE Et SOL	A1 LESSIVAGE	T1	Biomasse aérienne verte		
		T2	Biomasse aérienne décomposée		
	A2 MACERATION	25-30°C	T3	Biomasse aérienne verte	
			T4	Biomasse aérienne décomposée	
			T5	Biomasse racinaire	
			T6	Biomasse aérienne verte + biomasse racinaire	
			T7	Biomasse aérienne décomposée + biomasse racinaire	
		35°C	T3'	Biomasse aérienne verte	
			T4'	Biomasse aérienne décomposée	
	A3 EXSUDATION	T8	T5'	Biomasse racinaire	
			T6'	Biomasse aérienne verte + biomasse racinaire	
			T7'	Biomasse aérienne décomposée + biomasse racinaire	
			A4	T0 (sol nu)	Eau + solution nutritive
			A5	CI (Couverture inerte)	Eau + solution nutritive
A6	Biomasse verte	Eau + solution nutritive			

Tableau 4 : Récapitulatif des hypothèses testées

Hypothèses		Comparaison de traitement
Effet ombrage		T0↔CI
Effet allélopathique		CI↔A1, A2, A3
Si effet allélopathique	Racines ou parties aériennes	T5↔T6 et T7 A6↔A5
	Si racines	Décomposition ou exsudation T5↔T8
	Si parties aériennes	Lessivage ou décomposition T1, T2↔T3, T4

Les tests de croissance sont arrêtés au stade floraison sauf pour le riz et *Phalaris arundinacea* (arrêt avant le stade floraison).

Les paramètres mesurés sont :

- Hauteur des parties aériennes mesurée toutes les semaines,
- Matières fraîche et sèche des racines et des parties aériennes mesurées à la fin de l'expérimentation.

- **Tests sur la population de vers de terre**

Les tests ont pour objectif de voir si l'avoine a un effet sur le développement des vers de terre. Deux hypothèses seront vérifiées :

- 1) cet effet est mécanique (protection contre la chaleur et conservation de l'humidité) et nutritionnel (apport de C et N)
- 2) cet effet est la résultante du phénomène d'allélopathie (parties aériennes et/ou racinaires).

Les essais sont réalisés avec l'espèce *Pontoscolex corethrurus* (Müller). Les vers de terre sont prélevés au stade juvénile sur le terrain. Le sol, prélevé sur le site de Cocâtre, est tamisé à 2 mm. Dix vers de terre sont placés dans chaque pot de 5-6 litres.

Les différents traitements (5 répétitions par traitement) sont :

- **B1** : sol nu
- **B2** : sol + paille d'avoine
- **B3** : sol + couverture inerte (vermiculite)
- **B4** : sol + couverture inerte (vermiculite + solution de macération des parties aériennes)
- **B5** : sol + couverture inerte (vermiculite) + solution de macération des parties aériennes et racinaires

La comparaison entre B4 et B5 permet d'estimer l'effet des substances libérées par les racines d'avoine sur la population de vers de terre. Celle entre B2 et B3, permet d'apprécier l'effet de la paille d'avoine (substances allélopathiques + minéralisation).

Au bout de deux mois, les vers de terre sont comptés et pesés.

3. RESULTATS

Les résultats obtenus ont été traités avec le logiciel STATITCF. Les analyses de variance sont effectuées avec le test de NEWMAN-KEULS au seuil de 5%.

3.1. DISPOSITIF 1

Le but premier de cet essai est de s'assurer que la couverture d'avoine n'a pas d'effet dépressif sur la levée et la croissance du maïs. Pour cela, par l'apport d'une nutrition minérale et d'une alimentation hydrique adaptées, on a veillé à ce qu'aucune carence minérale ou aucun déficit hydrique n'affecte le maïs.

Nous testons cinq traitements décrits dans le chapitre 2 :

- SN1 : sol nu non sarclé
- SN2 : sol nu régulièrement sarclé
- CI : couverture inerte
- AI : avoine importée (effet de la paille seule)
- AP : avoine produite (effet de la paille et des racines)

3.1.1. Evolution de l'enherbement

La figure 5 représente l'évolution des notes d'enherbement (exprimées en pourcentage de recouvrement du sol par les adventices) sur les différents traitements du dispositif 1.

Au vingt troisième jour, on a arraché manuellement les quelques grandes adventices comme *Raphanus raphanistrum* qui émergent de la paille. Sur le SN2, un sarclage manuel a été effectué.

Les notes d'enherbement sur les parcelles SN1 ne cessent d'augmenter au cours du temps. En fin d'expérimentation, l'enherbement est maximal et atteint 100% de recouvrement.

Avec couvertures végétales, le pourcentage d'enherbement est plutôt stable durant l'expérimentation avec une diminution des notes après arrachage des grosses adventices. Au bout de 70 jours d'observation, le pourcentage ne dépasse pas 25%.

Sur couverture inerte, le pourcentage d'enherbement augmente régulièrement à partir du vingtième jour d'observation pour atteindre 55% en fin d'expérimentation. Dans ce cas, le pourcentage d'enherbement semble dépendre de la grosseur et du nombre de perforations effectuées dans le plastique.

Pour les traitements SN2, malgré la fréquence des sarclages (trois sarclages réalisés environ tous les vingt jours), le pourcentage d'enherbement à la fin de l'expérimentation atteint 35%. Ce traitement est utile pour évaluer la croissance et la production du maïs sur un sol nu où la concurrence avec les adventices est faible (on observe l'impact des adventices sur la production de maïs par comparaison avec le sol nu non sarclé).

Le tableau 5 traduit le pourcentage moyen d'enherbement sur les différentes parcelles à la fin des observations ainsi que les groupes homogènes au seuil de 5%.

	Moyennes (%)	Groupes homogènes
SN1	100	A
CI	54	B
SN2	34	C
AI	24	C
AP	15	D

Tableau 5 : pourcentage moyen d'enherbement et groupes homogènes au seuil de 5%.

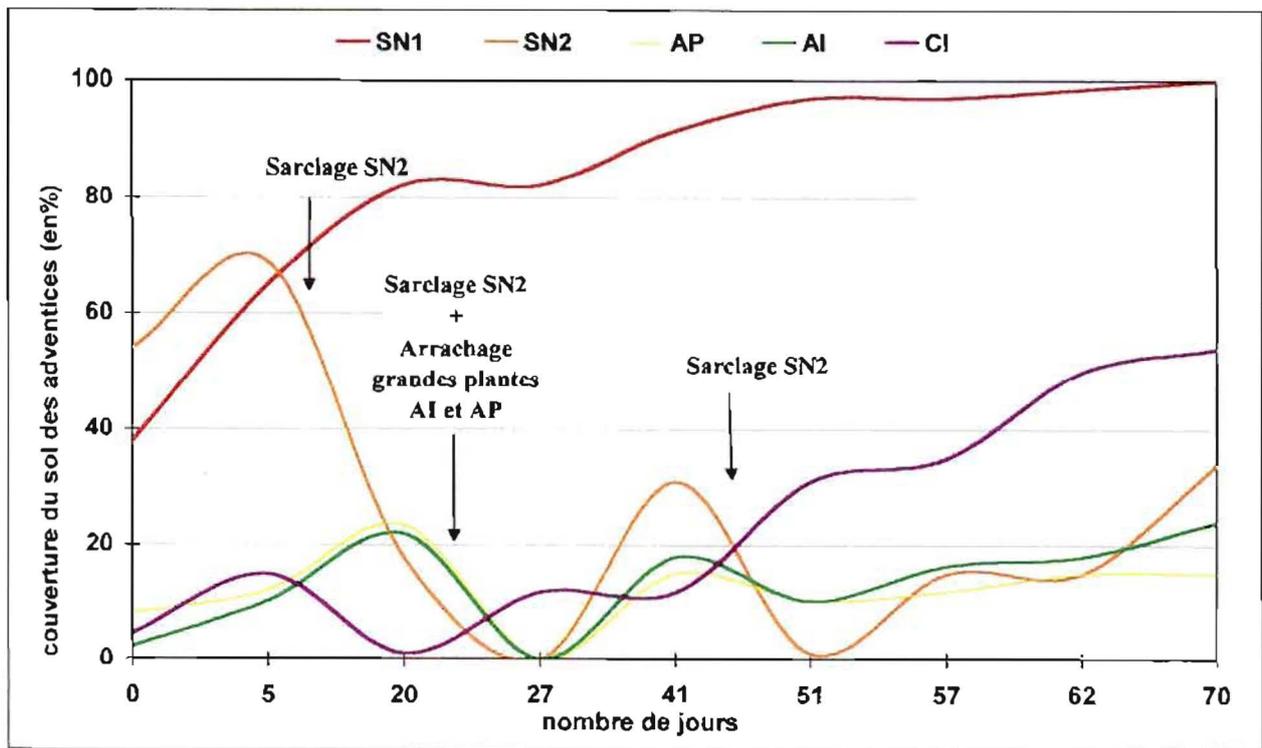


FIGURE 5 : Représentation en courbes lissées de l'évolution des notes d'enherbement Sur le dispositif 1 (en % de couverture du sol)

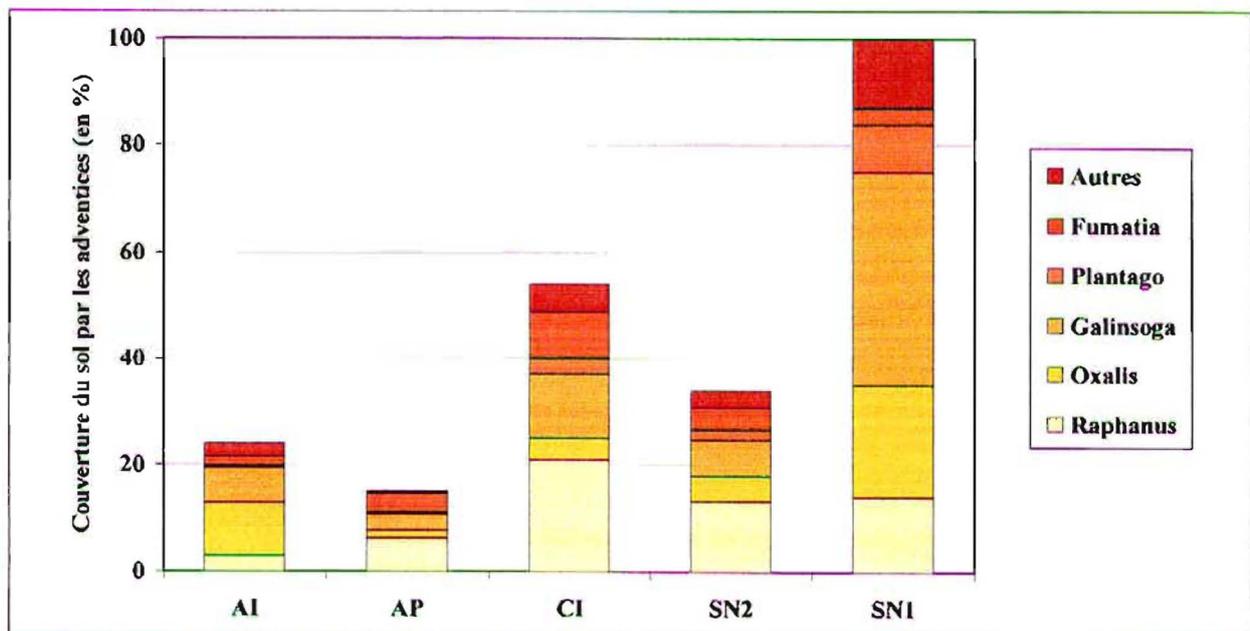


FIGURE 6 : Pourcentage d'enherbement par espèce sur le dispositif 1 au dernier jour d'observation (70e).

Plusieurs différences significatives sont mises en évidence :

- sur le sol nu non sarclé, les adventices recouvrent 100% de la parcelle et le taux de recouvrement est significativement différent de celui sur les autres traitements,
- l'enherbement sur couverture inerte est significativement supérieur à celui sur sol nu sarclé et à celui sur couvertures végétales,
- le recouvrement par les adventices sur les parcelles où l'avoine avait été produite est significativement inférieur à celui des parcelles paillées et des sols nus régulièrement sarclés.

Une analyse sur le pourcentage d'enherbement par espèce a été effectuée en fin d'expérimentation :

La figure 6 traduit le pourcentage d'enherbement total et par espèce des différentes parcelles en fin d'expérimentation.

Cinq principales adventices sont présentes : *Raphanus raphanistrum*, *Oxalis sp.*, *Galinsoga parviflora*, *Plantago lanceolata*, *Fumaria muralis*. Pour chaque adventice, nous avons représenté par un tableau le pourcentage moyen d'enherbement pour chaque traitement ainsi que les groupes homogènes. Un test de Newman-Keuls au seuil de 5% a été effectué et pour certaines adventices un changement de variable par arcsin√x a été nécessaire. Une même lettre pour les groupes homogènes indique l'absence de différence significative au seuil de 5%.

Raphanus raphanistrum :

	Moyennes (%)	Groupes homogènes
CI	20,8	A
SN1	14,0	A B
SN2	13,1	A B
AP	6,2	B C
AI	3,0	C

Tableau 6 : pourcentage moyen d'enherbement par *Raphanus raphanistrum* et groupes homogènes au seuil de 5%.

Un changement de variable par arcsin√x a été effectué.

On observe plusieurs différences significatives : sur la couverture inerte, l'enherbement par *Raphanus r.* est supérieur à celui des deux couvertures végétales ; sur paille (AI), *Raphanus r.* est sensiblement moins abondante que sur le sol nu non sarclé.

Oxalis sp.

	Moyennes (%)	Groupes homogènes
SN1	21,0	A
AI	9,8	B
SN2	4,7	B C
CI	4,1	B C
AP	1,4	C

Tableau 7 : pourcentage moyen d'enherbement par *Oxalis sp.* et groupes homogènes au seuil de 5%.

L'analyse sur *Oxalis sp.* a nécessité un changement de variable.

Le pourcentage d'enherbement par *Oxalis sp.* sur les parcelles non sarclées est significativement supérieur à celui des autres traitements. Une autre différence est observée

entre les couvertures d'avoine : le recouvrement par *Oxalis sp.* des parcelles paillées (AI) est nettement supérieur à celui des parcelles AP qui cumulent l'effet de la paille et des racines d'avoine.

Galinsoga parviflora :

	Moyennes (%)	Groupes homogènes
SN1	40,0	A
CI	12,1	B
SN2	6,8	B C
AI	6,5	B C
AP	3,0	C

Tableau 8 : pourcentage moyen d'enherbement par *Galinsoga parviflora.* et groupes homogènes au seuil de 5%.

Un changement de variable a été effectué sur cette adventice. Deux différences significatives sont mises en évidence :

- l'enherbement par *Galinsoga p.* des parcelles non sarclées est supérieur à celui des autres traitements,
- Sur les parcelles où l'avoine a été produite (AP), *Galinsoga p.* est moins présente que sur la couverture inerte.

Plantago lanceolata :

	Moyennes (%)	Groupes homogènes
SN1	8,8	A
CI	3,0	B
SN2	1,9	B
AI	0,4	B
AP	0,4	B

Tableau 9 : pourcentage moyen d'enherbement par *Plantago lanceolata.* et groupes homogènes au seuil de 5%.

Après changement de variable, le pourcentage de *Plantago l.* présent sur les sols nus sarclés est supérieur à celui des autres traitements.

Pour *Fumaria muralis*, aucune différence significative n'a pu être mise en évidence malgré un changement de variables.

Nous avons effectué une analyse statistique sur les notes d'observation des autres adventices présentes sur les parcelles, toutes espèces confondues.

Autres adventices

	Moyennes (%)	Groupes homogènes
SN1	13	A
CI	5,10	B
SN2	3,20	B
AI	2,50	B
AP	0,40	B

Tableau 10 : pourcentage moyen d'enherbement par les autres adventices et groupes homogènes au seuil de 5%.

L'enherbement par ces autres adventices sur SN1 est significativement supérieur à celui des autres traitements.

3.1.2. Croissance et production de maïs

Croissance en hauteur du maïs

La figure 7 traduit la croissance en hauteur du maïs en cm. Nous avons représenté l'évolution de la croissance par des courbes de tendance polynomiale d'ordre 3 avec leur coefficient de corrélation R^2). L'effet des différents traitements est observé 50 jours après semis ; la croissance du maïs sur sol nu non sarclé est ralentie et, en fin d'expérimentation, la hauteur semble inférieure à celle des autres traitements.

En revanche, sur couverture inerte, le maïs croît plus rapidement que sur les autres traitements.

L'analyse statistique a été réalisée 78 jours après semis et en fin d'expérimentation.

Au 78^e jour après semis, des différences significatives au seuil de 5% sont mises en évidence (Tableau 11).

	Moyennes (cm)	Groupes homogènes
CI	132,6	A
SN2	113,28	B
AI	112,6	B
AP	109,92	B
SN1	83,32	C

Tableau 11 : Hauteurs moyennes du maïs selon les traitements et groupes homogènes au seuil de 5%, 78 jours après semis.

La hauteur du maïs sur couverture inerte est significativement supérieure à celle des autres traitements. En revanche, aucune différence significative n'est observée entre les couvertures végétales et le sol nu régulièrement sarclé. Sur sol nu enherbé, la hauteur du maïs est nettement inférieure à celle des autres traitements.

Une analyse statistique a été réalisée en fin d'expérimentation (stade floraison du maïs).

	Moyennes (cm)	Groupes homogènes
AI	169,16	A
AP	168,52	A
CI	166,20	A
SN2	165,20	A
SN1	125,84	B

Tableau 12 : Hauteurs moyennes du maïs (en cm) selon les traitements et groupes homogènes au seuil de 5% en fin d'expérimentation (Stade floraison).

La seule différence significative est observée sur le sol nu non sarclé où la hauteur du maïs est inférieure à celle des autres traitements.

La différence visible au 78^e jour après semis sur la couverture inerte s'est estompée au cours du temps ; au stade floraison, la hauteur du maïs sur plastique, couvertures végétales et sol nu sarclé est la même.

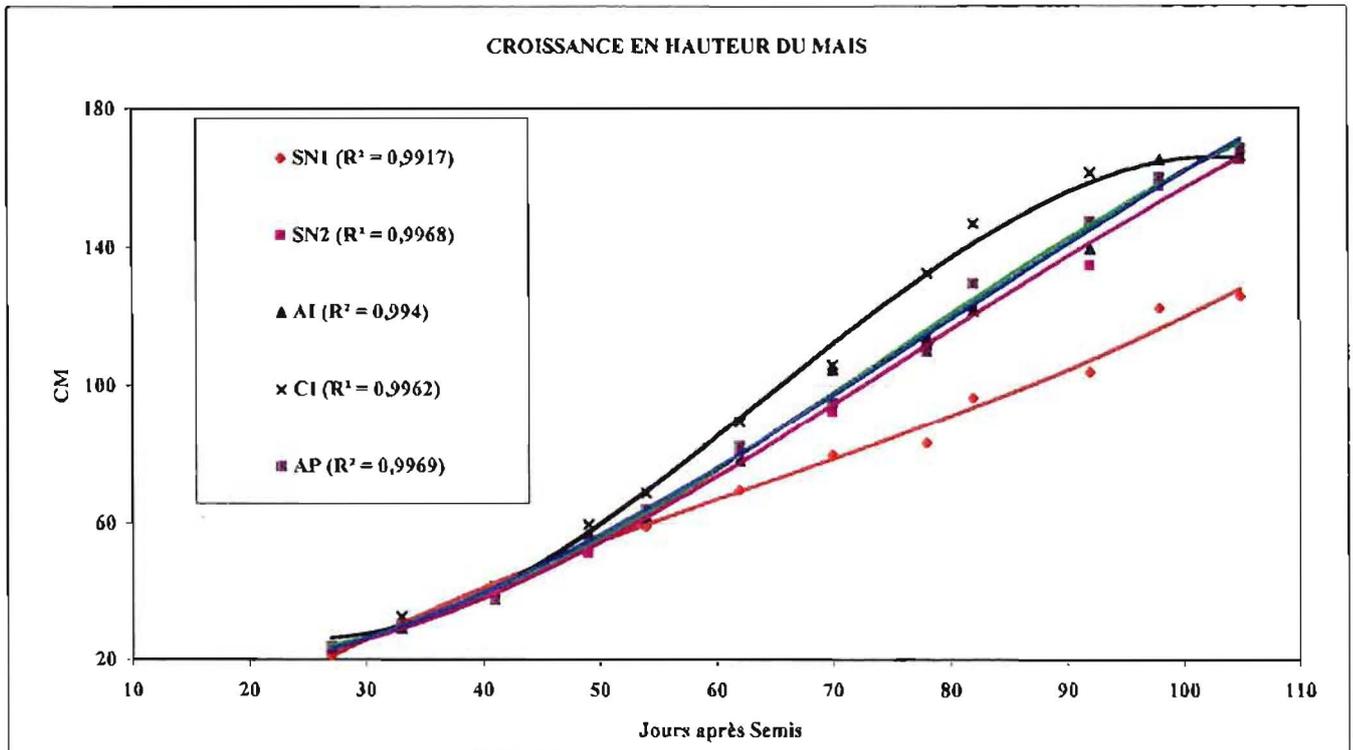


FIGURE 7 : Croissance en hauteur du maïs selon les traitements et exprimée par les courbes de tendance polynomiales de troisième ordre. Les coefficients de détermination sont traduits dans la légende.

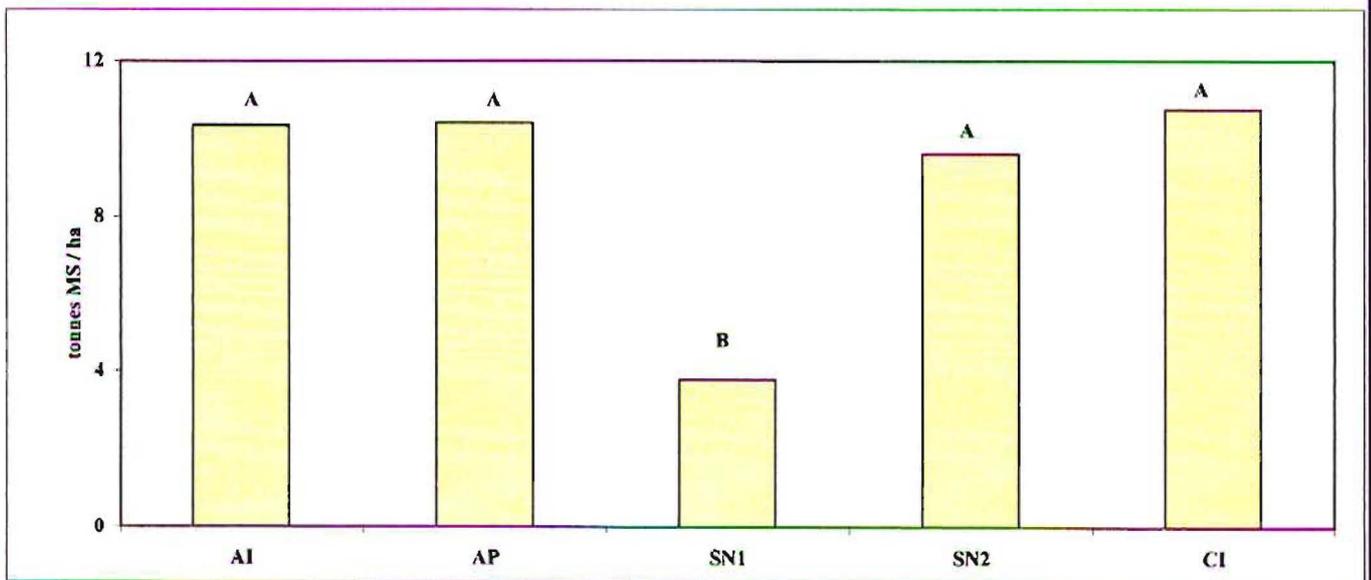


FIGURE 8 : Production de maïs fourrager en tonnes de matière sèche par hectare.

(Une même lettre majuscule indique l'absence de différence significative au seuil de 5%)

Production du maïs

La figure 8 indique que la production de maïs fourrager sur les parcelles enherbées est faible (moins de 4 tonnes de matière sèche par hectare). Sur couvertures végétales, couverture inerte et sol nu sarclé, la biomasse fourragère est significativement la même (10 t MS / ha). Le tableau 13 représente la production de maïs en tonne de matière sèche par hectare ainsi que les groupes homogènes au seuil de 5%.

	Production moyenne (t. MS / ha)	Groupes homogènes
CI	10,75	A
AP	10,38	A
AI	10,33	A
SN2	9,60	A
SN1	3,79	B

Tableau 13 : Production moyenne de maïs en t. MS / ha selon les traitements et groupes homogènes au seuil de 5%.

La production moyenne de maïs sur le sol nu non sarclé est significativement inférieure à celle sur les autres traitements.

3.2. DISPOSITIF 2

Les différents traitements testés dans ce dispositif sont :

- TT : avoine produite (effet de la paille et des racines,
- Rac : avoine produite mais paille exportée (effet racinaire seul)
- Pai : avoine importée (effet de la paille seule)

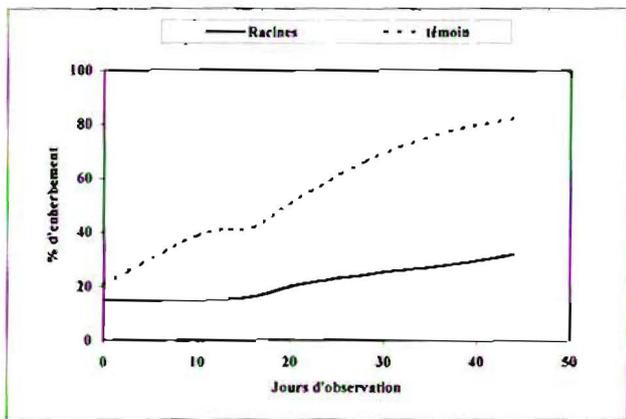
Les témoins (sol nu) associés à ces traitements sont respectivement : T0TT, T0Rac et T0Pai.

3.2.1. Evolution de l'enherbement

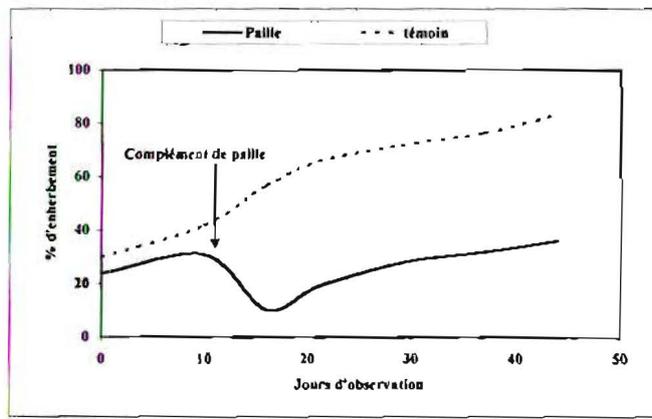
La figure 9 traduit l'évolution de l'enherbement des traitements comparée aux témoins adjacents. Les notes d'enherbement des couvertures semblent toujours supérieures à celles de leur témoin adjacent et la différence s'accroît au cours du temps. Le tableau 14 représente les moyennes des notes d'enherbement exprimées en pourcentage de recouvrement au dernier jour de l'expérimentation et les groupes homogènes au seuil de 5%.

	Moyennes (%)	Groupes homogènes
T0Pai	83,6	A
T0Rac	82,2	A
T0TT	72,0	A
Pai	36,0	B
Rac	32,0	B
TT	18,0	B

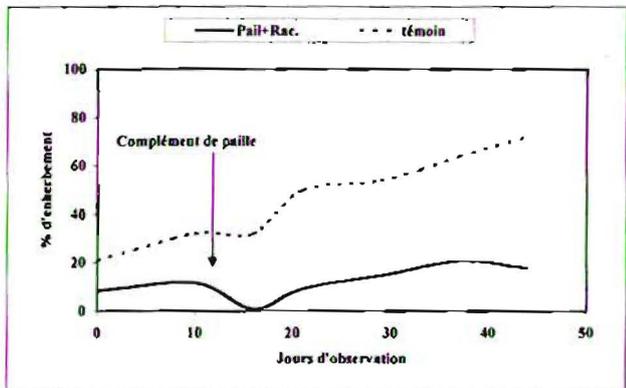
Tableau 14 : Moyennes des notes d'enherbement exprimées en % de recouvrement au dernier jour de l'expérimentation et groupes homogènes au seuil de 5%.



a



b



c

FIGURE 9 : Evolution des notes d'enherbement (% de couverture) comparées aux témoins adjacents

- a: Sur les parcelles où l'avoine a été produite mais la paille exportée (Effets des racines)
- b: Sur les parcelles où de la paille d'avoine a été importée (Effets de la paille seule)
- c: Sur les parcelles où l'avoine a été produite et laissée sur place (Effets cumulés Pailles + Racines)

A la fin de l'expérimentation, l'enherbement des parcelles Rac et Pai dépasse les 30% alors que sur le traitement TT, qui cumule l'effet de la paille à celui des racines, il ne dépasse pas 20%.

3.2.2. Biomasse des adventices

La figure 10 représente la distribution de la flore en pourcentage de la biomasse totale de matière sèche des adventices sur les parcelles témoins.

Parmi les adventices identifiées, quatre espèces sont abondamment retrouvées : *Plantago lanceolata*(L.) (46%), *Raphanus raphanistrum* (L.) (15%), *Galinsoga parviflora* (Cav.) (20%), *Spergula arvensis* (L.) (10%).

Les autres, en plus petite quantité, sont : *Fumaria muralis* (L.), *Sonchus asper* (L.) Hill, *Euphorbia* sp., *Gamachaeta purpurea* (L.) Cabrera, *Oxalis latifolia* Kunth, *Oxalis corniculata* L., *Bidens pilosa* (L.), *Stachys arvensis* (L.).

La figure 11 traduit la biomasse en matière sèche par m² des parties aériennes des adventices récoltées sur chaque traitement et les témoins adjacents. En moyenne, 364 g. de matière sèche des parties aériennes d'adventices par m² sont présentes sur les témoins. Le tableau des moyennes des biomasses des adventices et des groupes homogènes indique que l'enherbement des témoins adjacents est toujours supérieur à celui des traitements correspondants au seuil de 5%.

	Moyennes (g/m ²)	Groupes homogènes
TOPai	426,20	A
TORac	359,03	A
TOTT	306,40	A
Rac	161,37	B
Pai	101,86	B
TT	69,17	B

Tableau 15 : Moyennes de la biomasse des parties aériennes des adventices totales (exprimées en gramme de matière sèche par m²) récoltées sur chaque traitement et témoins adjacents.

Observations par espèce :

Plantago l. : La figure 12 et le tableau 16 montrent une différence significative de matière sèche entre les traitements et les témoins adjacents ; la biomasse de matière sèche de *Plantago* sur les témoins est toujours supérieure à celle des traitements.

	Moyennes (g/m ²)	Groupes homogènes
TOPai	177,09	A
TOTT	171,02	A
TORac	158,83	A
Rac	46,45	B
TT	25,83	B
Pai	23,12	B

Tableau 16 : Moyennes de biomasse de parties aériennes de *Plantago l.* (exprimées en g de MS par m²) récolté sur les traitements et les témoins adjacents, et groupes homogènes au seuil de 5%.

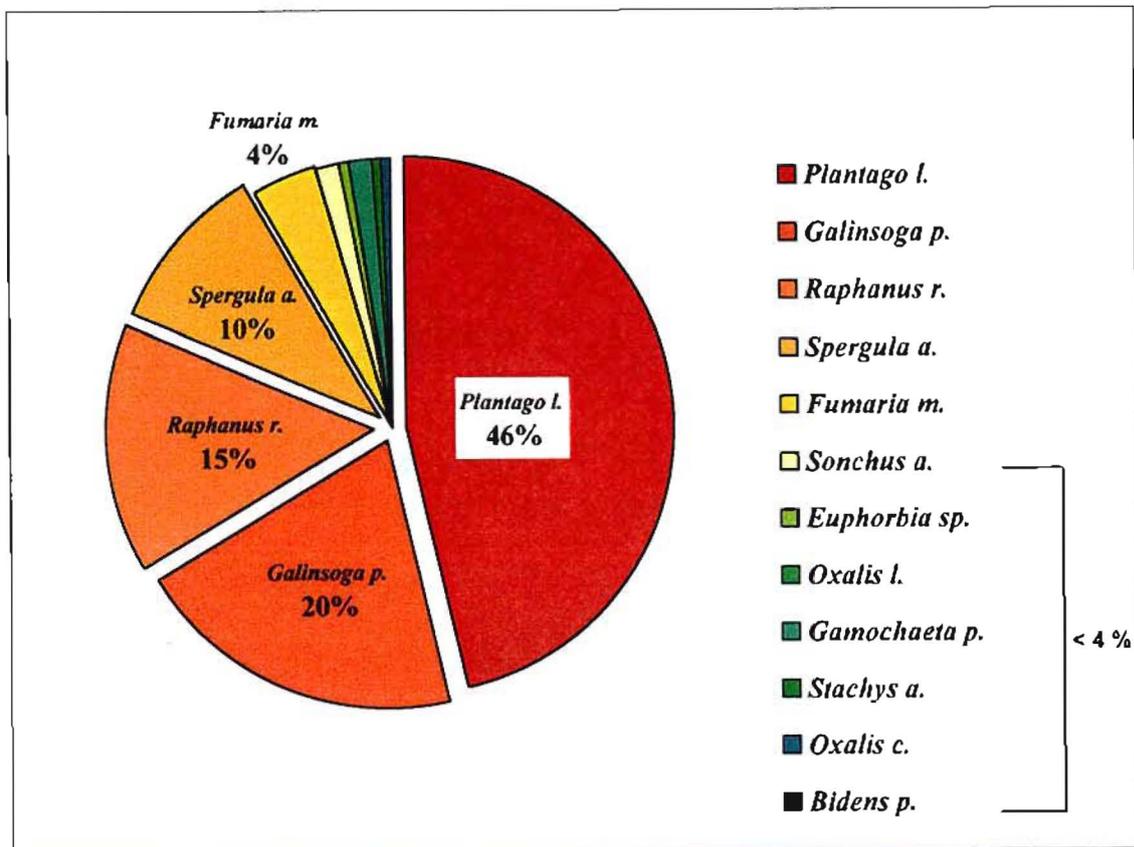


FIGURE 10 : Distribution de la flore adventice sur le dispositif 2 exprimée en % de la biomasse totale (matière sèche) des adventices sur les parcelles témoins.

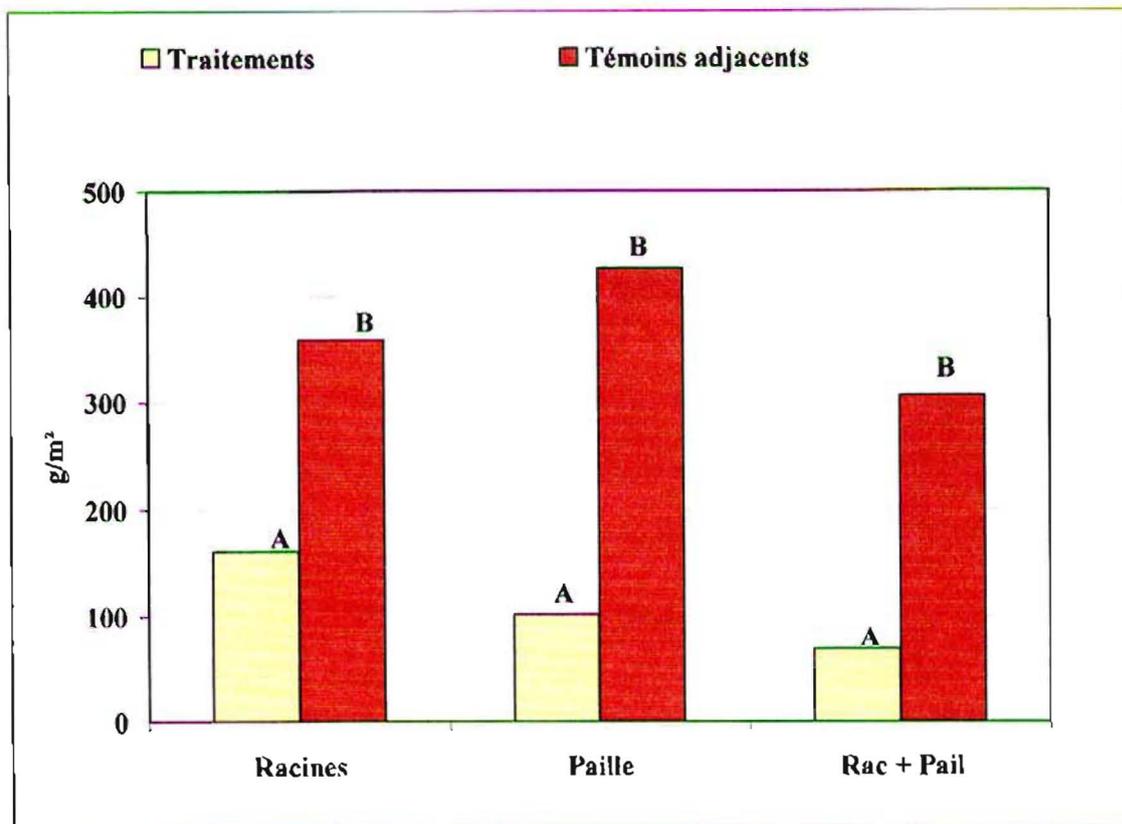


FIGURE 11 : Comparaison entre la matière sèche (g/m^2) des adventices récoltées sur chaque traitement et son témoin adjacent.

(Une même lettre indique l'absence de différence significative au seuil de 5 %)

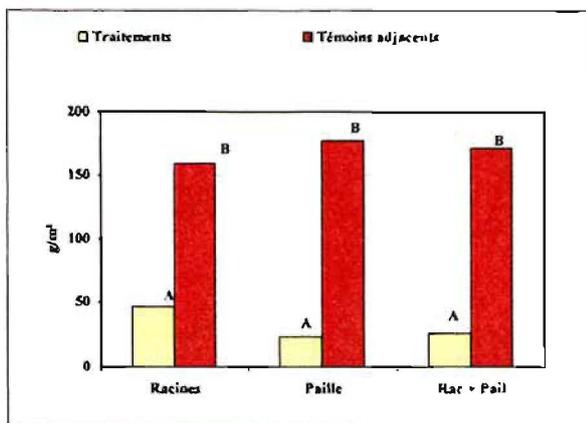


FIGURE 12 : Comparaison entre les matières sèches de *Plantago L.* sur chaque traitement et son témoin adjacent.

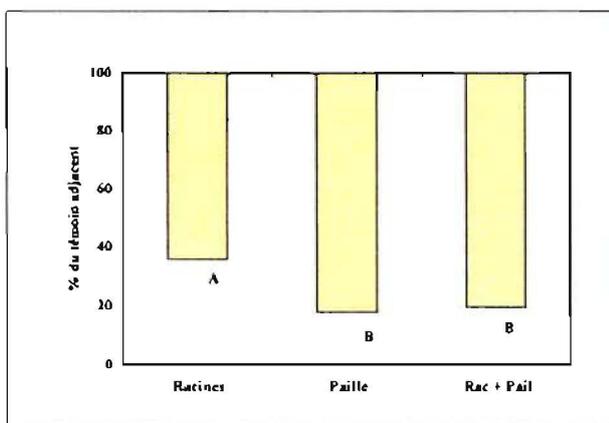


FIGURE 13 : Comparaison entre les traitements exprimés en % du témoin adjacent pour *Plantago L.*

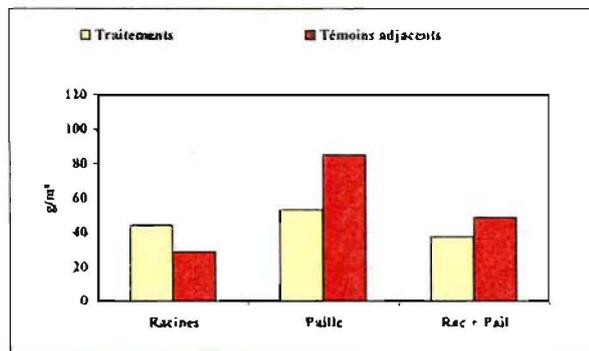


FIGURE 14 : Comparaison entre les matières sèches de *Raphanus r.* sur chaque traitement et son témoin adjacent.

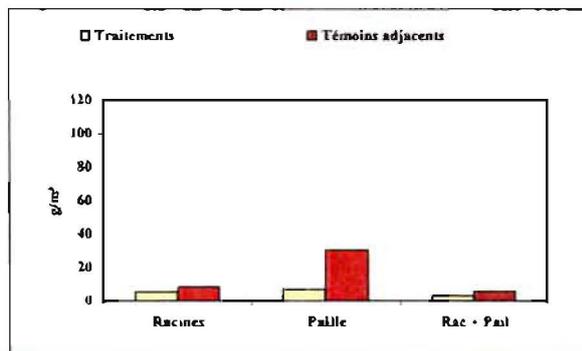


FIGURE 15 : Comparaison entre les matières sèches de *Fumaria m.* sur chaque traitement et son témoin adjacent.

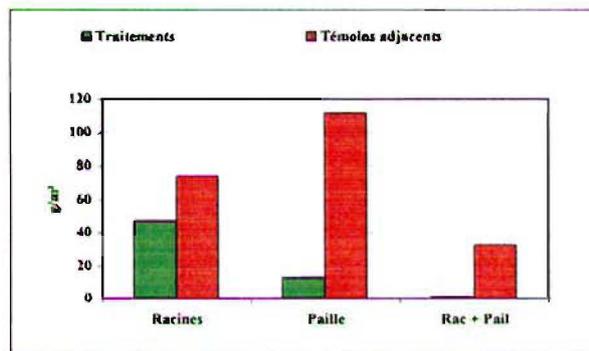


FIGURE 16 : Comparaison entre les matières sèches de *Galinsoga p.* sur chaque traitement et son témoin adjacent. (Sur blocs 1 à 3)

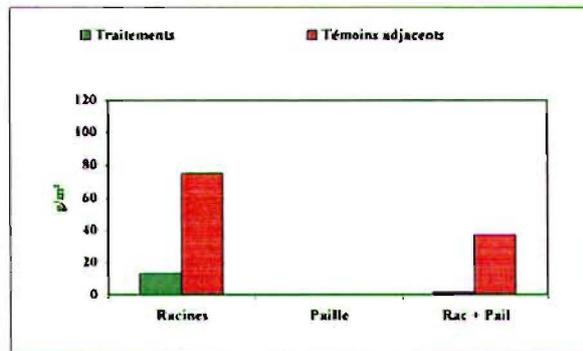


FIGURE 17 : Comparaison entre les matières sèches de *Spergula a.* sur chaque traitement et son témoin adjacent. (sur blocs 1 à 3)

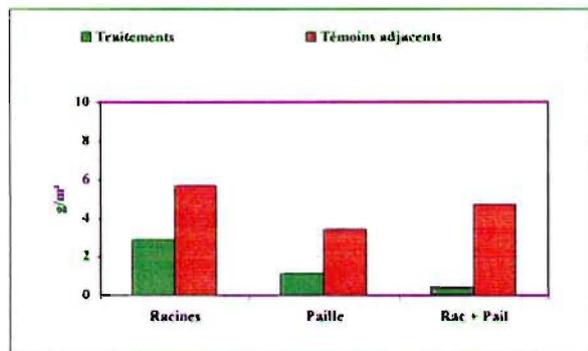


FIGURE 18 : Comparaison entre les matières sèches de *Sonchus a.* sur chaque traitement et son témoin adjacent.

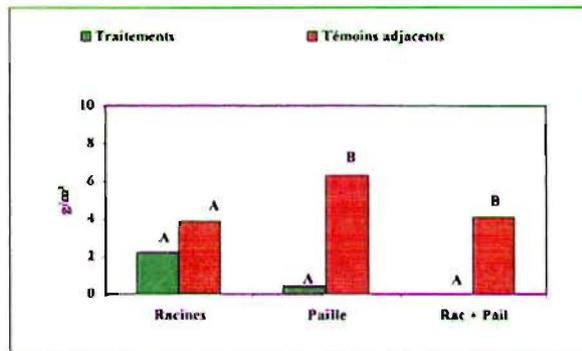


FIGURE 19 : Comparaison entre les matières sèches de *Gamochaeta p.* sur chaque traitement et son témoin adjacent.

(Une même lettre indique l'absence de différence significative au seuil de 5 %)

Afin de mettre en évidence d'éventuelles différences entre les traitements, nous avons exprimé chaque traitement en pourcentage de son témoin. L'analyse statistique a ensuite nécessité un changement de variable par $\arcsin\sqrt{x}$.

La figure 13 et le tableau 17 montrent des différences significatives entre traitements : la biomasse sèche en *Plantago l.* des parcelles Pai et TT est inférieure à celle des parcelles Rac.

	Moyennes (%)	Groupes homogènes
Rac	35,86	A
TT	19,37	B
Pai	17,71	B

Tableau 17 : Moyennes de biomasse sèche de *Plantago l.* (exprimées en % du témoin adjacent) sur chaque traitement et groupes homogènes au seuil de 5%.

Raphanus r. et *Fumaria m.* et *Sonchus a.* : aucune différence significative de biomasse sèche au seuil de 5% n'est observée entre les témoins adjacents et leur traitement (figures 14, 15 et 18).

Galinsoga p. et *Spergula a.* : ces deux adventices ne sont présentes que sur les blocs 1, 2, 3. L'analyse statistique ne peut donc pas être effectuée sur ces 2 adventices. Toutefois, à partir des moyennes réalisées sur trois blocs, la figure 16 indique que la biomasse sèche en *Galinsoga p.* sur la couverture Paille semble inférieure à son témoin. Pour *Spergula a.* (Figure 17), la biomasse sèche, en comparaison à celle des témoins adjacents, semble inférieure sur les traitements Rac et TT.

Gamochaeta p. : L'analyse statistique a nécessité un changement de variable par $\arcsin\sqrt{x}$. Le tableau 18 et la figure 19 traduisent les moyennes de biomasse (en g./m²) de *Gamochaeta p.* sur chaque traitement et les témoins adjacents.

	Moyennes (g./m ²)	Groupes homogènes
TOPai	6,29	A
TOTT	4,11	A B
TORac	3,87	A B
Rac	2,19	B C
Pai	0,39	C
TT	0	C

Tableau 19 : Moyennes de biomasses de *Gamochaeta p.* (en g. de MS par m²) sur chaque traitement et les témoins adjacents, et groupes homogènes au seuil de 5%.

La biomasse en *Gamochaeta p.* des traitements Pai et TT est significativement inférieure à celle de leur témoin adjacent. En revanche, aucune différence significative n'est observée entre le traitement Rac et son témoin.

3.3. RESULTATS OBTENUS EN SERRE

Les différents traitements testés pour les tests de croissance et de germination sont :

- T1 : lessivage de parties aériennes d'avoine fraîche,
- T2 : lessivage de parties aériennes décomposées,
- T3 : macération de parties aériennes fraîches à 25°C durant 24 h,
- T4 : macération de parties aériennes décomposées à 25°C durant 24 h,
- T5 : macération de racines à 25°C durant 24 h,
- T6 : macération de parties aériennes fraîches + racines à 25°C durant 24 h,
- T7 : macération de parties aériennes décomposées + racines à 25°C durant 24 h,
- T3', T4', T5', T6', T7', sont les même traitements que T3, T4, T5, T6, T7 mais à 35°C
- T8 : solution d'exsudats racinaires,
- T0 : solution nutritive.

Pour les tests de croissance, il existe deux traitements supplémentaires :

- CI : couverture inerte,
- BV : couverture de biomasse fraîche.

Les résultats des tests de croissance (hauteur et biomasse) et de germination sont exposés par plante. Sur plusieurs espèces (*Plantago lanceolata*, *Bidens pilosa*, *Oryza sativa*) les tests de germination n'ont pas été satisfaisants. En effet, dans les conditions d'expérimentation (boîtes de Pétri, papier de germination), la germination des graines a été très faible. Les résultats présentés concernent les tests effectués sur vermiculite. En effet, les résultats obtenus sur sol ne montrent pas de différences significatives. L'analyse de variance a été réalisée avec le logiciel STATITCF en utilisant le test de NEWMAN-KEULS au seuil de 5%.

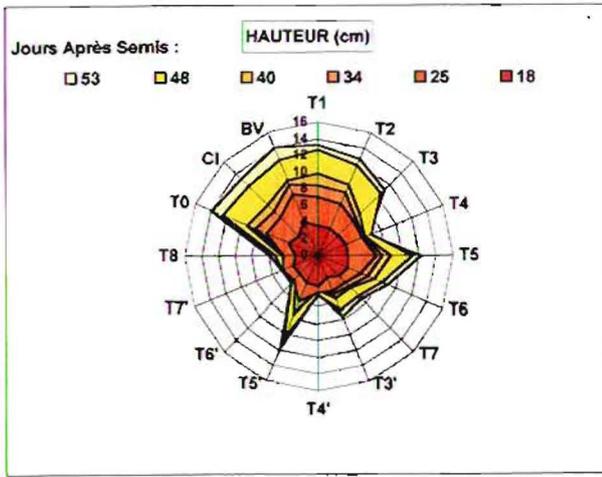
Nous n'avons pas décrit tous les résultats, trop nombreux, concernant les groupes homogènes du test de NEWMAN-KEULS. Nous avons évoqué dans le texte les différences existant entre les traitements et le témoin T0. En ce qui concerne les résultats obtenus au niveau de la comparaison entre l'ensemble des traitements, nous les avons représentés par des tableaux reproduisant les groupes homogènes. Les deux différenciations les plus utiles ont été traduites schématiquement.

L'ensemble des résultats sera repris de façon synthétique en introduction du chapitre « Interprétation et Discussion ».

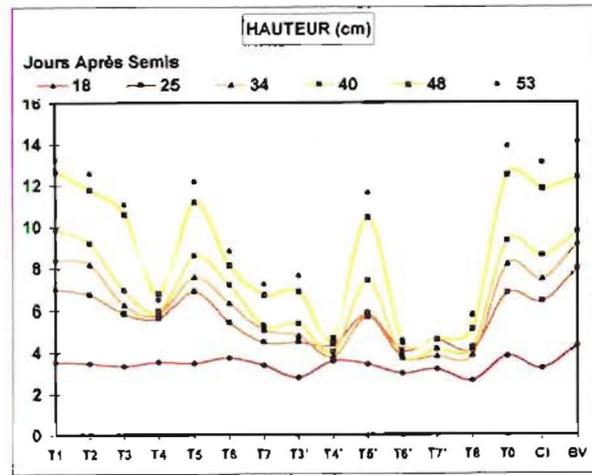
3.3.1. *Plantago lanceolata*

3.3.1.1. Résultats sur la croissance en hauteur

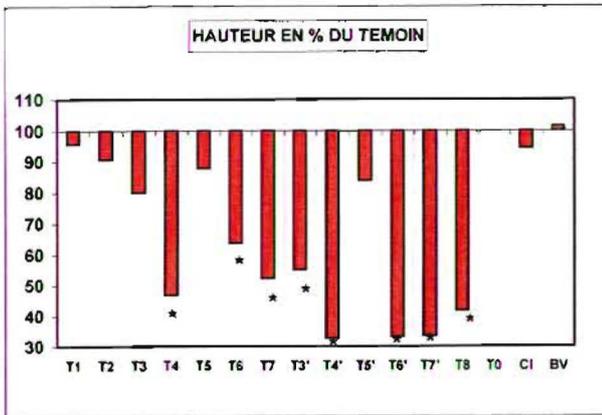
La figure 20 représente la croissance en hauteur des parties aériennes. Les figures 20 a et b traduisent l'évolution de la croissance. Au cours du temps des différences semblent se créer entre les traitements T4, T6, T7, T3', T4', T6', T7', T8 et le témoin T0. A la dernière date d'observation, les hauteurs ont été exprimées en % du témoin (Figure 20 c). La hauteur sur ces traitements est significativement inférieure à celle sur T0 (Tableau 19).



a: Evolution de la hauteur (représentation en radar)



b. Evolution de la hauteur (représentation en courbes lissées)



c: Hauteurs moyennes à la dernière date d'observation (27 juin)

FIGURE 20 :

Croissance en hauteur des parties aériennes de *Plantago lanceolata* sur vermiculite

* : Différences significatives au seuil de 5 % par rapport au témoin T0

Tableau 19 : Hauteurs moyennes (en cm) selon les traitements et groupes homogènes sur *Plantago lanceolata*.

TRAITEMENTS	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
BV	14.10	A
T0	13.90	A
T1	13.30	A
CI	13.10	A
T2	12.60	A B
T5	12.20	A B
T5'	11.65	A B
T3	11.10	A B
T6	8.85	B C
T3'	7.65	C
T7	7.25	C
T4	6.50	C
T8	5.80	C
T7'	4.65	C
T6'	4.60	C
T4'	4.55	C

3.3.1.2. Résultats sur la biomasse sèche

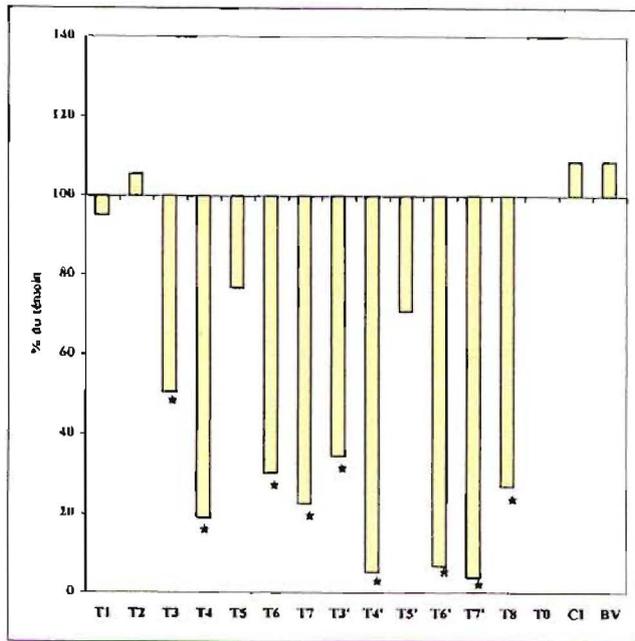
La Figure 21 traduit les biomasses des parties aériennes et/ou racinaires exprimées en % du témoin.

- Biomasse racinaire

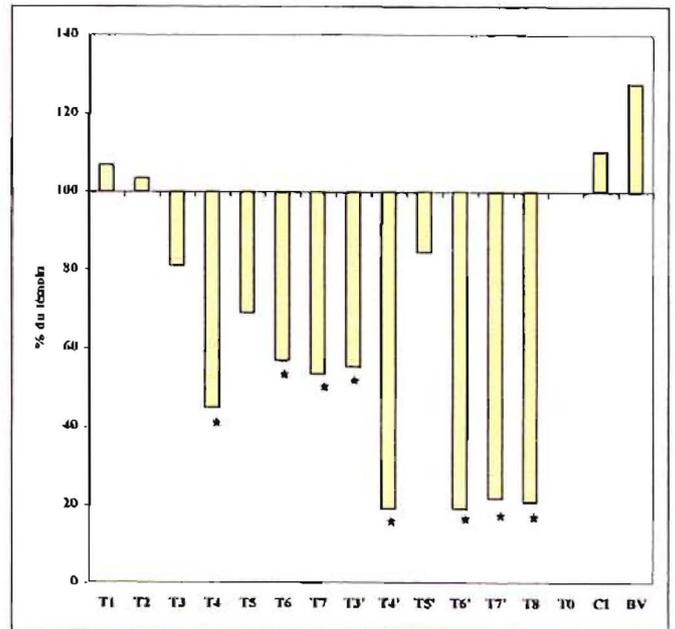
Les biomasses des racines des traitements T7', T4', T6', T4, T7, T8, T6, T3', T3 sont significativement inférieures à celle du témoin (Figure 21a). L'analyse statistique (Tableau 20) montre qu'il existe des différences entre les traitements.

Tableau 20 : Biomasses racinaires moyennes (en g de M.S.) selon les traitements et groupes homogènes au seuil de 5% sur *Plantago lanceolata* (CV = 37,1%)

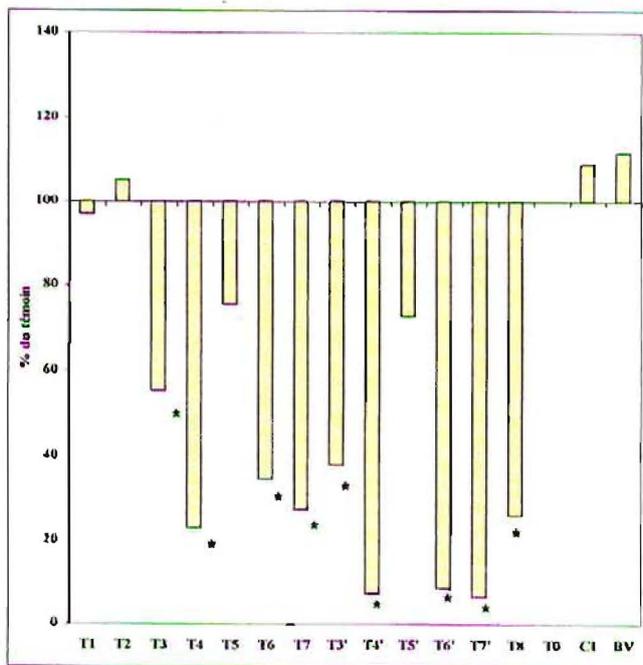
TRAITEMENTS	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
CI	3,38	A
BV	3,38	A
T2	3,28	A
T0	3,11	A
T1	2,96	A
T5	2,39	A B
T5'	2,20	A B
T3	1,57	B C
T3'	1,08	C D
T6	0,95	C D
T8	0,84	C D
T7	0,70	C D
T4	0,59	C D
T6'	0,21	D
T4'	0,16	D
T7'	0,12	D



a : biomasse sèche de racines



b : biomasse de feuilles



c : Biomasse sèche totale

FIGURE 21 :

Biomasses de matière sèche de *Plantago lanceolata* (exprimées en % du témoin) sur vermiculite

* : différences significatives au seuil de 5 % par rapport au témoin
Les groupes homogènes sont décrits dans le texte

- Biomasse des feuilles

Le tableau 21 montre les différences significatives ainsi que les groupes homogènes et les différences par rapport au témoin sont traduites sur la figure 21 b. Les biomasses des traitements T6, T3', T7, T4, T7', T8, T6', T4' sont inférieures à celles de T0 alors que celle sur BV est supérieure.

Tableau 21 : Biomasses moyennes des feuilles (en g de M.S.) selon les traitements et groupes homogènes au seuil de 5% sur *Plantago lanceolata*. (CV = 32,9%)

TRAITEMENTS	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
BV	0,74	A
CI	0,64	A B
T1	0,62	A B
T2	0,60	A B
T0	0,58	A B
T5'	0,49	B C
T3	0,47	B C
T5	0,40	B C
T6	0,33	C D
T3'	0,32	C D
T7	0,31	C D
T4	0,26	C D
T7'	0,13	D
T8	0,12	D
T6'	0,11	D
T4'	0,11	D

- Biomasse totale (Figure 21 c)

Le tableau 22 montre que les biomasses de T7', T4', T6' T4, T8, T7, T6, T3, et T3' sont significativement inférieurs à celle du témoin.

Tableau 22 : Biomasses totales moyennes (en g de M.S.) selon les traitements et groupes homogènes au seuil de 5% sur *Plantago lanceolata*. (CV = 33,6%)

TRAITEMENTS	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
BV	4,12	A
CI	4,02	A B
T2	3,88	A B C
T0	3,69	A B C
T1	3,58	A B C
T5	2,79	B C D
T5'	2,69	C D
T3	2,04	D E
T3'	1,40	E F
T6	1,28	E F
T7	1,01	E F
T8	0,96	E F
T4	0,85	E F
T6'	0,32	F
T4'	0,27	F
T7'	0,25	F

3.3.2. *Bidens pilosa*

3.3.2.1. Résultats des tests de croissance en hauteur

La figure 22 représente la croissance en hauteur des parties aériennes. Les différences observées entre certains traitements et le témoin semblent s'accroître au cours du temps (Figures 22 a et 22 b). Les hauteurs sur les traitements T4', T6', T7', T8 semblent inférieures à celle du témoin. Au dernier jour de l'expérimentation, les hauteurs (en % du témoin) sur les traitements T4', T6', T7', T8 sont significativement différentes de celles du témoin. Le tableau 23 sur l'analyse statistique traduit les différences entre les différents traitements.

Tableau 23 : Hauteurs moyennes (en cm) selon les traitements et groupes homogènes sur *Bidens pilosa*.

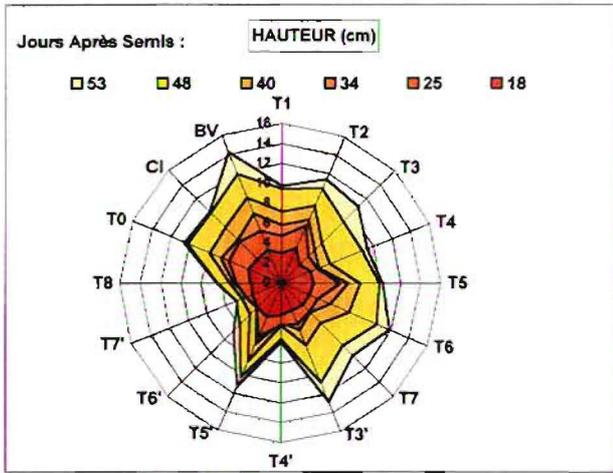
TRAITEMENTS	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
BV	11.85	A
3'	10.70	A
6	10.45	A
2	10.40	A
5'	10.20	A
T0	10.20	A
Cl	10.00	A
5	9.90	A
1	9.50	A B
4	8.80	A B C
3	8.80	A B C
7	8.80	A B C
8	6.40	B C D
6'	5.85	C D
4'	5.60	C D
7'	4.85	D

3.3.2.2. Résultats sur les biomasses sèches

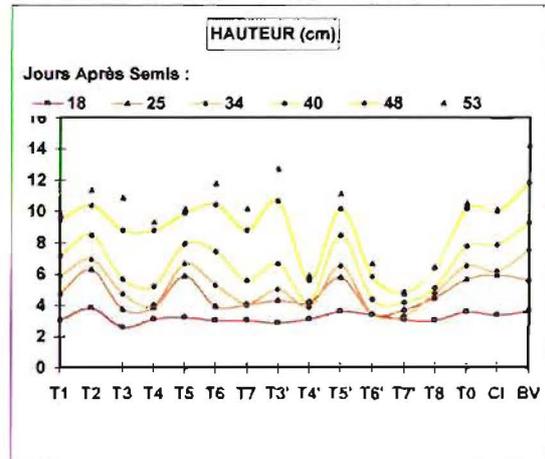
La figure 23 représente les biomasses sèches totales exprimées en % du témoin.

- Biomasse des tiges (Figure 23 a)

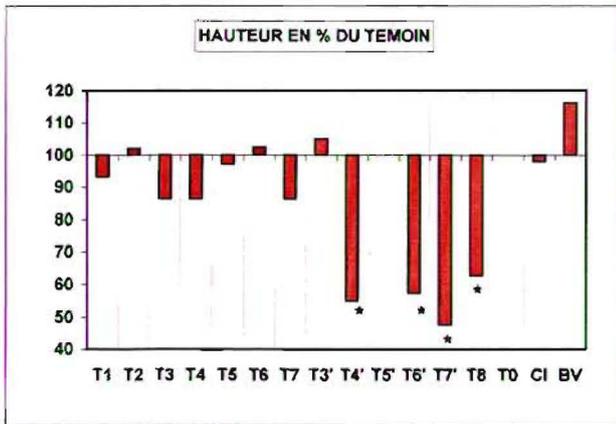
L'analyse statistique ne révèle aucune différence significative entre les traitements et le témoin (Tableau 24).



a: Evolution de la hauteur (représentation en radar)



b: Evolution de la hauteur (représentation en courbes lissées)

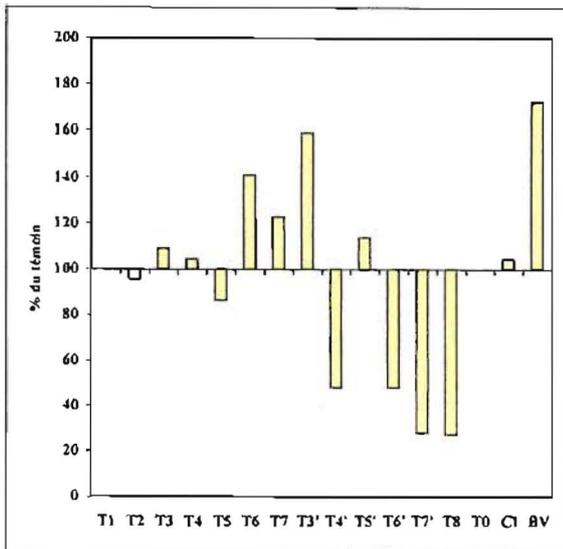


c: Hauteurs moyennes à la dernière date d'observation (22 juin) exprimées en % du témoin T0

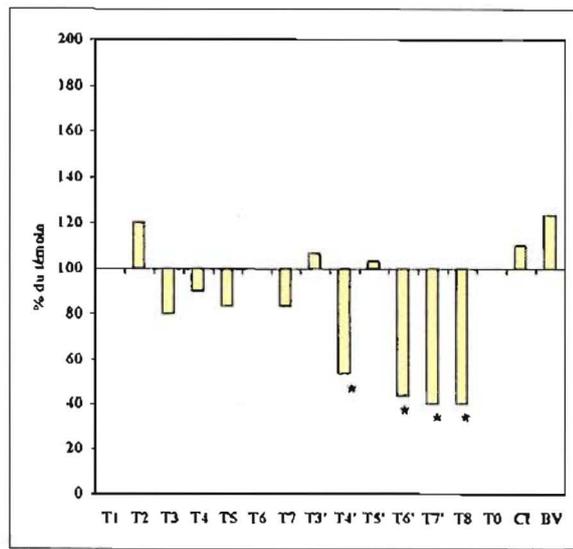
FIGURE 22 :

Croissance en hauteur des parties aériennes de *Bidens pilosa* sur vermiculite

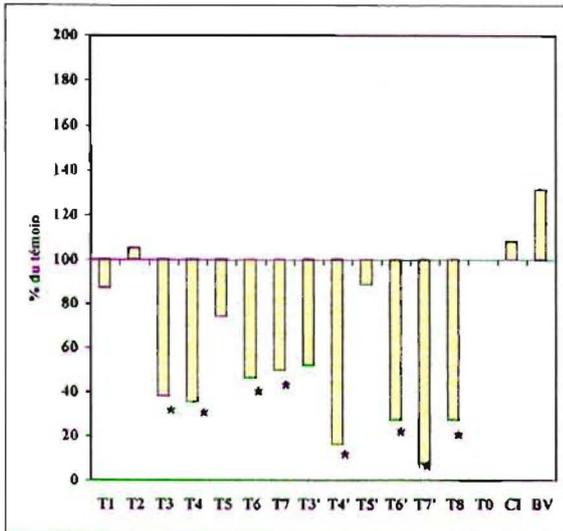
* : Différences significatives au seuil de 5 % par rapport au témoin T0
Les groupes homogènes sont décrits dans les tableaux du texte.



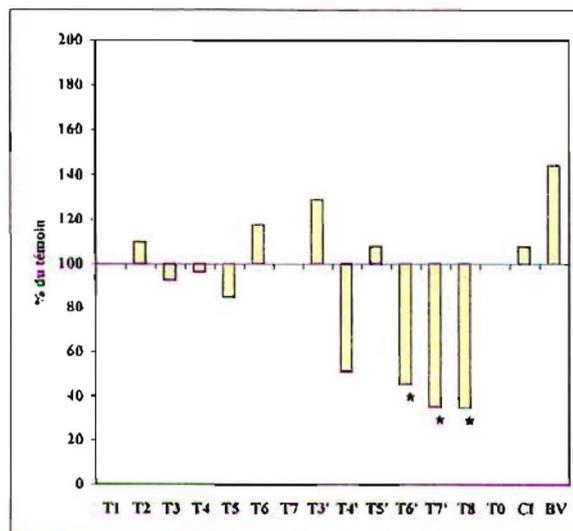
a : Matière sèche des tiges



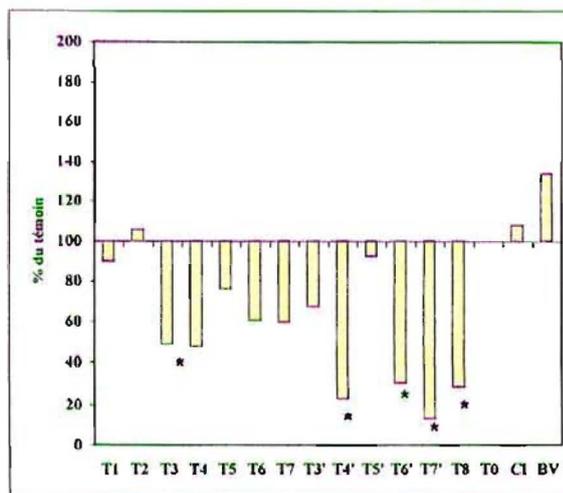
b : Matière sèche des feuilles



c : Matière sèche des racines



d : Matière sèche des parties aériennes



e : Matière sèche totale

FIGURE 23 :

Biomasses de matière sèche de *Bidens pilosa* (exprimées en % du témoin) sur vermiculite

* : différences significatives au seuil de 5 % par rapport au témoin
Les groupes homogènes sont décrits dans le texte

Tableau 24 : Biomasses moyennes des tiges (en g de M.S.) selon les traitements et groupes homogènes au seuil de 5% sur *Bidens pilosa*. (CV = 41,6%)

TRAITEMENTS	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
BV	0,38	A
T3'	0,35	A
T6	0,31	A
T7	0,27	A B
T5'	0,25	A B C
T3	0,24	A B C
T4	0,23	A B C
CI	0,23	A B C
T1	0,22	A B C
T0	0,22	A B C
T2	0,21	A B C
T5	0,19	A B C
T6'	0,11	B C
T4'	0,11	B C
T7'	0,06	C
T8	0,06	C

Toutefois, il existe une tendance vers une différenciation entre les traitements. Mais le fort CV ne permet pas de mettre ces résultats en évidence de façon significative.

- Biomasse sur les feuilles (Figure 23 b)

Les biomasses de T4', T6', T8, T7' sont significativement inférieures à celle du témoin. Les moyennes et les groupes homogènes sont représentés dans le tableau 25.

Tableau 25 : Biomasses moyennes des feuilles (en g de M.S.) selon les traitements et groupes homogènes au seuil de 5% sur *Bidens pilosa*. (CV = 26,8%)

TRAITEMENTS	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
BV	0,37	A
T2	0,36	A
CI	0,33	A
T3'	0,32	A
T5'	0,31	A
T0	0,30	A
T6	0,30	A
T1	0,30	A
T4	0,27	A B
T7	0,25	A B C
T5	0,25	A B C
T3	0,24	A B C
T4'	0,16	B C
T6'	0,13	C
T8	0,12	C
T7'	0,12	C

- Biomasses des racines (Figure 23c)

Les biomasses des traitements T7, T6, T4, T3, T8, T6', T4', T7' sont significativement réduites par rapport au témoin (Tableau 26).

Tableau 26 : Biomasses racinaires moyennes (en g de M.S.) selon les traitements et groupes homogènes au seuil de 5% sur *Bidens pilosa*. (CV = 37,8%)

TRAITEMENTS	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
BV	2,69	A
CI	2,21	A B
T2	2,15	A B
T0	2,05	A B
T5'	1,82	A B C
T1	1,79	A B C
T5	1,52	B C D
T3'	1,27	B C D
T7	1,02	C D E
T6	0,95	C D E
T4	0,93	C D E
T3	0,78	D E
T8	0,56	D E
T6'	0,56	D E
T4'	0,53	D E
T7'	0,16	E

- Biomasses des parties aériennes (Figure 23d)

Sur les traitements T6', T7', T8 la hauteur est significativement réduite par rapport à T0 (Tableau 27).

Tableau 27 : Biomasses moyennes des parties aériennes (en g de M.S.) selon les traitements et groupes homogènes au seuil de 5% sur *Bidens pilosa*. (CV = 30,4%)

TRAITEMENTS	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
BV	0,75	A
T3'	0,67	A B
T6	0,61	A B
T2	0,57	A B
T5'	0,56	A B
CI	0,56	A B
T0	0,52	A B C
T7	0,52	A B C
T1	0,52	A B C
T4	0,50	A B C
T3	0,48	A B C
T5	0,44	B C D
T4'	0,27	C D E
T6'	0,23	D E
T7'	0,18	E
T8	0,18	E

- Biomasses totales (Figure 23e)

L'analyse statistique montre que les hauteurs sur T3, T6', T4', T8 et T7' sont inférieures à celle sur le témoin (Tableau 28).

Tableau 28 : Biomasses totales moyennes (en g de M.S.) selon les traitements et groupes homogènes au seuil de 5% sur *Bidens pilosa*. (CV = 32,5%)

TRAITEMENTS	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
BV	3,44	A
CI	2,77	A B
T2	2,72	A B
T0	2,57	A B C
T5'	2,38	B C D
T1	2,31	B C D
T5	1,96	B C D
T3'	1,94	B C D
T6	1,56	C D E
T7	1,54	C D E
T4	1,43	C D E
T3	1,26	D E F
T6'	0,80	E F
T4'	0,79	E F
T8	0,74	E F
T7'	0,34	F

3.3.3. *Phalaris arundinacea*

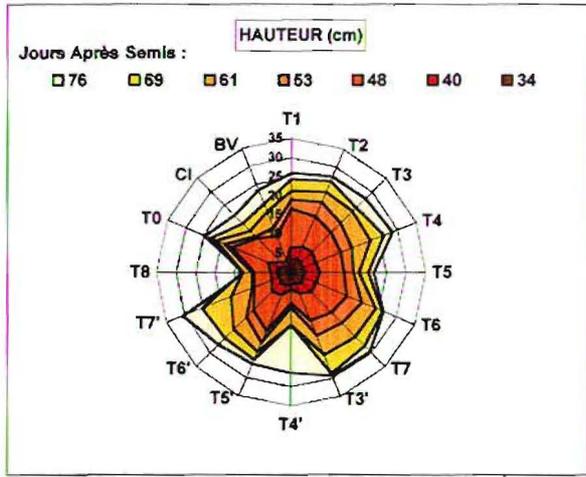
3.3.3.1. Résultats sur la croissance en hauteur

La figure 24 traduit La croissance en hauteur des parties aériennes.

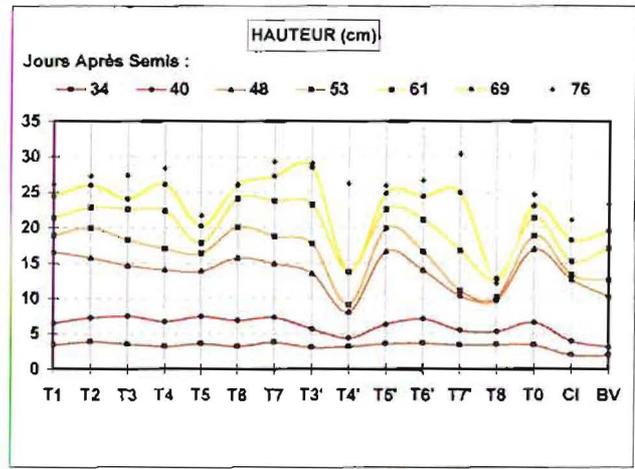
Les figures 24a et 24b sur l'évolution de la hauteur montre que sur certains traitements (T4', T7', T8) la hauteur semble inférieure celle sur le témoin. Les différences semblent s'accroître au cours du temps sauf sur la dernière date d'observation. Le tableau 29 montre qu'à la dernière date d'observation seule la hauteur de T8 est significativement inférieure à celle de T0. Les différences par rapport au témoin sont traduites sur la figure 24 c. Une autre analyse statistique a donc été réalisée en cours de croissance (Tableau 30). Elle révèle que sur T4' la hauteur est inférieure à celle de T0. En revanche, la hauteur sur T8 n'est pas encore significativement différente de celle de T0.

Tableau 29 : Hauteurs moyennes (en cm) selon les traitements et groupes homogènes à la dernière date d'observation sur *Phalaris arundinacea*.

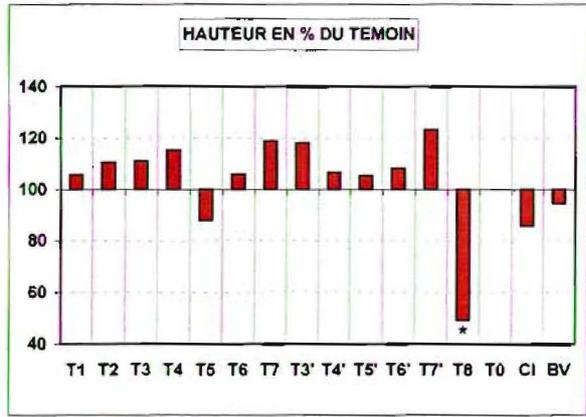
TRAITEMENTS	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
7'	30,55	A
7	29,40	A B
3'	29,20	A B
4	28,50	A B
3	27,45	A B
2	27,30	A B
6'	26,75	A B
4'	26,35	A B
6	26,20	A B
1	26,15	A B
5'	26,05	A B
T0	24,75	A B
BV	23,36	A B
5	21,75	B
CI	21,20	B
8	12,20	C



a: Evolution de la hauteur (représentation en radar)



b: Evolution de la hauteur (représentation en courbes lissées)



a: Hauteurs moyennes à la dernière date d'observation (20 juillet) exprimées en % du témoin T0

FIGURE 24 :

Croissance en hauteur des parties aériennes de *Phalaris arundinacea* sur vermiculite

* : Différences significatives au seuil de 5 % par rapport au témoin T0
Les groupes homogènes sont décrits dans les tableaux du texte.

Tableau 30 : Hauteurs moyennes (en cm) selon les traitements et groupes homogènes en cours de croissance sur *Phalaris arundinacea*.

TRAITEMENTS	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
6	20.15	A
5'	20.05	A
2	20.00	A
1	19.00	A B
T0	18.95	A B
7	18.85	A B
3	18.35	A B
3'	17.85	A B C
4	17.10	A B C
6'	16.70	A B C
5	16.45	A B C
CI	13.45	A B C
BV	12.65	A B C
7'	11.20	A B C
8	10.25	B C
4'	9.20	C

3.3.3.2. Résultats sur les biomasses sèches

La figure 25 traduit les biomasses de racines, de parties aériennes exprimées en % du témoin.

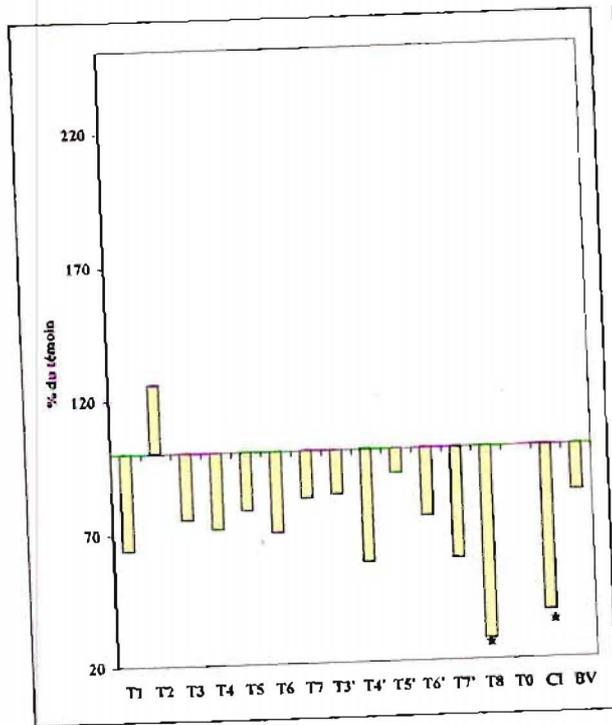
- Biomasses des racines (Figure 25a)

Seule la biomasse de T8 est significativement à celle du témoin (Tableau 31).

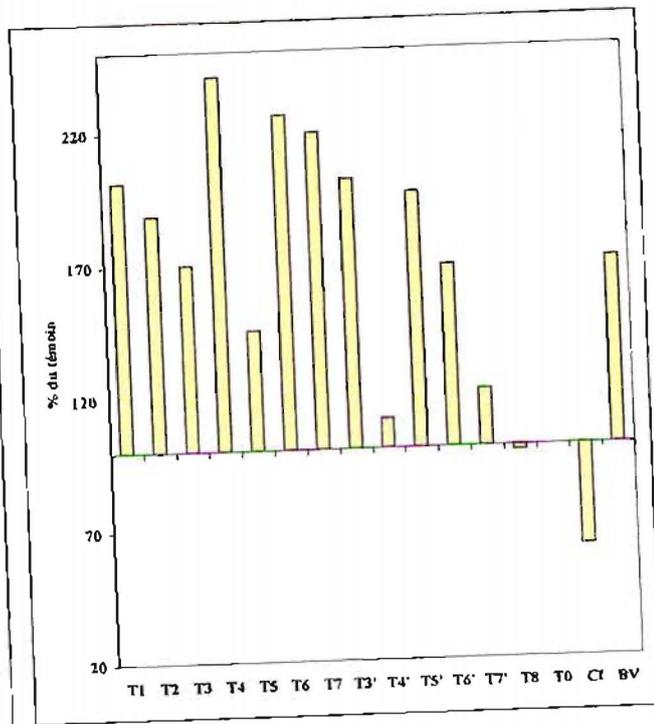
Tableau 31 : Biomasses racinaires moyennes (en g de M.S.) selon les traitements et groupes homogènes au seuil de 5% sur *Phalaris arundinacea*. (CV = 41,6%)

TRAITEMENTS	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
T2	4,65	A
T0	3,70	A B
T5'	3,35	A B C
T3'	3,09	A B C
T7	3,04	A B C
T5	2,89	A B C
T3	2,78	A B C
T6'	2,76	A B C
T4	2,64	A B C
T6	2,58	A B C
BV	2,45	A B C
T1	2,37	A B C
T7'	2,17	B C
T4'	2,14	B C
CI	1,42	B C
T8	1,04	C

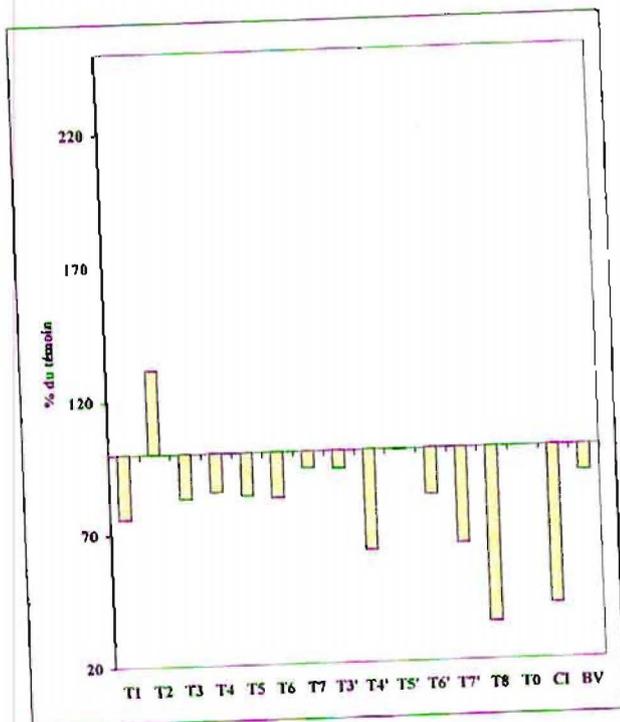
On peut observer une tendance vers une différenciation entre les traitements T4' , T7' et le témoin. Mais le CV trop élevé ne permet pas de la montrer significativement.



a : biomasse sèche de racines



b : biomasse de feuilles



c : Biomasse sèche totale

FIGURE 25 :

Biomasses de matière sèche de *Phalaris arundinacea*
(exprimées en % du témoin) sur vermiculite

* : différences significatives au seuil de 5 % par rapport au témoin
Les groupes homogènes sont décrits dans le texte

- Biomasses des feuilles (Figure 25b)

Du fait d'un coefficient de variation trop important (CV = 66,3%), l'analyse statistique ne révèle aucune différence significative au seuil de 5%.

- Biomasse totale (Figure 25c)

Aucune différence significative n'a pu être mise en évidence (Tableau 32). La tendance (biomasse sur T8, CI, T4', T7' et BV inférieure à T0) ne peut pas être mise en évidence de façon significative du fait d'un CV trop élevé.

Tableau 32 : Biomasses totales moyennes (en g de M.S.) selon les traitements et groupes homogènes au seuil de 5% sur *Phalaris arundinacea*. (CV = 40,1%)

TRAITEMENTS	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
T2	5,16	A
T0	3,97	A B
T5'	3,88	A B
T7	3,78	A B
T3'	3,77	A B
T5	3,38	A B
T6'	3,33	A B
T4	3,29	A B
T3	3,24	A B
T6	3,19	A B
T1	3,05	A B
BV	2,91	A B
T7'	2,58	A B
T4'	2,52	A B
CI	1,63	B
T8	1,30	B

3.3.4. *Cyperus rotundus*

Du fait de la morphologie de la plante, les tests de croissance en hauteur n'ont pas été réalisés sur *Cyperus rotundus*. Nous ne mentionnons donc que les résultats réalisés sur la biomasse.

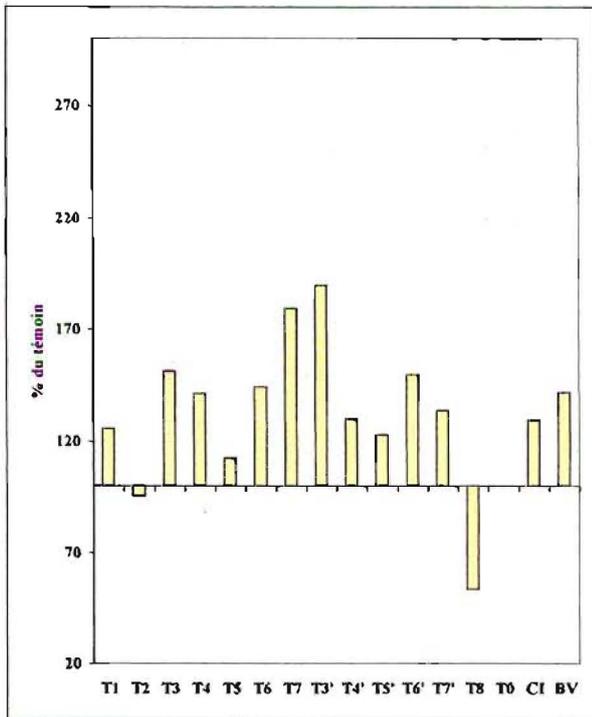
La figure 26 représente les biomasses des racines et des feuilles exprimées en % du témoin.

- Biomasse des racines (Figure 26a)

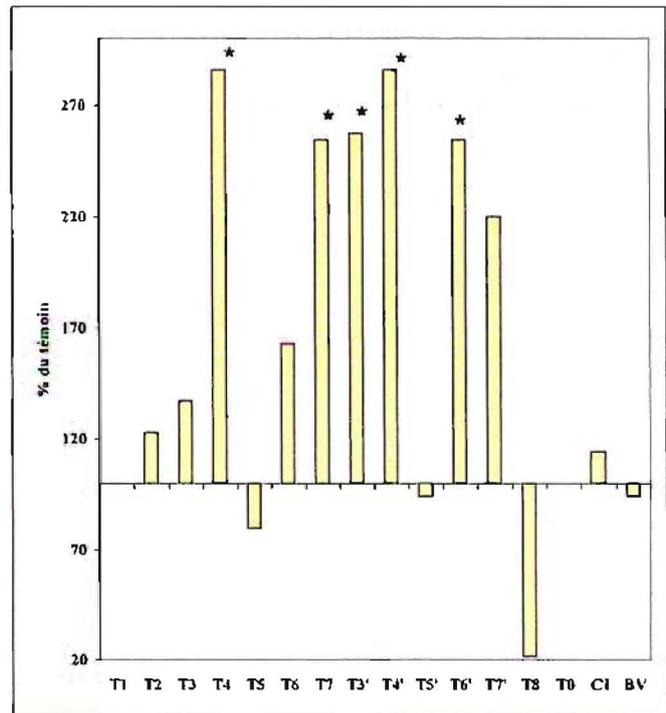
Aucune différence significative entre les traitements et le témoin n'est observée. En revanche, la biomasse racinaire sur les traitements T7 et T3' est significativement supérieure à celle de T8 (Tableau 33).

Tableau 33 : Biomasses racinaires moyennes (en g de M.S.) selon les traitements et groupes homogènes au seuil de 5% sur *Cyperus rotundus*. (CV = 33,7%)

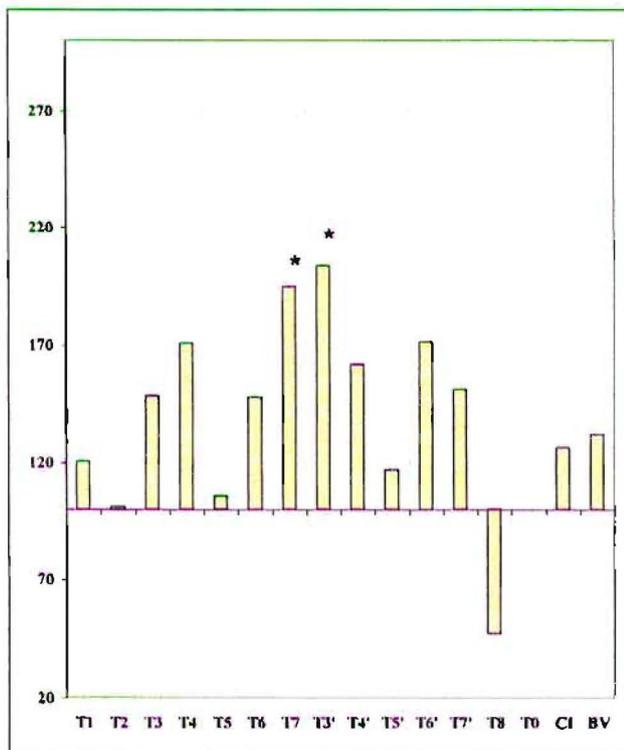
TRAITEMENTS	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
T3'	2,58	A
T7	2,44	A
T3	2,06	A B
T6'	2,04	A B
T6	1,96	A B
BV	1,93	A B
T4	1,92	A B
T7'	1,82	A B
T4'	1,77	A B
CI	1,76	A B
T1	1,71	A B
T5'	1,67	A B
T5	1,53	A B
T0	1,36	A B
T2	1,30	A B
T8	0,73	B



a : biomasse sèche de racines



b : biomasse de feuilles



c : Biomasse sèche totale

FIGURE 26 :

Biomasses de matière sèche de *Cyperus rotundus*
(exprimées en % du témoin) sur vermiculite

* : différences significatives au seuil de 5 % par rapport au témoin
Les groupes homogènes sont décrits dans le texte

- Biomasse des feuilles (Figure 26b)

Plusieurs différences significatives par rapport au témoin sont observées. La biomasse des feuilles sur les traitements T4', T4, T3', T6', et T7 est supérieure à celle sur le témoin (Tableau 34).

Tableau 34 : Biomasses moyennes des feuilles (en g de M.S.) selon les traitements et groupes homogènes au seuil de 5% sur *Cyperus rotundus*. (CV = 46%)

TRAITEMENTS	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
T4'	1,00	A
T4	1,00	A
T3'	0,90	A B
T6'	0,89	A B
T7	0,89	A B
T7'	0,77	A B C
T6	0,57	A B C D
T3	0,48	B C D
T2	0,43	B C D
CI	0,40	B C D
T0	0,35	C D
T1	0,35	C D
T5'	0,33	C D
BV	0,33	C D
T5	0,28	C D
T8	0,08	D

- Biomasse totale (Figure 26c)

La biomasse sur T7 et T3' est significativement supérieure à celle sur le témoin (Tableau 35).

Tableau 35 : Biomasses totales moyennes (en g de M.S.) selon les traitements et groupes homogènes au seuil de 5% sur *Cyperus rotundus*. (CV = 31,1%)

TRAITEMENTS	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
T3'	3,48	A
T7	3,33	A B
T6'	2,93	A B C
T4	2,92	A B C
T4'	2,77	A B C
T7'	2,59	A B C
T3	2,54	A B C
T6	2,53	A B C
BV	2,26	A B C
CI	2,16	A B C D
T1	2,06	A B C D
T5'	2,00	A B C D
T5	1,81	B C D
T2	1,73	C D
T0	1,71	C D
T8	0,81	D

3.3.5. *Oryza sativa*

3.3.5.1. Résultats sur la croissance en hauteur

Les figures 27a et b traduisent l'évolution de la hauteur. Sur les dernières observations, la hauteur semble avoir diminué sur certains traitements. Ceci est le résultat d'un début de sénescence précoce des feuilles et du tallage des plantes sur certains traitements. Les traitements T0, CI, BV, T1 et T5 ne semblent pas avoir été atteints. Les différences de hauteur sur certains traitements comme T4, T7, T4', T6' T7' et T8 semblent s'être accentuées au cours du temps.

L'analyse statistique réalisée sur le dernier jour d'observation révèle que la hauteur sur les traitements T7, T4', T7' et T8 est significativement inférieure à celle du témoin (Tableau 36). Les hauteurs moyennes, exprimées en % du témoin et les différences significatives sont représentées par la figure 27c.

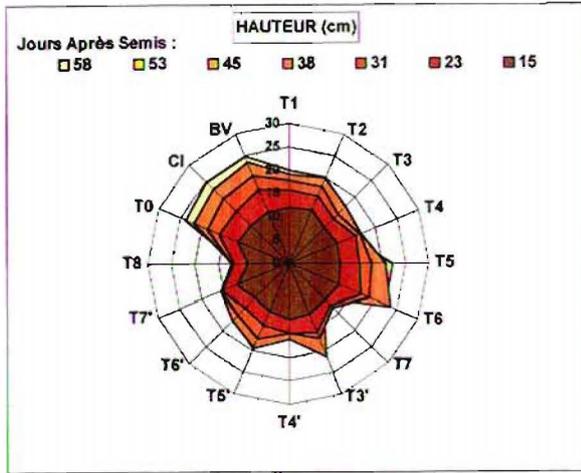
Tableau 36 : Hauteurs moyennes (en cm) selon les traitements et groupes homogènes sur *Oryza sativa*

TRAITEMENTS	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
BV	24.95	A
CI	24.85	A
T0	23.85	A
6	22.35	A B
5	22.15	A B
2	20.05	A B C
1	20.05	A B C
5'	19.60	A B C
3'	19.30	A B C
3	16.75	A B C D
6'	16.70	A B C D
4	14.30	A B C D
7'	12.30	B C D
4'	12.15	B C D
8	10.85	C D
7	6.65	D

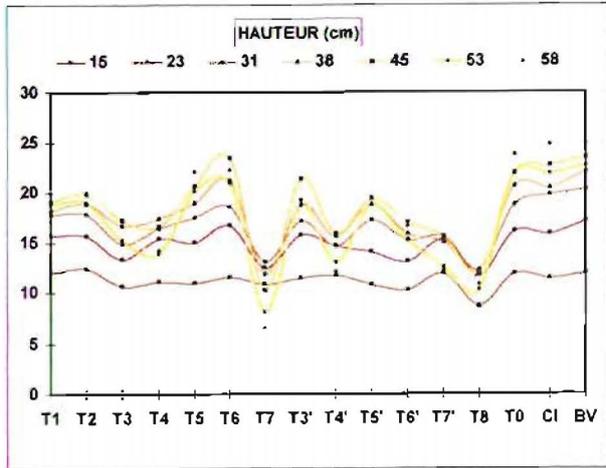
3.3.5.2. Résultats sur les biomasses sèches

- biomasse des racines (Figure 28a)

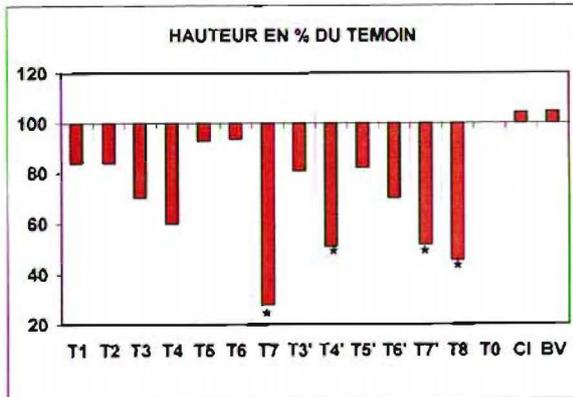
Aucune différence significative n'est observée entre les traitements et le témoin (Tableau 37). En revanche, la biomasse racinaire sur BV est significativement supérieure à celle sur les traitements T2, T6', T4, T7 et T8.



a: Evolution de la hauteur (représentation en radar)



b: Evolution de la hauteur (représentation en courbes lissées)

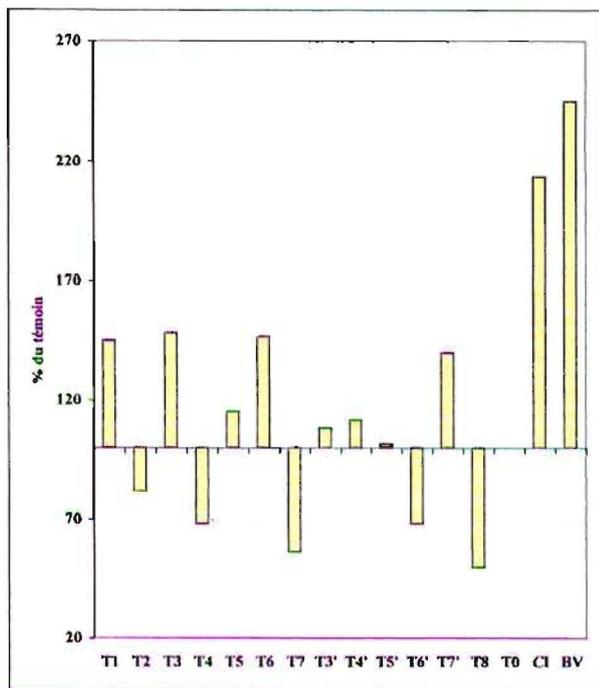


c: Hauteurs moyennes à la dernière date d'observation (09 août) exprimées en % du témoin T0

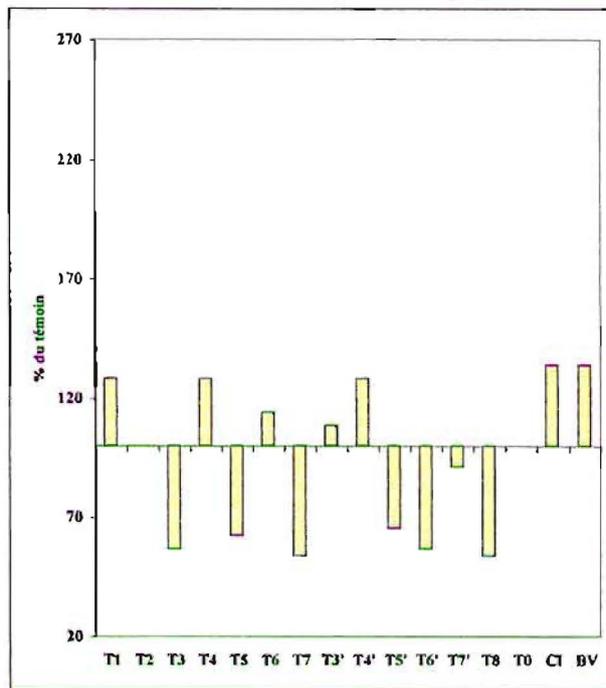
FIGURE 27 :

Croissance en hauteur des parties aériennes de *Oryza sativa* sur vermiculite

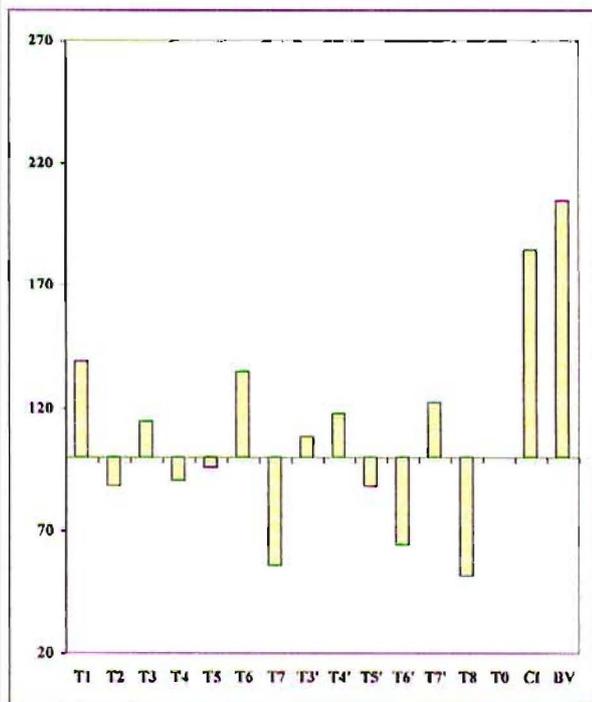
* : Différences significatives au seuil de 5 % par rapport au témoin T0
Les groupes homogènes sont décrits dans les tableaux du texte



a : biomasse sèche de racines



b : biomasse de feuilles



c : Biomasse sèche totale

FIGURE 28 :

Biomasses de matière sèche de *Oryza sativa*
(exprimées en % du témoin) sur vermiculite

* : différences significatives au seuil de 5 % par rapport au témoin
Les groupes homogènes sont décrits dans le texte

Tableau 37 : Biomasses racinaires moyennes (en g de M.S.) selon les traitements et groupes homogènes au seuil de 5% sur *Oryza sativa*. (CV = 62,7%)

TRAITEMENTS	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
BV	1,47	○ A
CI	1,28	A B
T3	0,89	A B
T6	0,88	A B
T1	0,87	A B
T7'	0,84	A B
T5	0,69	A B
T4'	0,67	A B
T3'	0,65	A B
T5'	0,61	A B
T0	0,60	A B
T2	0,49	B
T6'	0,41	B
T4	0,41	B
T7	0,34	B
T8	0,30	B

- Biomasse des feuilles (Figure 28b)

Il n'existe pas de différence significative du fait d'un coefficient de variation trop élevé (CV = 62,2%).

- Biomasse totale (Figure 28c)

L'analyse statistique ne révèle aucune différence significative entre les traitements et le témoin. En revanche, la biomasse totale sur BV et CI est significativement supérieure à celle sur T8 (Tableau 38).

Tableau 38 : Biomasses totales moyennes (en g de M.S.) selon les traitements et groupes homogènes au seuil de 5% sur *Oryza sativa*. (53,3%)

TRAITEMENTS	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
BV	1,94	○ A
CI	1,75	A B
T1	1,32	A B C
T6	1,28	A B C
T7'	1,16	A B C
T4'	1,12	A B C
T3	1,09	A B C
T3'	1,03	A B C
T0	0,95	A B C
T5	0,91	A B C
T4	0,86	A B C
T2	0,84	A B C
T5'	0,84	A B C
T6'	0,61	B C
T7	0,53	B C
T8	0,49	B C ○

3.3.6. Zea mays

3.3.6.1. Résultats sur la croissance en hauteur

Les figures 29a et b sur l'évolution de la hauteur indique que des différences entre les traitements (T5, T5' et T8) et le témoin semblent s'être créées au cours du temps. Mais à la dernière date d'observation, seule la hauteur sur T8 est significativement inférieure à T0 (Tableau 39). Les différences par rapport au témoin sont traduites sur la Figure 29c.

Tableau 39 : Hauteurs moyennes (en cm) selon les traitements et groupes homogènes sur Zea mays

TRAITEMENTS	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
4	65.70	A
3	64.90	A B
6'	64.20	A B
6	63.30	A B
4'	62.90	A B
3'	60.70	A B C
2	59.90	A B C
7	58.80	A B C
BV	57.16	A B C
T0	56.60	A B C
5'	56.20	A B C
1	55.60	A B C
CI	51.70	B C
5	49.60	C
7'	49.20	C
8	38.40	C

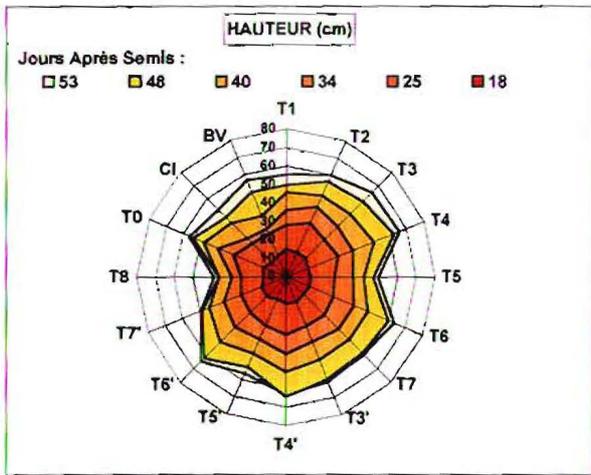
3.3.6.2. Résultats sur les biomasses sèches

- Biomasse des tiges (Figure 30a)

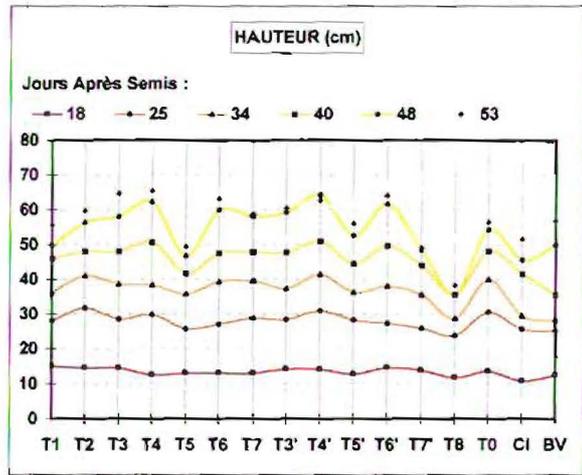
La biomasse des tiges des traitements T4', T6, T6', T3', T4' T3, T7 est significativement supérieure à celle du témoin. En revanche, la biomasse sur T8 est significativement inférieure à celle sur T0 (Tableau 40).

Tableau 40 : Biomasses moyennes des tiges (en g de M.S.) selon les traitements et groupes homogènes au seuil de 5% sur Zea mays. (CV = 22,8%)

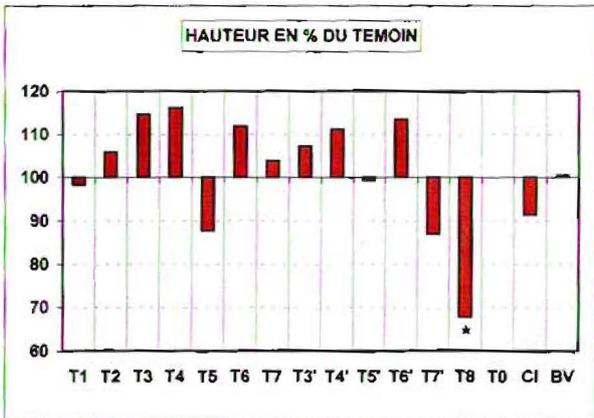
TRAITEMENTS	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
T4'	4,58	A
T6	4,56	A
T6'	4,48	A
T3'	4,40	A
T4	4,38	A
T3	3,95	A B
T7	3,80	A B
T2	3,04	B C
T5'	2,84	B C D
T7'	2,79	B C D
BV	2,73	B C D
T1	2,63	B C D
T0	2,03	C D
T5	1,95	C D
CI	1,61	D
T8	0,45	D



a: Evolution de la hauteur (représentation en radar)



b: Evolution de la hauteur (représentation en courbes lissées)

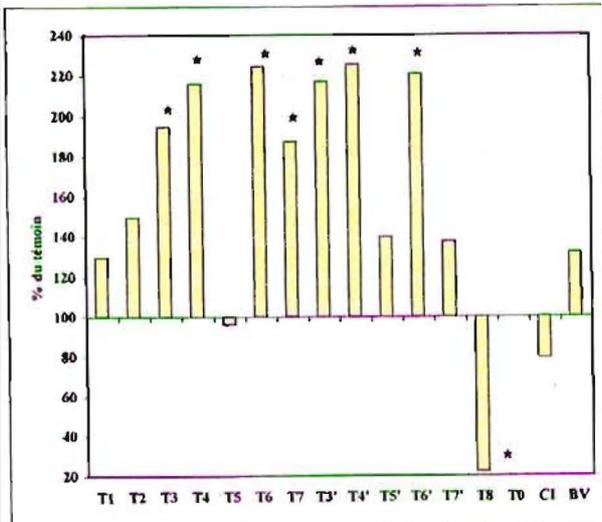


Les données sont exprimées en % de la dernière date d'observation (27 juin) exprimées en % du témoin T0

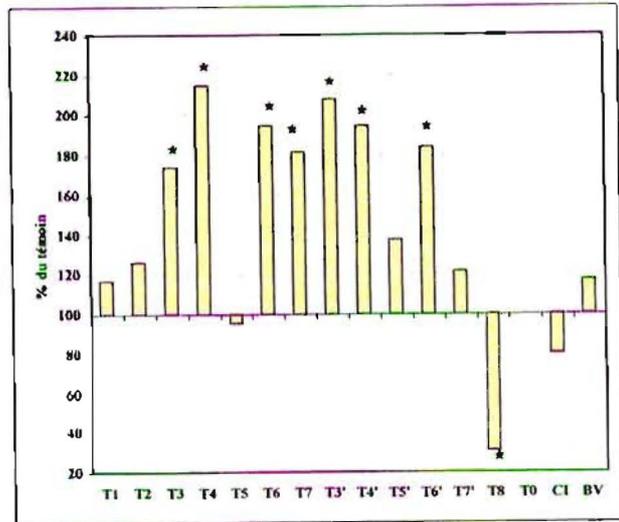
FIGURE 29 :

Croissance en hauteur des parties aériennes de *Zea mays* sur vermiculite

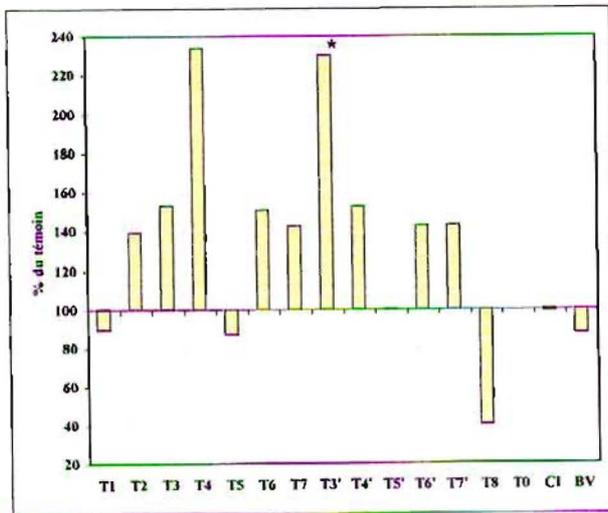
* : Différences significatives au seuil de 5 % par rapport au témoin T0
Les groupes homogènes sont définis dans les tableaux suivants.



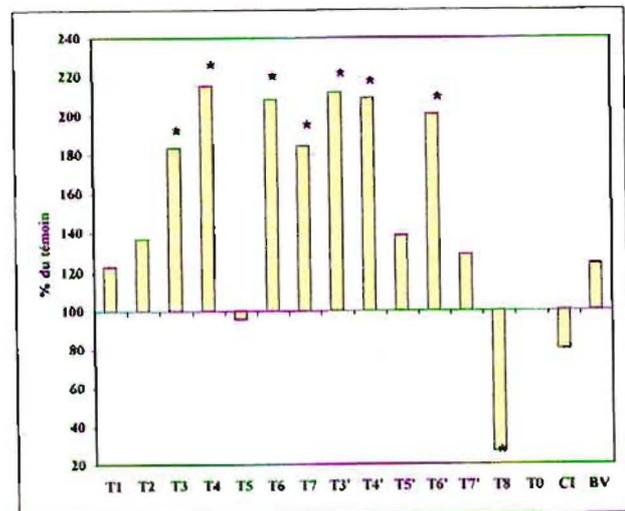
a : Matière sèche des tiges



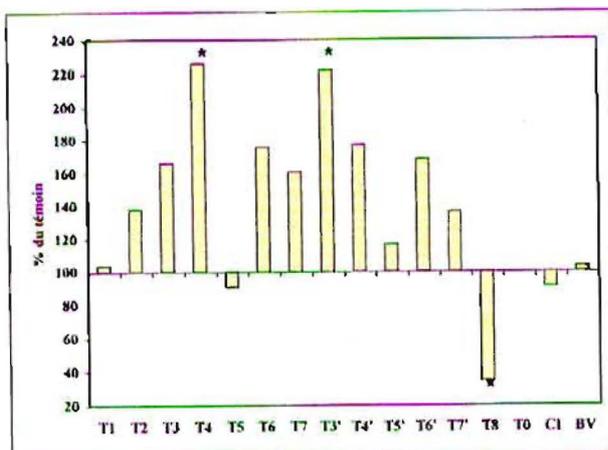
b : Matière sèche des feuilles



c : Matière sèche des racines



d : Matière sèche des parties aériennes



e : Matière sèche totale

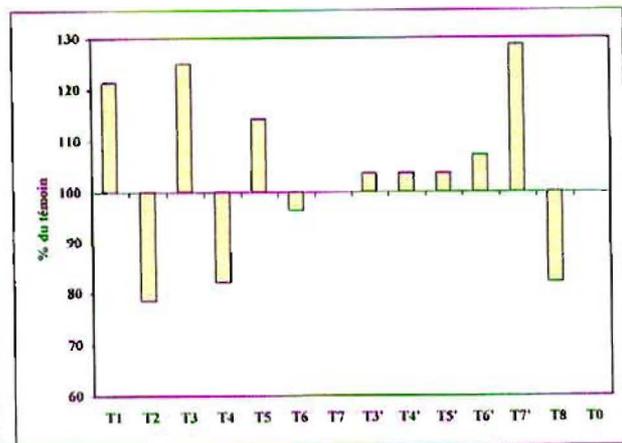


FIGURE 31 : Taux de germination de *Zea mays* (exprimés en % du témoin)

FIGURE 30 : Biomasses de matière sèche de *Zea mays* (exprimées en % du témoin) sur vermiculite

* : différences significatives au seuil de 5 % par rapport au témoin
Les groupes homogènes sont décrits dans le texte

- Biomasse des feuilles (Figure 30b)

L'analyse statistique montre que sur les traitements T4, T3', T4', T6, T6', T7 et T3 la biomasse est nettement supérieure à celle sur T0. Sur T8, la biomasse est significativement inférieure à celle sur T0 (Tableau 41).

Tableau 41 : Biomasses moyennes des feuilles (en g de M.S.) selon les traitements et groupes homogènes au seuil de 5% sur *Zea mays*. (CV = 22,3%)

TRAITEMENTS	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
T4	5,20	A
T3'	5,03	A
T4'	4,71	A B
T6	4,71	A B
T6'	4,45	A B
T7	4,40	A B
T3	4,21	A B C
T5'	3,33	B C D
T2	3,05	C D
T7'	2,94	C D
BV	2,92	C D
T1	2,83	C D
T0	2,42	D
T5	2,31	D
CI	1,94	D
T8	0,74	E

- Biomasse des racines (Figure 30c)

Seule la biomasse sur T3' est significativement supérieure à celle sur T0 (Tableau 42). La tendance vers la discrimination entre les traitements (T4, T7, T3, T6') et le témoin ne peut être mise en évidence significativement.

Tableau 42 : Biomasses racinaires moyennes (en g de M.S.) selon les traitements et groupes homogènes au seuil de 5% sur *Zea mays*. (CV = 37,5%)

TRAITEMENTS	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
T3'	12,50	A
T4	11,98	A B
T7	9,80	A B C
T3	9,10	A B C
T6'	8,97	A B C
T4'	8,85	A B C
T6	8,83	A B C
T2	7,84	A B C D
T7'	7,37	A B C D
T0	6,35	B C D
BV	6,12	B C D
T5'	5,83	C D
T1	5,24	C D
CI	5,08	C D
T5	5,01	C D
T8	2,48	D

- Biomasse des parties aériennes (Figure 30d)

La biomasse de plusieurs traitements est significativement supérieure à celle du témoin (Tableau 43) : T4, T3', T4', T6, T6', T7 et T3. Seule la biomasse de T8 est inférieure à T0.

Tableau 43 : Biomasses moyennes des parties aériennes (en g de M.S.) selon les traitements et groupes homogènes au seuil de 5% sur *Zea mays*. (CV = 21,2%)

TRAITEMENTS	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
T4	9,58	A
T3'	9,43	A
T4'	9,29	A
T6	9,27	A
T6'	8,93	A
T7	8,20	A B
T3	8,16	A B
T5'	6,17	B C
T2	6,09	B C
T7'	5,73	B C
BV	5,65	B C
T1	5,46	C
T0	4,45	C
T5	4,26	C
Cl	3,55	C
T8	1,19	D

- Biomasse totale (Figure 30e)

La biomasse totale sur les traitements T3' et T4 est significativement supérieure à celle sur T0. Sur T8, elle est significativement moins élevée que celle sur T0 (Tableau 44).

Tableau 44 : Biomasses totales moyennes (en g de M.S.) selon les traitements et groupes homogènes au seuil de 5% sur *Zea mays*. (CV = 27,2%)

TRAITEMENTS	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
T3'	21,93	A
T4	21,56	A
T4'	18,14	A B
T6	18,10	A B
T7	18,00	A B
T6'	17,90	A B
T3	17,26	A B
T2	13,93	B C
T7'	13,10	B C
T5'	12,00	B C
BV	11,77	B C
T0	10,80	B C
T1	10,70	B C
T5	9,27	C D
Cl	8,63	C D
T8	3,67	D

3.3.6.3. Résultats des tests de germination

La figure 31 traduit le pourcentage de germination, exprimé en % du témoin. L'analyse statistique n'a révélé aucune différence significative.

3.3.7. *Lycopersicon esculentum*

3.3.7.1. Résultats sur la croissance en hauteur

Les figures 32a et b montrent l'évolution de la hauteur. La hauteur sur plusieurs traitement semble différente de celle sur T0 et cette différence semble s'accroître au cours du temps. Au dernier jour d'observation, les hauteurs moyennes exprimées en % du témoin sur les traitements T4, T6, T4', T6', T7' et T8 sont significativement inférieures à celles sur T0.

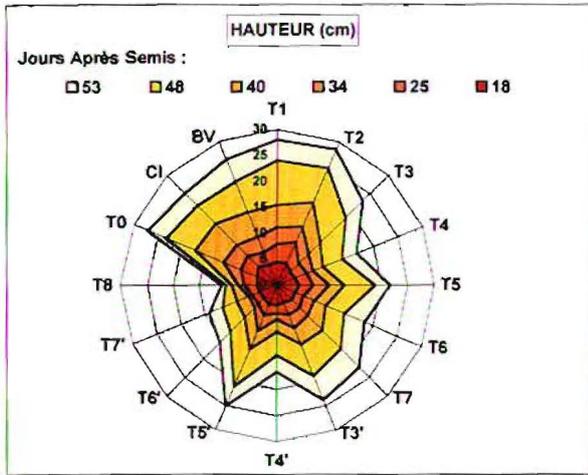
Tableau 45 : Hauteurs moyennes (en cm) selon les traitements et groupes homogènes au seuil de 5% sur *Lycopersicon esculentum*.

TRAITEMENTS	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
2	28.50	A
1	28.05	A B
T0	27.20	A B
BV	26.30	A B
CI	25.20	A B
5'	25.00	A B
3'	23.60	A B C
3	23.00	A B C
7	22.20	A B C D
5	21.60	B C D
6	19.10	C D E
4'	16.60	D E
4	16.45	D E
6'	15.50	E F
7'	14.10	E F
8	10.70	F

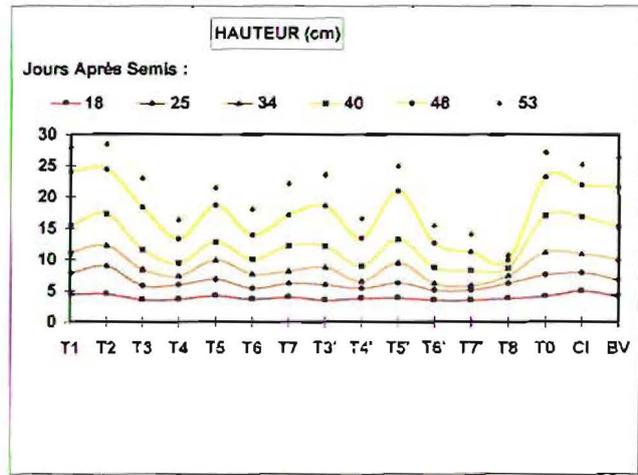
3.3.7.2. Résultats sur les biomasses sèches

- Biomasse des tiges

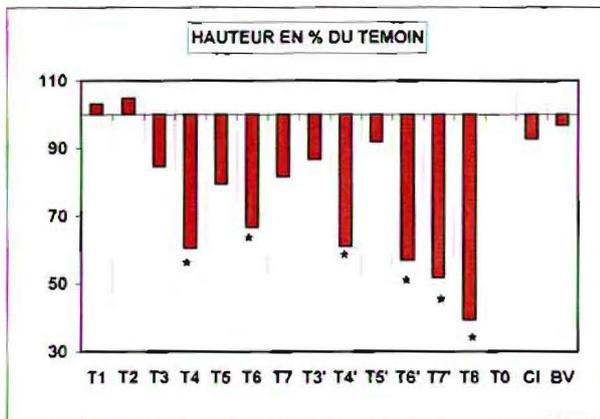
La figure 33 a montre les différences de biomasse par rapport au témoin. Le tableau 46 indique que seule la biomasse de T8 est significativement à celle de T0. Toutefois, la tendance vers l'existence de différences entre T6' T7' et T0 ne peut être mise en évidence du fait d'un trop fort CV.



a: Evolution de la hauteur (représentation en radar)



b: Evolution de la hauteur (représentation en courbes lissées)

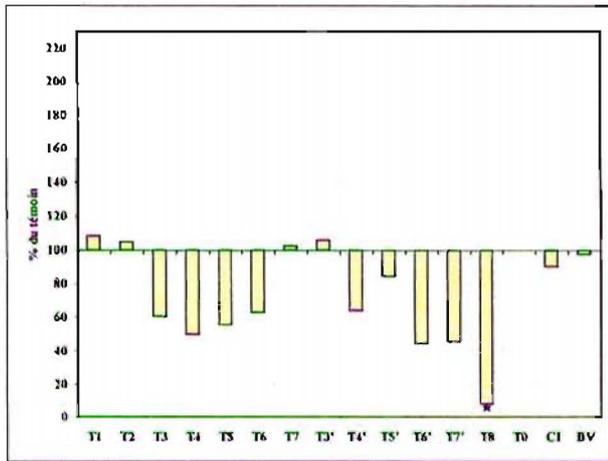


exprimées en % du témoin T0

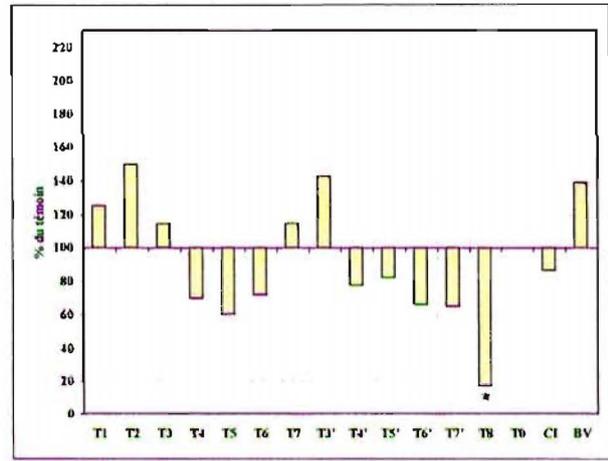
FIGURE 32 :

Croissance en hauteur des parties aériennes de *Lycopersicon esculentum* sur vermiculite

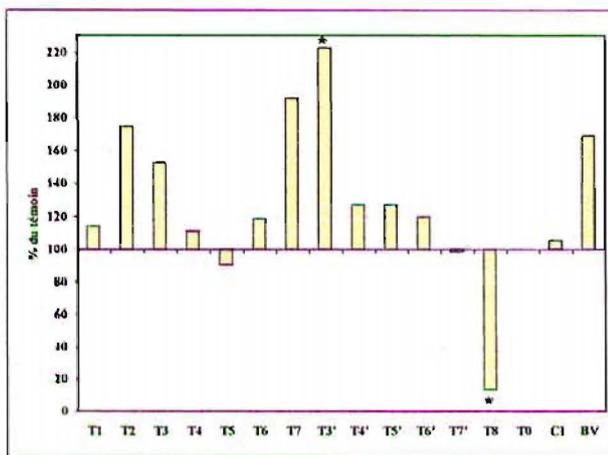
* : Différences significatives au seuil de 5% par rapport au témoin T0
Les groupes homogènes sont décrits dans les tableaux du texte.



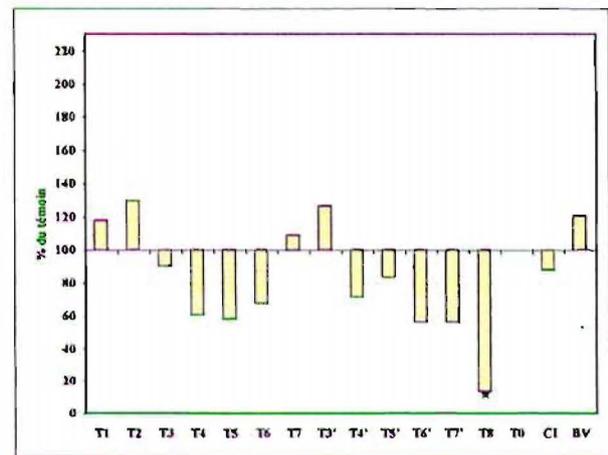
a : Matière sèche des tiges



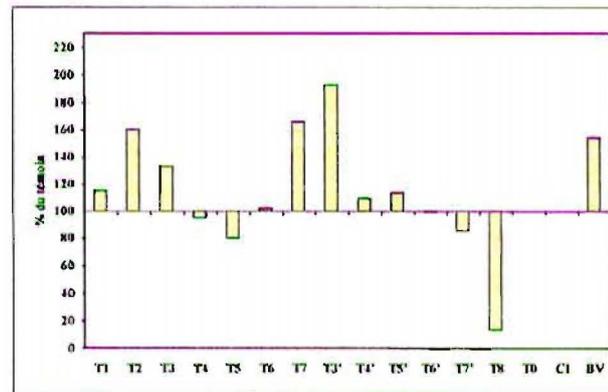
b : Matière sèche des feuilles



c : Matière sèche des racines



d : Matière sèche des parties aériennes



e : Matière sèche totale

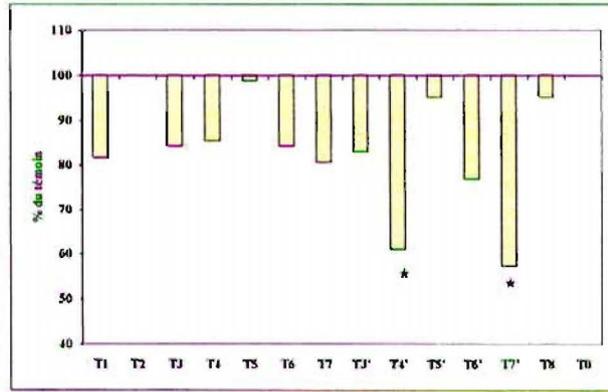


FIGURE 33 : Biomasses de matière sèche de *Lycopersicon esculentum* a-b-c-d-e (exprimées en % du témoin) sur vermiculite

FIGURE 34 : Taux de germination de *Lycopersicon esculentum* (exprimés en % du témoin)

* : différences significatives au seuil de 5 % par rapport au témoin
Les groupes homogènes sont décrits dans le texte

Tableau 46 : Biomasses moyennes des tiges (en g de M.S.) selon les traitements et groupes homogènes au seuil de 5% sur *Lycopersicon esculentum*. (CV = 42,5%)

TRAITEMENTS	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
T1	0,90	A
T3'	0,88	A
T2	0,87	A
T7	0,85	A
T0	0,83	A
BV	0,81	A
CI	0,75	A
T5'	0,70	A
T4'	0,53	A B
T6	0,52	A B
T3	0,50	A B
T5	0,46	A B
T4	0,41	A B
T7'	0,38	A B
T6'	0,37	A B
T8	0,07	B

- Biomasse des feuilles (Figure 33b)

La biomasse des feuilles sur T8 est significativement inférieure à celle de T0 (Tableau 47). Une tendance vers une diminution de biomasse sur T6', T7' T5 par rapport au témoin ne peut être mise en évidence de façon significative (CV trop élevé).

Tableau 47 : Biomasses moyennes des feuilles (en g de M.S.) selon les traitements et groupes homogènes au seuil de 5% sur *Lycopersicon esculentum*. (CV = 41,3%)

TRAITEMENTS	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
T2	1,54	A
T3'	1,47	A B
BV	1,43	A B
T1	1,29	A B
T7	1,18	A B
T3	1,18	A B
T0	1,03	A B
CI	0,89	A B C
T5'	0,85	A B C
T4'	0,80	A B C
T6	0,74	A B C
T4	0,72	A B C
T6'	0,68	A B C
T7'	0,67	A B C
T5	0,62	B C
T8	0,18	C

- Biomasse racinaire (Figure 33c)

La biomasse racinaire sur le traitement T8 est significativement supérieure à celle sur le témoin (Tableau 48).

Tableau 48 : Biomasses racinaires moyennes (en g de M.S.) selon les traitements et groupes homogènes au seuil de 5% sur *Lycopersicon esculentum*. (CV = 42,8%)

TRAITEMENTS	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
T3'	9,13	A
T7	7,86	A B
T2	7,16	A B
BV	6,93	A B
T3	6,26	A B
T5'	5,21	A B C
T4'	5,20	A B C
T6'	4,90	A B C
T6	4,85	A B C
T1	4,68	A B C
T4	4,56	A B C
CI	4,33	A B C
T0	4,10	B C
T7'	4,04	B C
T5	3,71	B C
T8	0,55	C

On observe une tendance à la discrimination entre T7, T3' et le témoin. Le CV, trop important, ne permet pas de mettre en évidence cette différence de façon significative.

- Parties aériennes (Figure 33d)

Sur T8, la biomasse est significativement différente de celle sur T0 (Tableau 49).

Tableau 49 : Biomasses moyennes des parties aériennes (en g de M.S.) selon les traitements et groupes homogènes au seuil de 5% sur *Lycopersicon esculentum*. (CV = 37,5%)

TRAITEMENTS	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
T2	2,41	A
T3'	2,35	A B
BV	2,24	A B C
T1	2,19	A B C
T7	2,03	A B C
T0	1,86	A B C
T3	1,68	A B C
CI	1,64	A B C
T5'	1,55	A B C
T4'	1,33	A B C D
T6	1,26	A B C D
T4	1,13	B C D
T5	1,08	C D
T7'	1,05	C D
T6'	1,05	C D
T8	0,25	D

- Biomasse totale (Figure 33e)

L'analyse statistique ne montre pas de différences significatives entre les traitements et le témoin (Tableau 50).

Tableau 50 : Biomasses totales moyennes (en g de M.S.) selon les traitements et groupes homogènes au seuil de 5% sur *Lycopersicon esculentum*. (CV = 39,7%)

TRAITEMENTS	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
T3'	11,48	A
T7	9,89	A B
T2	9,57	A B
BV	9,17	A B
T3	7,94	A B
T1	6,87	A B
T5'	6,76	A B
T4'	6,53	A B
T6	6,11	A B C
CI	5,97	A B C
T0	5,96	A B C
T6'	5,95	A B C
T4	5,69	A B C
T7'	5,09	B C
T5	4,79	B C
T8	0,80	C

3.3.7.3. Résultats des tests de germination

Le tableau 51 représente les moyennes de graines germées ainsi que les groupes homogènes au seuil de 5%. Le nombre de graines germées sur T4' et T7' est significativement inférieur à celui sur T0. La figure 34 traduit le taux de germination exprimé en % du témoin.

Tableau 51 : Moyennes du nombre de graines germées et groupes homogènes au seuil de 5% sur *Lycopersicon esculentum*. (CV = 20,6%)

TRAITEMENTS	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
T0	16,4	A
T2	16,4	A
T5	16,2	A
T8	15,6	A B
T5'	15,6	A B
T4	14,0	A B C
T6	13,8	A B C
T3	13,8	A B C
T3'	13,6	A B C
T1	13,4	A B C
T7	13,2	A B C
T6'	12,6	A B C
T4'	10,0	B C
T7'	9,4	C

3.3.8. *Phaseolus vulgaris*

3.3.8.1. Résultats sur les tests de croissance en hauteur

La figure 35 représente la croissance en hauteur des parties aériennes. Sur l'évolution de la hauteur, peu de différences apparaissent en fonction du temps entre les traitements et le témoin. Il semble exister une différence de hauteur entre les traitements T3, CI et le témoin. Mais au dernier jour d'observation, la figure 35c représentant les hauteurs exprimées en % du témoin ne révèle pas de différences significatives entre ces traitements et le témoin. Le tableau 52 représente les moyennes des hauteurs selon les traitements ainsi que les groupes homogènes.

Tableau 52 : Hauteurs moyennes (en cm) selon les traitements et groupes homogènes au seuil de 5% sur *Phaseolus vulgaris*.

TRAITEMENTS	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
6'	40.20	○ A
7	38.90	A B
3'	37.50	A B
BV	37.00	A B
T0	36.90	A B
4'	35.70	A B
5	35.60	A B
5'	35.50	A B
7'	35.40	A B
6	35.10	A B
8	34.90	A B
4	33.00	A B
2	32.80	A B
1	31.10	A B
CI	29.30	B
3	29.30	B

3.3.8.2. Résultats des biomasses sèches

- Biomasse des feuilles (Figure 36b)

Aucune différence significative entre les traitements et le témoin n'est observée. En revanche, la biomasse sur CI est significativement inférieure à celle sur T6' et T4' (Tableau 53).

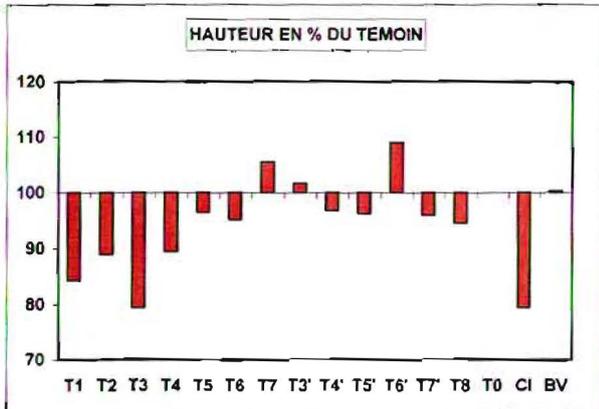
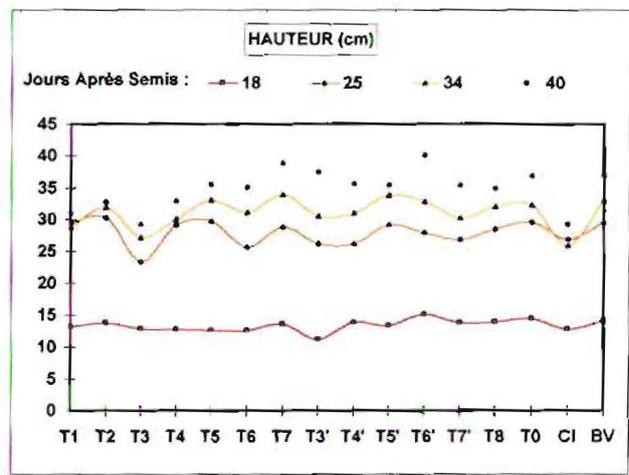
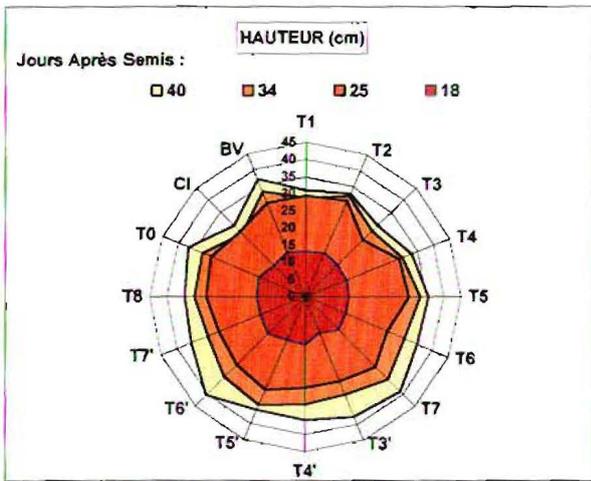
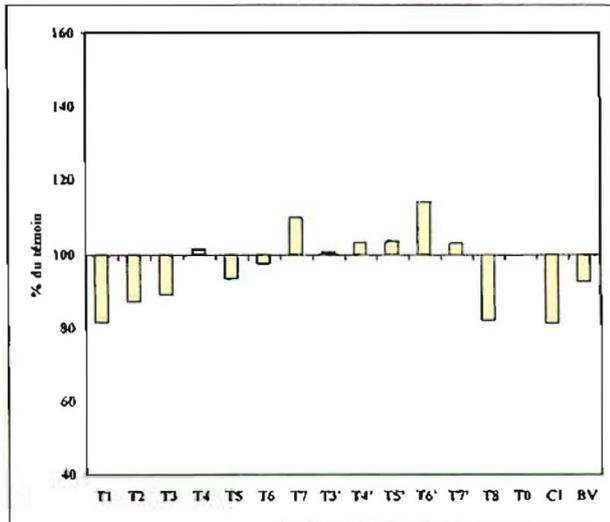


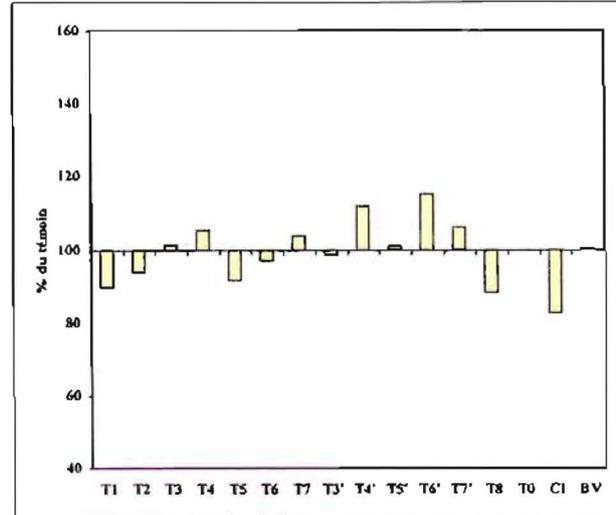
FIGURE 36 :

Croissance en hauteur des parties aériennes de *Phaseolus vulgaris* sur vermiculite

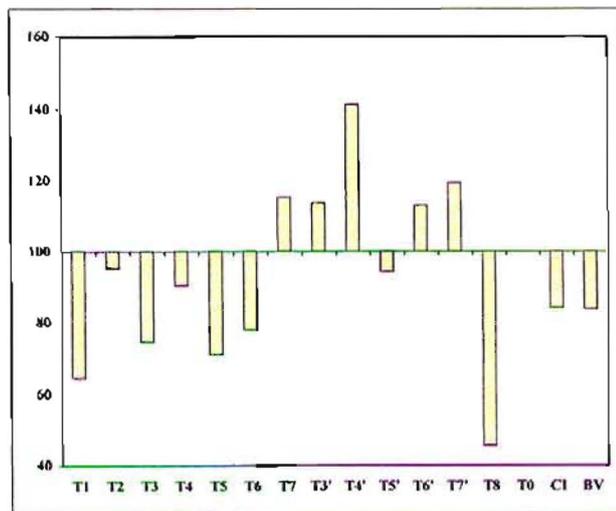
* Les différences significatives au seuil de 5% par rapport au témoin T0. Les groupes homogènes sont décrits dans les tableaux du texte.



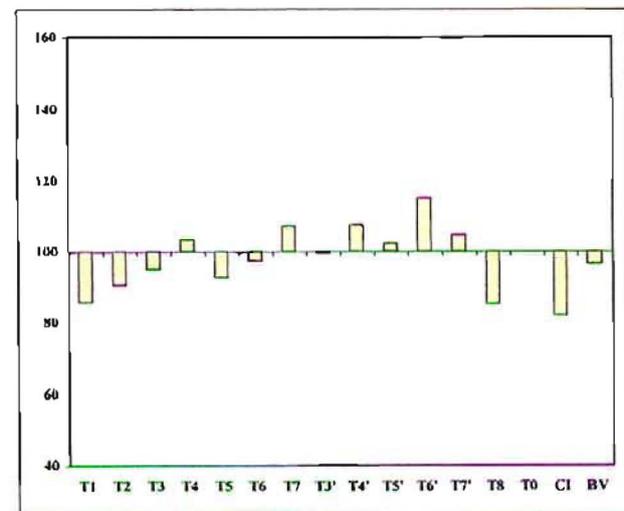
a : Matière sèche des tiges



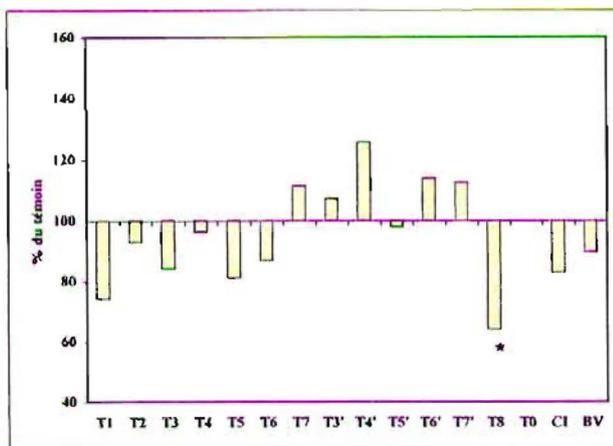
b : Matière sèche des feuilles



c : Matière sèche des racines



d : Matière sèche des parties aériennes



e : Matière sèche totale

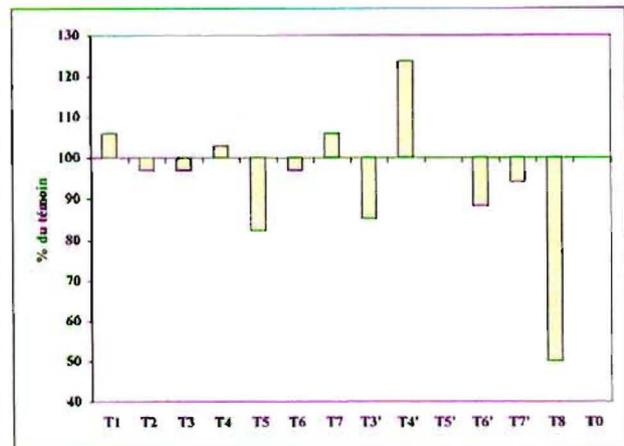


FIGURE 36 : Biomasses de matière sèche de *Phaseolus vulgaris* (exprimées en % du témoin) sur vermiculite **FIGURE 37** : Taux de germination de *Phaseolus vulgaris* (exprimés en % du témoin)

* : différences significatives au seuil de 5 % par rapport au témoin
Les groupes homogènes sont décrits dans le texte

Tableau 53 : Biomasses moyennes des feuilles (en g de M.S.) selon les traitements et groupes homogènes au seuil de 5% sur *Phaseolus vulgaris*. CV = 13,2%

TRAITEMENTS	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
T6'	3,65	A
T4'	3,54	A
T7'	3,36	A B
T4	3,33	A B
T7	3,28	A B
T3	3,20	A B
T5'	3,19	A B
BV	3,17	A B
T0	3,16	A B
T3'	3,12	A B
T6	3,07	A B
T2	2,97	A B
T5	2,90	A B
T1	2,84	A B
T8	2,79	A B
CI	2,61	B

- Biomasse des racines (Figure 36c)

Aucune différence significative entre les traitements et le témoin n'est observée. La biomasse de T4' est significativement supérieure à celle de T8 (Tableau 54).

Tableau 54 : Biomasses racinaires moyennes (en g de M.S.) selon les traitements et groupes homogènes au seuil de 5% sur *Phaseolus vulgaris*. (CV = 28,3%)

TRAITEMENTS	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
T4'	10,30	A
T7'	8,68	A B
T7	8,39	A B
T3'	8,27	A B
T6'	8,22	A B
T0	7,28	A B C
T2	6,93	A B C
T5'	6,86	A B C
T4	6,58	A B C
CI	6,11	B C
BV	6,09	B C
T6	5,67	B C
T3	5,43	B C
T5	5,18	B C
T1	4,69	B C
T8	3,31	C

- Biomasse des parties aériennes (Figure 36d)

Les seules différences significatives sont observées entre traitement. La biomasse sur T6' est supérieure à celle sur T1, T8 et CI (Tableau 55).

Tableau 55 : Biomasses moyennes des parties aériennes (en g de M.S.) selon les traitements et groupes homogènes au seuil de 5% sur *Phaseolus vulgaris*. (CV = 13,5%)

TRAITEMENTS	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
T6'	7,45	○ A
T4'	6,97	A B
T7	6,94	A B
T7'	6,78	A B
T4	6,70	A B
T5'	6,63	A B
T0	6,48	A B
T3'	6,46	A B
T6	6,31	A B
BV	6,25	A B
T3	6,16	A B
T5	6,01	A B
T2	5,87	A B
T1	5,55	B
T8	5,52	B
Cl	5,31	B

- Biomasse totale (Figure 36e)

La biomasse de T8 est significativement inférieure à celle du témoin (Tableau 56).

Tableau 56 : Biomasses totales moyennes (en g de M.S.) selon les traitements et groupes homogènes au seuil de 5% sur *Phaseolus vulgaris*. (CV = 17,1%)

TRAITEMENTS	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
T4'	17,27	A
T6'	15,67	A B
T7'	15,46	A B
T7	15,33	A B
T3'	14,73	A B C
T0	13,76	A B C
T5'	13,49	A B C D
T4	13,28	A B C D
T2	12,80	A B C D
BV	12,34	B C D
T6	11,98	B C D
T3	11,59	B C D
Cl	11,42	B C D
T5	11,19	B C D
T1	10,24	C D
T8	8,83	○ D

La figure 36a représente la biomasse des tiges exprimées en % du témoin. Les analyses statistiques n'ont montré aucune différence significative malgré un CV de 15,6%.

3.3.8.3. Résultats sur les tests de germination

La figure 37 représente le pourcentage de germination, exprimée en % du témoin. Aucune différence statistique n'a pu être mise en évidence.

3.4. RESULTATS CONCERNANT LA MACROFAUNE

3.4.1. Au champ

Cette étude a pour objectif de vérifier si les modes de gestion des cultures avec la couverture d'avoine, en comparaison avec une culture en sol nu, influent sur les populations de macroinvertébrés du sol. Les analyses ont porté sur quatre traitements à la fin de la culture de maïs (maïs en sol nu sarclé = SNS, maïs avec de la paille d'avoine importée = AI, maïs avec avoine produite sur place = AP et maïs avec une couverture inerte = CI). Au préalable une première analyse a été réalisée sur la parcelle enherbée (sol nu = SN).

3.4.1.1. Densités

Les macroinvertébrés trouvés sur les parcelles expérimentales ont été déterminés et les groupes taxonomiques ont été considérés en fonction de leur densité. Sur cette base, les principaux groupes étudiés sont : les Aranéides (Araignées), les Chilopodes, les Diplopodes, les Fourmis, les larves de Coléoptères, les larves de Diptères, les larves de Lépidoptères, les vers de terre et le groupe "autres".

Sur les parcelles où des vers ont été trouvés, l'analyse taxonomique montre qu'il s'agissait d'une seule espèce, *Amyntas corticis* Kingberg 1867. *A. corticis* est originaire de l'Asie de l'Est (Gates, 1972) et on l'observe dans les régions tropicales en moyenne altitude. Il fait partie de la famille des Megascolecidae et possède les caractéristiques classiques des épigés, avec une pigmentation dorsale et des mouvements très vifs. Il s'agit très probablement d'un épi-endogé.

L'étude des densités moyennes totales, exprimées en nombre d'individus par mètre carré (ind.m^{-2}) fait ressortir 3 groupes parmi les traitements appliqués (figure 38) :

- un premier groupe où l'on rencontre les plus fortes valeurs avec le maïs associé à l'avoine qui a été produite sur place (85 ind.m^{-2}).
- un second groupe où les plus faibles densités sont observées avec le maïs associé à i) de l'avoine importée (non produite sur place) (22 ind.m^{-2}), ii) avec une couverture inerte (18 ind.m^{-2}) et iii) le maïs cultivé sur sol nu sarclé régulièrement (16 ind.m^{-2}).
- un troisième groupe avec des valeurs intermédiaires que l'on observe lorsque le maïs est cultivé sur un sol nu non enherbé (présence d'adventices) (48 ind.m^{-2}).

Les valeurs obtenues sont significativement différentes ($p \leq 0,05$) entre le traitement avoine produite sur place et le sol nu sarclé, l'avoine importée et la couverture inerte (plastique).

Sur les neuf taxons étudiés, on observe une grande biodiversité dans les parcelles où l'avoine est produite sur place et dans le sol nu enherbé (7 taxons retrouvés) (figure 39).

La biodiversité diminue lorsque l'on cultive en présence d'une couverture inerte, lorsque l'avoine n'est pas produite sur place et lorsque le sol est régulièrement sarclé (5 taxons sur 9) (figure 39).

Sous l'avoine produite sur place, les vers de terre sont les plus nombreux (39%) avec les larves de coléoptères (17%) et les Diplopodes (17%) (figure 39).

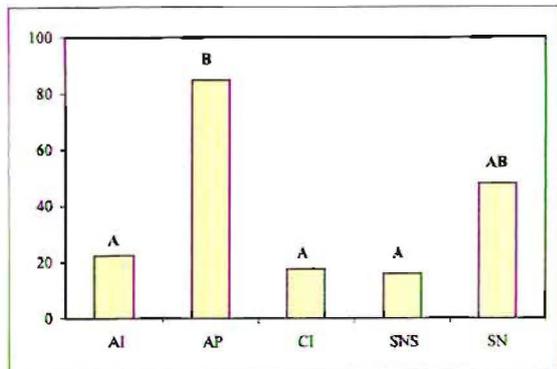


FIGURE 38 : Densités moyennes totales de la macrofaune (En nombre d'individus/m²)

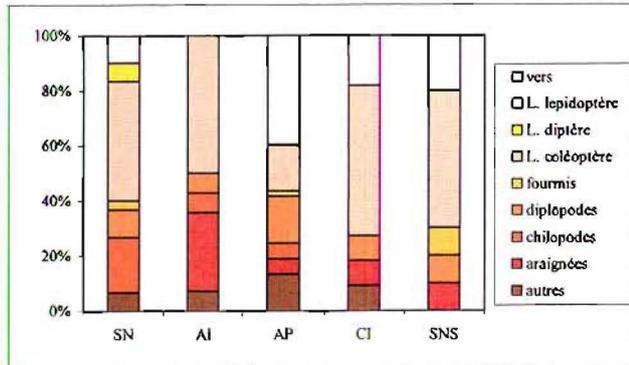


FIGURE 39 : Densités moyennes par groupe taxonomique de la macrofaune (En % du total)

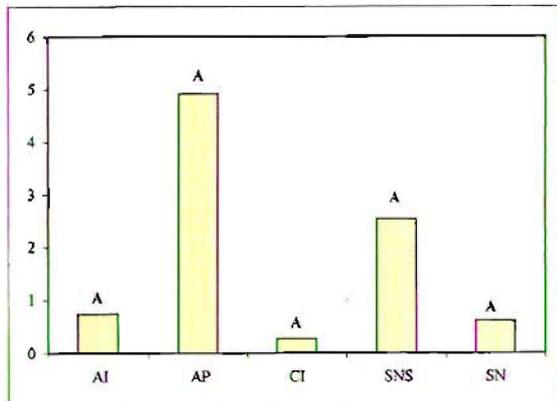


FIGURE 40 : Biomasses moyennes totales de la macrofaune (En g/m²)

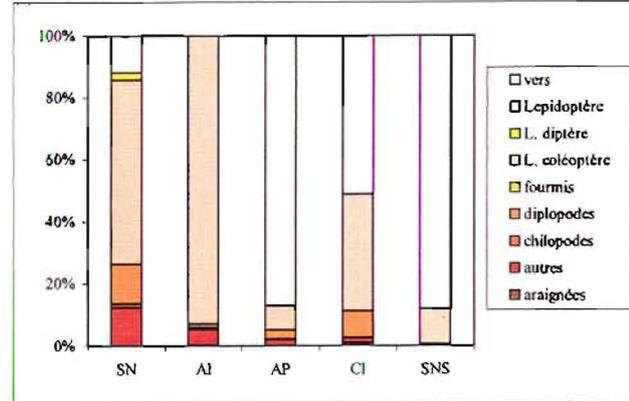


FIGURE 41 : Biomasses moyennes par groupe taxonomique de la macrofaune (En % du total)

(La même lettre indique l'absence de différence significative au seuil de 5 %)

Dans le sol nu non sarclé, les larves de coléoptères sont les importantes. Leur densité représente 43% de la population moyenne totale (figure 39).

Par leurs densités, les larves de coléoptères caractérisent aussi les parcelles où l'on a installé de l'avoine (avoine importée), sous la couverture de plastique, et sous sol nu sarclé avec respectivement 50%, 55% et 50% de la population totale (figure 39).

- ⇒ L'avoine produite sur place permet de maintenir une forte densité de vers de terre. A l'opposé, il semble que la paille d'avoine apportée sur sol nu ne favorise pas le développement des vers.
- ⇒ La biodiversité semble maintenue lorsque le sol est recouvert par un couvert végétal (avoine produite sur place et adventices sur sol nu enherbé).

3.4.1.2. Biomasses

Les biomasses moyennes totales sont exprimées en gramme par mètre carré (g.m^{-2}).

L'analyse des biomasses fait ressortir qu'un seul groupe où les différences observées ne sont pas statistiquement significatives ($p \leq 0,05$) (figure 40).

Dans les traitements où les vers de terre sont retrouvés, leurs biomasses représentent au moins 50% de la biomasse totale de la population (couverture inerte) et dépasse même 80% avec 87% dans le cas de l'avoine produite sur place et 89% sous sol nu sarclé (figure 41).

Les autres traitements sont caractérisés par les larves de Coléoptères où leurs biomasses prédominent avec 60% et 94% pour respectivement le sol nu non sarclé et l'avoine importée. Dans ces deux situations, aucun vers n'a été retrouvé (figure 41).

- ⇒ Les parcelles étudiées sont caractérisées principalement par les biomasses des vers et des larves de coléoptères.

3.4.2. En serre

A travers ces expériences nous voulions voir l'évolution d'une population de vers de terre en présence ou en l'absence d'un couvert végétal ou d'une couverture inerte avec ou sans restitution (par macération) d'avoine.

Au bout de deux mois les pots sont démontés et les vers présents sont récupérés et pesés. On observe une diminution significative ($p \leq 0,05$) de la densité et de la biomasse moyenne des vers de terre (tableau 57).

En comparaison avec les densités et les biomasses introduites, la diminution des vers varie de 62 à 94% (4 à 1 individus) pour la densité moyenne et de 80 à 96% (0,29g à 0,058g) pour la biomasse (tableaux 57 et 58).

Tableau 57 : Densités moyennes des vers en fin d'expérimentation et groupes homogènes au seuil de 5%.

TRAITEMENTS	MOYENNES (Nombre d'individus)	GROUPES HOMOGENES
Population initiale	10	A
Couverture inerte + extrait de macération de paille d'avoine + racines à 35°C	4	B
Sol nu + eau	3	B C
Avoine + eau	2	B C
Couverture inerte + extrait macération paille d'avoine à 35°C	1	B C
Couverture inerte	1	C

Tableau 58 : Biomasses moyennes des vers exprimées en % de la population initiale et groupes homogènes au seuil de 5%.

TRAITEMENTS	MOYENNES (%)	GROUPES HOMOGENES
Sol nu + eau	19,3	A
Avoine + eau	14,8	A
Couverture inerte + extrait macération paille d'avoine à 35°C	6,3	A
Couverture inerte + extrait de macération de paille d'avoine + racines à 35°C	5,7	A
Couverture inerte	3,5	A

A l'intérieur des cinq traitements, seules les densités sous couverture inerte + eau sont significativement inférieures à celles de couverture inerte + extrait de macération de paille d'avoine et de racines à 35°C.

L'analyse des biomasses des vers montre une diminution significative ($p \leq 0,05$) entre les biomasses initiales introduites et celles de tous les traitements appliqués (tableau 58).

4. INTERPRETATION ET DISCUSSION

4.1. EXPERIMENTATIONS DE TERRAIN

4.1.1. La flore adventice présente

La flore adventice présente sur les essais est principalement composée de Dicotylédones. Les graminées sont pratiquement inexistantes.

Les parcelles témoins des dispositifs sont envahies par *Plantago lanceolata*, véritable "peste végétale". Sur le dispositif 2, elle représente presque la moitié de la biomasse totale en adventices. De plus, elle est résistante aux herbicides. Pour pouvoir l'éliminer, de fortes doses d'herbicides sont nécessaires et les herbicides de contact sont peu ou pas efficaces.

4.1.2. Effets de la couverture d'avoine sur la production de maïs

La croissance et la production de maïs ne sont pas affectées par la présence d'une couverture d'avoine. Les parties aériennes et racinaires d'avoine ne semblent pas avoir d'effet allélopathique sur cette culture dans les conditions expérimentales précédemment décrites. En effet, la croissance et la production de maïs sur les parcelles " Avoine Importée" et "Avoine Produite" sont identiques à celles sur sol nu sarclé trois fois et Couverture Inerte.

On aurait pu s'attendre à ce que cette production soit plus importante avec couverture végétale. En effet, une couverture végétale possède beaucoup d'avantages que nous avons énumérés dans le chapitre 1.2 "Les systèmes de culture sous couverture végétale". Parmi les avantages figurent l'amélioration de la fertilité chimique du sol, la régulation de la température, l'amélioration du bilan hydrique, la réactivation de l'activité biologique du sol. La minéralisation de la paille permet la restitution d'éléments minéraux. Mais dans notre cas, la fertilisation apportée sur l'essai et la durée de l'expérimentation semblent avoir effacé cet effet bénéfique de la couverture, du moins en première année. De plus, les différences d'humidité du sol habituellement observées entre sol avec couverture végétale et sol nu (Perret *et al*, 1996) n'ont pu être observées du fait de l'arrosage régulier des parcelles. Sur la faune, les effets sont décrits dans le chapitre 4.3..

La production observée correspond aux valeurs habituellement énoncées pour un maïs au stade floraison-fécondation, à savoir 10 T. de MS par hectare (Soltner, 1998).

Sur couverture inerte nous avons vu que la croissance du maïs était plus rapide que sur couvertures végétales et sol nu sarclé. Sous plastique la température est plus élevée ce qui favorise la vitesse de croissance et de développement du maïs. On assiste donc à un léger raccourcissement du cycle cultural qui n'a pas d'incidence sur la production.

Dans un premier temps, on retiendra l'intérêt des couvertures végétales pour lutter contre les adventices puisque ces traitements sont équivalents au témoin sarclé trois fois. Il y a donc économie de sarclage manuel ou chimique.

4.1.3. Effet de la couverture d'avoine sur les adventices

La levée des adventices est réduite du fait de l'ombrage occasionné par la couverture inerte ; en effet, l'enherbement sur couverture inerte est nettement inférieur à celui du sol nu non sarclé. Mais l'enherbement sur couverture inerte semble être fonction du nombre de perforations effectué dans le plastique.

La diminution de l'enherbement observée sur les couvertures végétales par rapport au sol nu sarclé est la résultante de l'effet d'ombrage et allélopathique.

Il est difficile d'affirmer sur le terrain que l'avoine exerce un effet allélopathique sur les adventices car la comparaison avec la couverture inerte est difficile. Il aurait fallu utiliser une couverture inerte comme celle utilisée par Barnes et Putnam (1986) ; il s'agit d'un mulch de peuplier *excelsior*, sans effet chimique sur les plantes. Ce mulch paraît être le traitement le mieux adapté puisqu'il est inerte. Toutefois, sa vitesse de décomposition, la température et l'humidité du sol ne sont pas forcément identiques à celles d'une couverture d'avoine. Ces facteurs influençant l'effet allélopathique, il est difficile d'interpréter les résultats en l'absence d'une couverture inerte adéquate (Creamer, 1996).

Les traitements "Avoine Importée" et "Avoine Produite" ont un effet dépressif sur les adventices puisque l'enherbement sur ces parcelles est nettement inférieur à celui sur le témoin sol nu non sarclé. Il semble exister un effet racinaire de l'avoine sur les adventices ; en fin d'expérimentation, l'enherbement sur les parcelles AP est inférieur à celui sur les parcelles AI. Cet effet serait la conséquence de l'exsudation ou de la décomposition des racines. De plus, il exercerait un effet sélectif sur les adventices ; certaines comme *Galinsoga*, *Raphanus* et *Plantago* n'y seraient pas sensibles ; d'autres comme *Oxalis*, largement présente sur les parcelles avec paille seulement, serait très sensible à cet effet racinaire.

Toutefois il est possible que cet effet soit dû au phénomène de compétition. En effet, sur les parcelles "Avoine Produite", après la fauche, l'avoine n'a pas été détruite ; l'utilisation d'un herbicide aurait entraîné un biais dans l'étude des adventices. Les repousses d'avoine sont alors fréquentes. Une compétition entre l'avoine et les adventices peut se produire. C'est pour cette raison que le phénomène d'allélopathie est difficile voire impossible à étudier en condition réelle (Weston, 1996). La compétition et l'allélopathie sont des mécanismes d'interférence pratiquement indissociables au champ.

Les résultats du dispositif 2 confirme l'existence d'un effet dépressif de l'avoine sur les adventices.

Par comparaison aux témoins adjacents, l'enherbement est nettement inférieur sur les parcelles avec avoine. Sur les parcelles "Rac", la diminution du % d'enherbement n'est pas due à l'effet ombrage. En effet, les repousses d'avoine sont régulièrement coupées et n'ont pas le temps d'exercer un effet d'ombrage sur les adventices. Il pourrait s'agir d'un phénomène d'allélopathie et/ou de compétition.

Certaines adventices comme *Gamochaeta* n'est pas sensible à l'effet des racines d'avoine ; il semblerait qu'il n'y ait ni d'effet racinaire, ni d'effet "paille + racine" sur la biomasse de *Raphanus*. La couverture agirait donc de façon sélective sur la croissance des espèces (De Raissac et Marnotte, 1998).

Sur certaines plantes, il existe des différences de biomasses entre les traitements. Pour *Plantago*, la biomasse sur les témoins adjacents est toujours inférieure à celle des traitements. De plus, certains traitements ont des effets dépressifs plus importants ; Les traitements "paille" et "paille + racines" exercent plus d'effet que le traitement "racines". La paille aurait donc un effet plus important sur les adventices que les racines seules.

4.1.4. Effet des adventices sur la production de maïs

La concurrence exercée par les adventices sur les parcelles non sarclées affecte nettement la croissance et la production du maïs. Le seuil de nuisibilité biologique (niveau d'infestation, à un moment donné, à partir duquel une baisse de rendement de la culture est mesurée (Blanc, 1991)) a donc été largement dépassé. La biomasse en maïs sur ces parcelles représente 35%

de celle des autres traitements. La perte de rendement est donc de 65% ce qui correspond aux résultats de l'étude de Ayeni *et al.* (1984) où le rendement était diminué de 50%.

4.1.5. Conclusion

La couverture d'avoine réduit la biomasse totale en adventices. Ceci correspond avec les résultats de l'étude d'Almeida (1985).

Le phénomène d'allélopathie n'a pas pu être mis en évidence sur le terrain et ce pour plusieurs raisons :

- La variabilité quantitative et qualitative de la flore adventice rend difficile le traitement des données d'enherbement. Un nombre de répétition ou une superficie des parcelles élémentaires plus importants auraient pu y remédier.
- Le choix du traitement Couverture Inerte représentant l'effet physique de la couverture reste difficile ; même le peuplier excelsior reste contesté du fait de différences avec l'avoine au niveau de la vitesse de décomposition, des restitutions et de la régulation de l'humidité et de la température du sol.
- La couverture végétale intervient sur plusieurs paramètres du sol comme l'humidité, la température et influence l'activité biologique du sol. De plus, la compétition est pratiquement indissociable de l'effet allélopathique. Expérimentalement, la distinction entre compétition et allélopathie est délicate (Rizvi et Rizvi, 1992). Il est donc très difficile de distinguer le facteur allélopathie parmi les nombreux facteurs du sol qui peuvent aussi intervenir sur l'enherbement.

L'étude sur les phénomènes allélopathiques ne peuvent donc pas se dérouler uniquement au champ. Des expérimentations en serre dans des conditions semi - contrôlées sont nécessaires. En effet, la limitation des facteurs de variation interagissants permet de mieux appréhender la participation de chacun. Toutefois, il sera toujours nécessaire de revenir au milieu naturel pour vérifier les hypothèses testées.

4.2. EXPERIMENTATIONS EN SERRE

4.2.1. Rappel des différents traitements testés

Les différents traitements testés pour les tests de croissance et de germination sont :

- T1 : lessivage de parties aériennes fraîches
- T2 : lessivage de parties aériennes décomposées
- T3 : macération de parties aériennes fraîches à 25°C durant 24h,
- T4 : macération de parties aériennes décomposées à 25°C durant 24h,
- T5 : macération de racines à 25°C durant 24h,
- T6 : macération de parties aériennes fraîches + racines à 25°C durant 24h,
- T7 : macération de parties aériennes décomposées + racines à 25°C durant 24h,
- T3', T4', T5', T6', T7', sont les mêmes traitements que T3, T4, T5, T6, T7 mais à 35°C durant 24h,
- T8 : solution d'exsudats racinaires
- T0 : solution nutritive

Pour les tests de croissance, il existe deux traitements supplémentaires :

- CI : couverture inerte
- BV : couverture de biomasse fraîche

On s'est attaché à respecter au mieux les phénomènes se déroulant sur le terrain. En effet, la solution d'exsudats n'est pas concentrée ; on a essayé de reproduire la même concentration que sur le terrain. Le phénomène de décomposition est représenté par les solutions de macération.

4.2.2. Rappel des hypothèses testées

On vérifie d'abord s'il existe un effet d'ombrage des couvertures sur le développement des plantes. Pour cela on compare les traitements avec couverture CI et BV avec T0. Ensuite, la comparaison des différents traitements T avec CI ou T0 nous permet de vérifier l'existence d'un effet allélopathique.

Une fois que cet effet a été montré, on essaie d'en connaître l'origine :

L'effet allélopathique observé provient-il des racines ou des parties aériennes de l'avoine ?

- 1) Si les racines d'avoine ont un rôle dans le phénomène d'allélopathie, l'effet provient-il des exsudats de racines ou de la décomposition (macération) des racines ? Pour cela les traitements T5, T5' et T8 sont comparés au témoin ou à CI.
- 2) Si les parties aériennes ont un effet allélopathique, par quel mode les substances sont-elles libérées ?
 - Il s'agit de lessivage : on observe alors des différences significatives entre T1, T2 et le témoin ou à CI.
 - Il s'agit de décomposition (macération) : les traitements de macérations sont significativement différents de T0 ou de CI.

Mais l'effet est-il dû à la décomposition de parties aériennes fraîches ou déjà décomposées ? (Comparaison des traitements T3, T3' et T4, T4' avec le témoin ou CI). La décomposition des parties aériennes (fraîches ou décomposées) et des racines ont-elles un effet ? (Comparaison des traitements T6, T6' et T7, T7' avec le témoin ou CI).

Le tableau 59 représente le schéma logique d'analyse des hypothèses.

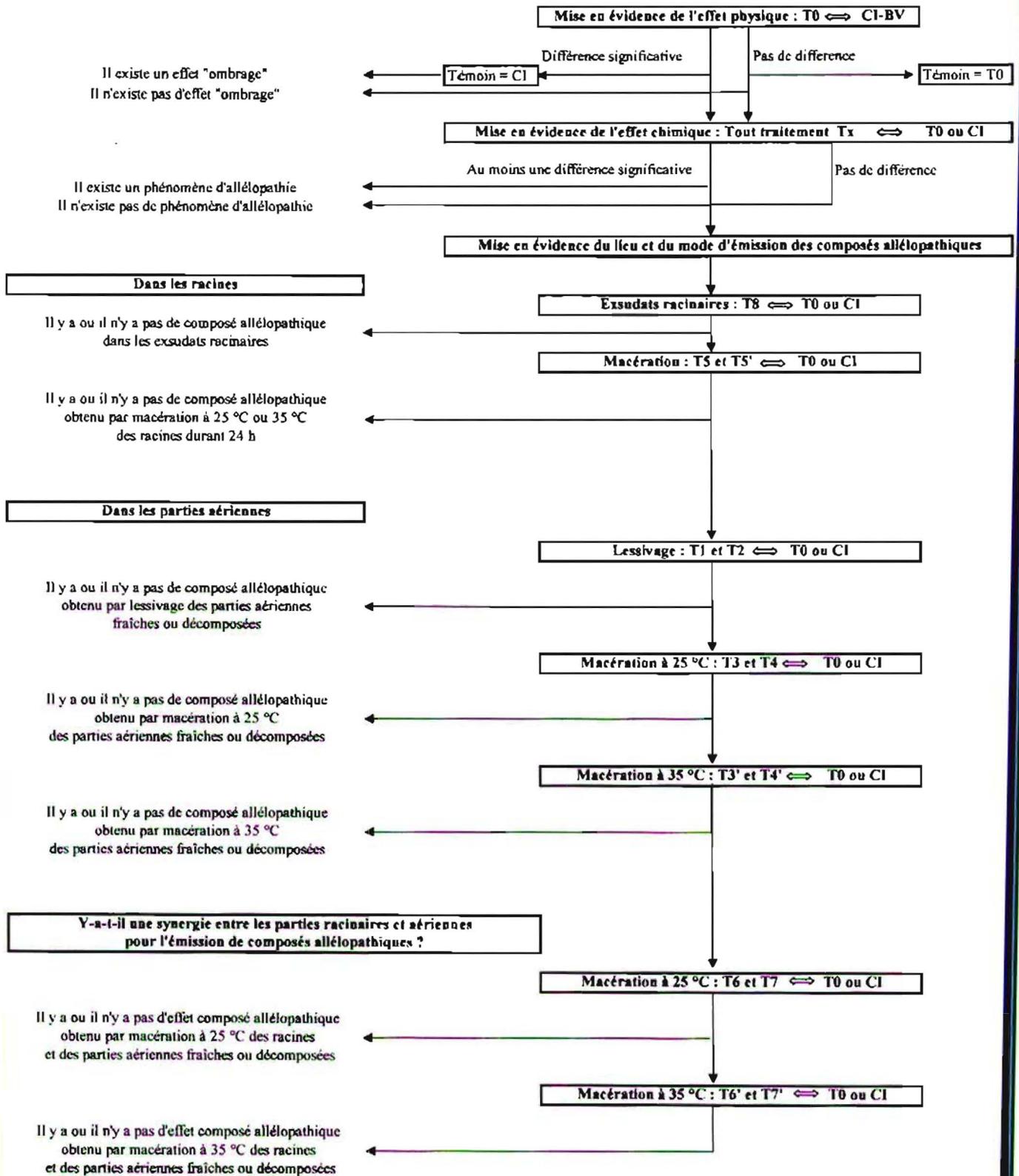
4.2.3. Résultats sur sol

Les résultats des tests de croissance n'ont montré aucune différence significative par rapport au témoin quelle que soit la plante. Plusieurs hypothèses peuvent être émises :

- dans le chapitre "Objet de la Recherche" nous avons évoqué les facteurs influençant la quantité de composés allélopathiques. Ainsi les facteurs physico-chimiques comme le pH, l'azote disponible, le carbone organique ont un rôle non négligeable dans l'expression de l'allélopathie (Inderjit et Keating, 1999). De plus, la rétention des composés allélopathiques varie selon la texture du sol (Einhellig, 1986). Nous avons travaillé sur un andosol désaturé non perhydraté dont les propriétés physico-chimiques (cf. Annexes 1) sont peut être à l'origine d'une expression de l'allélopathie peu marquée.
- dans le sol, les micro-organismes présents ont pu dégrader les composés allélopathiques en substances non toxiques. La bibliographie montre l'importance des micro-organismes du sol dans l'expression de l'allélopathie et la difficulté d'en déterminer les mécanismes précis. (Inderjit et Dakshini, 1995).

Notons que pour le traitement T8, on a observé une tendance vers une diminution de la croissance.

TABLEAU : Schéma logique d'analyse des hypothèses



4.2.4. synthèse des résultats sur vermiculite

La synthèse des résultats obtenus en serre est représentée par le tableau 60. Elle a été effectuée à partir des hypothèses de départ et selon la logique du tableau 59.

4.2.4.1. Remarques générales

- Sur les traitements CI et BV, aucune différence significative par rapport au témoin n'a été observée. Les différents traitements seront donc par la suite comparés à T0. Précisons qu'il est difficile de reconstituer en pots les mécanismes physiques (ombrage et "lest") qui interviennent dans le contrôle des adventices par les couvertures au champ. Notamment, même si la quantité de matière au-dessus du substrat dans les pots est la même que celle au champ, sa nature fragmentée nécessaire pour le remplissage des pots réduit fortement l'effet "lest".
- Il existe bien un effet allélopathique de l'avoine sur certaines espèces. En effet, plusieurs traitements T sont différents du témoin.
- Les macérations de racines T5 et T5' ne sont jamais significativement différentes du témoin. Elles n'ont pas d'effet allélopathique sur les espèces testées. Notons que des macérations de racines déjà décomposées seraient intéressantes à effectuer et représentatives des phénomènes se déroulant sur le terrain.
- Les résultats montrent que le traitement T8 (exsudats racinaires d'avoine) provoque une réduction de croissance sur la plupart des plantes comparativement aux plantes arrosées avec de la solution nutritive. Ces résultats seraient cohérents avec ceux évoqués dans la bibliographie : les exsudats racinaires de l'avoine ont des effets inhibiteurs sur plusieurs adventices (Martin et Rademacher, 1960 ; Altieri et Doll, 1978). Les études de Martin et Rademacher (1960) montre que la scopolétine est un composé exsudé par les racines d'avoine et qu'elle a des effets inhibiteurs sur la croissance de certaines plantes (Fay et Duke, 1977 ; Nielsen et al., 1981). De plus, il existerait d'autres composés allélopathiques exsudés inhibiteurs autre que la scopolétine (Fay et Duke, 1977).
Il semblerait que l'absorption de solution sur les traitements T8 soit moins importante que sur les témoins (à vérifier). Il est possible que les exsudats agissent en diminuant l'absorption d'eau dans la plante ou en provoquant la fermeture des stomates (Lance, 1995). En effet, un des mécanismes d'action des composés allélopathiques est la perturbation de la perméabilité des membranes (Einhellig, 1984, cité par Lance, 1995). Ceci est cohérent avec les observations que nous avons réalisées. En effet, nous avons observé une diminution de l'évapotranspiration sur les pots arrosés avec la solution T8. Mais comme les matières sèches produites par le maïs sur ces mêmes traitements étaient aussi diminuées, nous n'avons pas pu distinguer si la diminution de l'évapotranspiration était due à un effet allélopathique direct ou indirect (dû à une moindre croissance).
Mais la méthode de récolte d'exsudats racinaires n'a-t-elle pas engendré un biais susceptible de fausser l'interprétation ? En effet, les effets observés sont très marqués, et ce, sur toutes les espèces. Même sur le sol, il semble y avoir une tendance.

TABLEAU 60 : Synthèse des résultats obtenus en serre

sur *Plantago lanceolata*

	COMPARAISONS AU TÉMOIN T0									Remarques
	Ombrage	Alléopathie	Macération Racines	Exsudats	Lessivage	Macération				
	C1 BV	Avec au moins un traitement T	T5 T5'	T8	T1 T2	P. A. Fraîches T3 T3'	P.A. Decomp. T4 T4'	P.A. Fraî. + Rac T6 T6'	P.A. Dée. + Rac T7 T7'	
Hauteur										T3' < T3 T3 > T4
Racines										
Feuilles										
MS Totale										

sur *Bidens pilosa*

Hauteur										T3' > T4' T6' < T6, T7' < T7
Racines										
Feuilles										T6' < T6 T3' > T4'
Tiges										T6' < T6, T7' < T7
Parties Aériennes										T6' < T6 T7' < T7
MS Totale										T3' > T4' T7' < T7

- Pas de différence significative) au témoin
- Significativement inférieur au témoin
- Significativement supérieur au témoin

sur *Lycopersicon esulentum*

COMPARAISONS AU TEMOIN T0										
	Ombre	Alléopathie	Macération Racines	Exsudats	Lixivage	Macération				Remarques et tendances
						P. A. Fraîches	P. A. Decomp.	P. A. Fraî. + Rac	P. A. Déc. + Rac	
	C1 BV	Avec au moins un traitement T	T5 T5'	T8	T1 T2	T3 T3'	T4 T4'	T6 T6'	T7 T7'	
Hauteur										T7 < T7' T3 > T4', T3 > T4
Racines										
Fr. lilles										6, 7, 4
Tiges										6, 7, 4
Parties Aériennes										6, 7, 4
MS Totale										T
Germination										T6 > T7

sur *Phalaris arundinacea*

Hauteur en cours de croissance										C1 - BV 4, 6, 7
Hauteur finale										7, 7, 3, 4
Toute autre observation										7, 4, 8 C1 - BV

sur *Oryza sativa*

Hauteur										T6 > T7
Toute autre observation										7, 4, 8, 6

- Pas de différence significative au témoin
- Significativement inférieur au témoin
- Significativement supérieur au témoin

(Dans la colonne "Remarques et tendances", et lorsqu'il n'y avait pas de différence significative, nous avons représenté les tendances suivant le même code de couleur et dans la mesure où ces tendances étaient les mêmes quelques soient les observations)

sur *Phaseolus vulgaris*

	COMPARAISONS AU TEMOIN T0									
	Ombrage	Alléopathie Avec au moins un traitement T	Macération Racines T5 T5'	Exsudats T8	Lessivage T1 T2	Macération				Remarques et tendances
						P. A. Fraîches T3 T3'	P.A. Decomp. T4 T4'	P.A. Fraî. + Rac T6 T6'	P.A. Déc. + Rac T7 T7'	
CI BV										
M.S. TOTALE										4, 6, 7, 7
Toute autre observation										4, 6, 7, 7
sur <i>Cyperus rotundus</i>										
Racines + tubercules										3, 7, 3, 6, 6
Feuilles										
M.S. Totale										
sur <i>Zea mays</i>										
Hauteur										7 > 7 4, 3, 6, 6
Racines										3, 4, 7, 3
Feuilles										7 < 7
Tiges										
Parties Aériennes										T6' > T7'
MS Totale										

- Pas de différence significative au témoin
- Significativement inférieur au témoin
- Significativement supérieur au témoin

(Dans la colonne "Remarques et tendances", et lorsqu'il n'y avait pas de différence significative, nous avons représenté les tendances suivant le même code de couleur et dans la mesure où ces tendances étaient les mêmes quelques soient les observations)

En utilisant cette méthode nous voulions respecter les concentrations de substances émises rencontrées dans les situations naturelles, contrairement à de nombreux dispositifs décrits dans la bibliographie, qui visent à concentrer les substances produites (Putnam et Tang, 1986).

En effet, il existe plusieurs méthodes de récolte des exsudats :

Certains dispositifs mélangent les exsudats des plantes donneuses et des plantes receveuses. C'est le cas pour le dispositif en "marche d'escalier" (Bell et Koeppel, 1972, cité par Lance, 1995). Chaque plante receveuse reçoit une solution contenant ses propres exsudats racinaires et ceux de la plante donneuse. Or nous voulions tester les exsudats de la plante donneuse (l'avoine) uniquement.

D'autres dispositifs concentrent les exsudats racinaires. Par exemple, dans le système "en circuit fermé" (Quasem et Hill, 1989, cité par Fontar et Thomas, 1987), l'excès de solution qui percole entraîne les substances excrétées dans des récipients situés en contrebas. Cet excès est réutilisé après ajustement de la conductivité électrique et du pH (pour éviter l'épuisement éventuel de la solution nutritive). Les exsudats sont accumulés.

Il est possible de faire pousser les plantes tests dans un milieu de culture dans lequel ont poussé auparavant les plantes donneuses pendant plusieurs jours. Irons et Burnside (1982, cité par Lance, 1995) font pousser les plantes donneuses en milieu hydroponique (avec solution nutritive). Après plusieurs jours, ils retirent la plante donneuse de ce milieu de culture et y placent les plantes receveuses. Mais ce système ne reproduit pas les conditions normales de développement, et les composés s'accumulent.

Dans notre dispositif, les plantes d'avoine étaient arrosées le soir avec de la solution nutritive. Et tous les matins, le percolat était récupéré. Il est possible que la composition minérale de cette solution récupérée (contenant les exsudats) soit différente de celle de la solution nutritive de départ. En effet, l'avoine, plante donneuse, se nourrit des éléments minéraux contenus dans la solution nutritive ; de plus, il est possible que le substrat, la vermiculite retiennent quelques éléments nutritifs. Les plantes cibles, arrosées avec le percolat, pourraient alors souffrir d'un ralentissement de croissance. Nous avons donc prélevé un échantillon de solution d'exsudats pour une analyse minérale. Mais ces résultats ne sont pas encore connus.

Il n'existe donc pas de méthode standardisée entièrement satisfaisante pour la récolte et le test des exsudats racinaires. C'est pour cette raison que Tang (1986) conseille d'examiner avec soin les conditions d'exsudation des plantes, citées dans plusieurs articles relatifs à l'allélopathie. En effet, les exsudats désignent uniquement les substances chimiques (exceptés l'eau et le CO₂) libérées par les racines en conditions naturelles. Les perturbations physiques, lors d'une expérimentation peuvent endommager la structure des racines ce qui provoquerait la libération des contenus cellulaires (Ayers et Thornton, 1968, cité par Tang, 1986). Les résultats obtenus sans l'assurance qu'aucune perturbation ne s'est produite, sont donc difficiles à attribuer à une action stricte d'exsudats racinaires. Les résultats, montrant l'existence d'un effet allélopathique des exsudats, obtenus par une méthode devraient être vérifiés par l'utilisation d'un autre dispositif.

4.2.4.2. Les plantes cibles

D'après la synthèse des résultats (Tableau 60), on peut observer trois comportements différents de plantes cibles : les espèces fortement sensibles à l'effet allélopathique (*Plantago lanceolata*, *Bidens pilosa*, *Lycopersicon esculentum*), les espèces où l'effet allélopathique est

moins flagrant (c'est le cas de *Oryza sativa* et de *Phalaris arundinacea*) et les plantes pour lesquelles les différents traitements testés semblent profitables (*Zea mays*, *Phaseolus vulgaris* et *Cyperus rotundus*).

- **Groupe 1** : Les plantes fortement sensibles

Les effets sur ces trois espèces sont très similaires. Il semblerait que ce soient les mêmes traitements qui aient un effet dépressif (T4', T6' T7'). Même si sur *Lycopersicon esculentum*, où les CV trop élevés n'ont pas permis de mettre en évidence des différences significatives par rapport au témoin, les tendances observées sur la croissance en hauteur et les biomasses vont dans le même sens. Nous avons donc regroupé sur la figure 42 et sur le tableau 61 ces résultats. Les traitements supérieurs de plus de 20% au témoin sont indiqués en jaune et ceux inférieurs de plus de 20% en rouge.

C'est la solution d'exsudats racinaires qui a le plus grand effet inhibiteur. Nous avons évoqué plus haut les hypothèses de cet effet (allélopathie - nutrition minérale). Il est important de noter que, pour ces plantes, l'impact des macérations à 35°C est supérieur à celles à 25°C. En effet, par exemple, la croissance de *Bidens pilosa* sur T7' est toujours inférieure à celle sur T7. De plus, l'effet est plus important lorsqu'il s'agit de macération de parties aériennes décomposées (T4<T3, T4'<T3').

Ces résultats correspondent aux résultats présentés par certains auteurs dans la bibliographie : les extraits aqueux de paille d'avoine (représentés par la macération de parties aériennes décomposées d'avoine) affectent la croissance de certaines plantes (Nielsen et al., 1960, cité par Rice, 1984). Almeida (1985) montre que la couverture morte d'avoine diminue la biomasse d'adventices et que les effets sont chimiques. Il s'agit peut-être de la décomposition des parties aériennes, ce qui correspond à la macération dans nos expériences.

- **Groupe 2** : *Oryza sativa* et *Phalaris arundinacea*

Sur ces deux espèces, les effets inhibiteurs sont moins marqués que sur les trois plantes précédentes. Les coefficients de variation élevés n'ont pas permis de mettre en évidence des différences significatives par rapport au témoin.

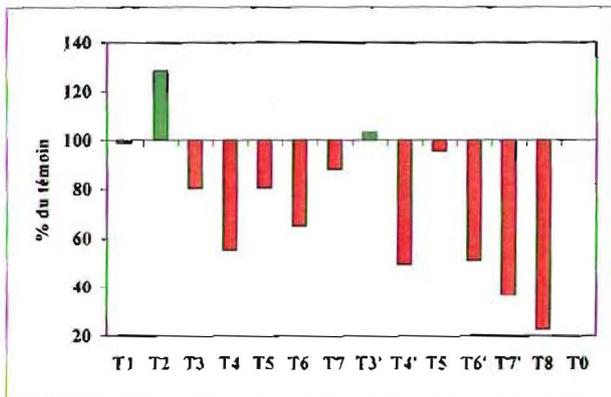
Phalaris arundinacea

En cours de croissance, on observe un effet dépressif significatif de T4', et une tendance semble se dessiner sur T7'. Il faut noter que ces traitements correspondent aux traitements les plus marqués sur les espèces du groupe 1. Cependant, en fin d'observation, ces différences n'existent plus. Et les tendances semblent même s'inverser, ce qui semblerait supposer qu'en début de croissance des rhizomes, les phénomènes d'allélopathie soient déterminants. Alors qu'en pleine croissance, ce soit l'effet bénéfique qui prédomine. Celui-ci sera discuté lors de la présentation du prochain groupe.

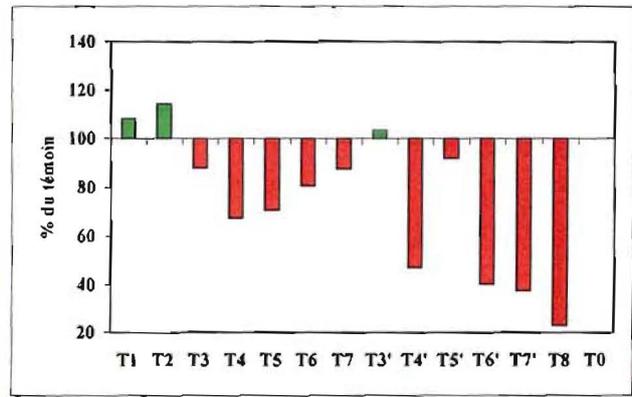
Phalaris est la seule espèce sur laquelle les couvertures inertes et fraîches (CI et BV) semblent montrer un effet dépressif.

Oryza sativa

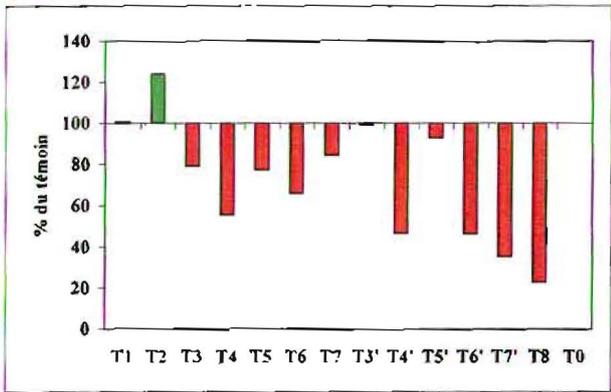
Les forts coefficients de variation nous ont empêchés de mettre en évidence des résultats significatifs sur le riz. Cependant, une fois encore, ce sont les mêmes traitements T7, T4', T6' qui semblent le plus marquer. On peut noter que les effets du traitement T7 sont plus dépressifs que ceux de T6 (T7<T6). Là encore, comme sur le groupe 1, les macérations de parties aériennes décomposées semblent présenter le plus d'effet.



a: Matières sèches racinaires



b: Matières sèches des parties aériennes



c: Matières sèches totales

	M.S. Racinaire	M.S. Aérienne	M.S. Totale
T8	23	18	23
T7'	37	38	35
T4'	49	16'	46
T6'	51	T4'	47
T4	55	T4	55
T6	65	T5	66
T3	80	T6	77
T5	80	T7	79
T7	88	T3	84
T5'	96	T5'	93
T1	99	T0	99
T0	100	T3'	100
T3'	103	T1	101
T2	128	T2	124

TABLEAU 61 : Classement des traitements

FIGURE 42: Effets allélopathiques moyens (% du témoin) Sur les matières sèches racinaires (a), aériennes (b) et totales (c) sur *Plantago lanceolata*, *bidens pilosa* et *lycopersicon esculentum*.

Kato-Noguchi (1994) montre que L-Tryptophan, composé hydrosoluble présent dans les résidus d'avoine inhibe la croissance des racines de riz. Il est peut-être présent dans les macérations de notre expérimentation.

Sur ces deux plantes, nous soupçonnons les mêmes traitements inhibiteurs que pour les trois espèces précédentes. T7', T6', T4' et T7 affectent de façon négative le développement des plantes. Là encore les solutions issues des macérations à 35°C paraissent avoir plus d'effet que celles à 25°C. De même, les macérations de parties aériennes décomposées semblent plus actives que celles des parties aériennes fraîches.

- **Groupe 3** : Les plantes tirant profit des solutions.

Les effets observés sur ces trois plantes sont très similaires. Les traitements montrent un effet bénéfique des solutions sur la croissance. Nous avons regroupé ces résultats sur la figure 43 et le tableau 62. La légende est la même que le tableau des plantes du groupe 1.

Sur *Phaseolus vulgaris*, *Cyperus rotundus* et *Zea mays*, le seul effet inhibiteur observé est dû au traitement T8. Nous avons expliqué précédemment les hypothèses proposées (allélopathie, nutrition minérale) de cette inhibition.

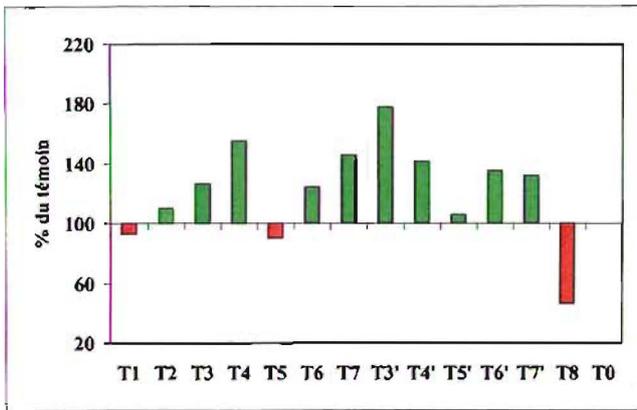
Sur ces plantes, les solutions semblent avoir un effet bénéfique sur leur développement. Nous retrouvons les mêmes traitements T4, T4', T7, T7' T6' que sur les espèces des groupes précédents. Mais l'effet n'est pas dépressif mais bénéfique. Ces plantes paraissent profiter des éléments minéraux apportés en complément de la solution nutritive. Notons que sur le maïs, les macérations à 35°C semblent avoir moins d'effet bénéfique que les macérations à 25°C. L'effet des parties aériennes décomposées est moins important que celui des parties aériennes fraîches. Le traitement T7' tend même à avoir un effet dépressif. Les éléments libérés par les parties aériennes décomposées semblent avoir du mal à contrer un possible effet dépressif de cette solution.

Les parties aériennes en décomposition libèrent de nombreux éléments minéraux (restitutions minérales de la couverture végétale) (Séguy et Bouzinac, 1999). Ces plantes paraissent en profiter. Ces solutions auraient donc un effet nutritionnel. Pour le maïs, les éléments minéraux contenus dans T7' auraient du mal à contrer l'effet des substances inhibitrices (à vérifier).

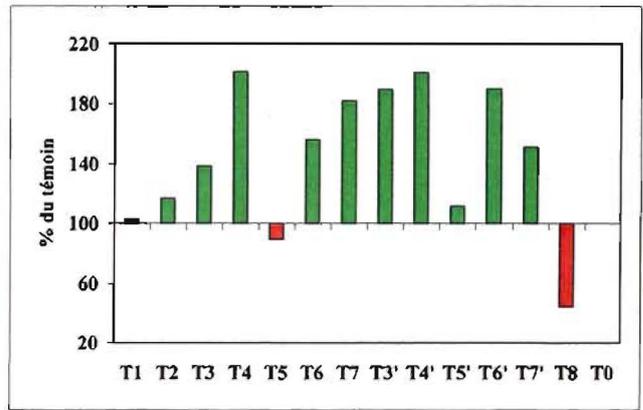
4.2.5. Discussion sur les tests de germination

Seul le test de germination de la tomate montre des différences significatives avec le témoin. Les traitements T4' et T7' inhibent la germination de la tomate. Les parties aériennes décomposées à 35°C ont donc un effet inhibiteur sur la germination.

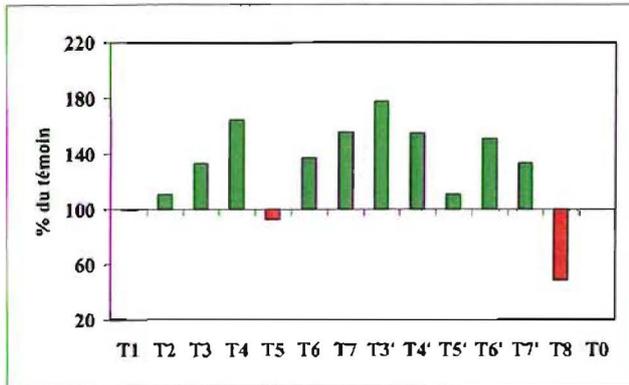
Toutefois, nous n'avons pas mesuré la pression osmotique de ces solutions. Or une pression osmotique élevée (supérieure à 75 milliosmoles) peut être responsable d'une inhibition de la croissance de la radicule (Bell, 1974). Nous ne pouvons donc pas conclure sur l'effet des traitements sur la germination.



a: Matières sèches racinaires



b: Matières sèches des parties aériennes



c: Matières sèches totales

M.S. Racinaire		M.S. Aérienne		M.S. Totale	
T8	47	T8	44	T8	48
T5	90	T5	89	T5	93
T1	93	T0	100	T1	100
T0	100	T1	103	T0	100
T5'	106	T5'	112	T5'	111
T2	110	T2	117	T2	111
T6	124	T3	139	T3	133
T3	126	T7'	151	T7'	134
T7'	132	T8	156	T8	137
T6'	135	T7	182	T6'	151
T4'	141	T3'	190	T4'	155
T7	146	T6'	190	T7	156
T4	155	T4'	201	T4	164
T3'	178	T4	201	T3'	178

TABLEAU 62 : Classement des traitements

FIGURE 43 : Effets allélopathiques moyens (% du témoin)

4.3. DISCUSSION SUR LA MACROFAUNE

4.3.1. Au champ

Les résultats (macrofaune du sol) obtenus, notamment les densités moyennes totales (entre 16 et 85 ind.m⁻²), sont inférieures à celles observées par Boyer *et al.* (1998) (plus faible valeur étant de 115 ind.m⁻², pour le géranium en sol nu) dont l'étude a été réalisée au même endroit sur différents modes de gestion du géranium et à la même saison (hivers austral). Ces faibles valeurs peuvent s'expliquer par i) l'itinéraire technique appliqué au site (le géranium est une culture pérenne, tandis que dans notre étude, la parcelle subit régulièrement des rotations de cultures avec labours pour l'installation de la pomme de terre par exemple), et ii) l'utilisation de pesticides (carbofuran) dans notre essai.

L'analyse des taxons et plus particulièrement celle des vers de terre, montre que la valeur trouvée sous l'avoine produite sur place (35 ind.m⁻²) est équivalente et intermédiaire à celle retrouvée sous géranium associé à la couverture vivante de lotier (*Lotus uliginosus*) (10 ind.m⁻²) et sous kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) (58 ind.m⁻²).

L'absence de vers sous couverture importée d'avoine peut s'expliquer soit par i) une action antagoniste des exsudats de paille, ou ii) par une carence nutritive qui serait compensée par la présence des racines car les vers sont fortement représentés sous l'avoine cultivés sur place. La différence entre les deux traitements vient de la présence ou de l'absence du système racinaire.

Dans cette étude, les biomasses moyennes totales (0,6 – 4,9 g.m⁻²) ne sont statistiquement différentes entre elles. Ces résultats sont semblables à ceux observés par Boyer (1998) dont les valeurs variaient entre 1,77 et 32,92 g.m⁻² pour les traitements en sol nu et ceux avec couvertures vivantes.

La diminution de la densité et de la biomasse de la macrofaune du sol sous nu sarclé, sous couverture de plastique et sous paille d'avoine, s'accompagne d'une diminution de la diversité taxonomique. Ces résultats sont souvent observés sous cultures annuelles (Decaëns *et al.*, 1994 ; Boyer, 1998).

La macrofaune est plus abondante dans les parcelles herbacées (avoine produite sur place et sol nu avec adventices) où la litière et les systèmes racinaires par son abondance et sa qualité, permet son développement. A l'opposé, dans les parcelles où l'absence de systèmes racinaires est observée, sol nu avec sarclage permanent, sous couverture de plastique et sous paille importée, une diminution quantitative et qualitative (diversité) de la macrofaune, due à l'absence de conditions pédologiques et nutritives favorables induites par le système racinaire (modifications physiques par les racines et chimiques par les exsudats racinaires) est observée.

4.3.2. En serre

On constate que certains vers introduits meurent au cours de l'expérience et que le poids moyen des survivants diminue significativement. Plusieurs raisons peuvent être invoquées.

La première est relative aux vers utilisés et au temps de contact. Les vers, *Pontoscolex corethrurus*, ont été choisis pour leur taux de fécondité élevé et leur grande tolérance aux

différences conditions chimiques et pédologiques (pH, taux de carbone...). Pour des raisons matérielles, le sol utilisé (andosol désaturé non perhydraté) n'est pas celui où les vers ont été prélevés (sol brun). On peut donc émettre l'hypothèse que le temps de contact entre les vers et son environnement pédologique était trop court. Ce qui nécessiterait de recommencer l'expérience et de la suivre sur un plus long terme (6 mois).

Une deuxième est relative au stress imposé aux vers lors de leur manipulation (prélèvement, pesée, introduction dans les pots). Des travaux en pots réalisés sur 6 et 12 semaines présentaient les mêmes résultats, soit une diminution significative de la densité et de la biomasse des vers de terre introduits (Boyer, 1998).

A plus grande échelle, plusieurs auteurs ont observé une diminution de la densité de population de vers de terre lorsqu'elle est soit introduite (Gilot, 1997), soit de la population naturelle sous culture annuelle (Decaëns *et al.*, 1994). Derouard *et al.* (1997) observent une diminution de la biomasse des populations introduites d'*Hyperiodrilus africanus* (Eudrilidea) de 80% sous culture de maïs et de riz.

Au terme de cette expérimentation, il est difficile de conclure à un éventuel effet direct antagoniste de la paille d'avoine ou de ses extraits de macération sur les populations de vers de terre.

5. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les expérimentations sur le terrain ne nous ont pas permis de montrer le potentiel allélopathique de l'avoine. En effet, l'allélopathie est un phénomène difficile à mettre en évidence dans les conditions naturelles. Sur les parcelles où l'avoine a été produite, la compétition entre plante de couverture et adventices est difficilement dissociable du phénomène d'allélopathie. De plus, les facteurs environnementaux peuvent entraîner des stress et influencer le potentiel allélopathique. Einhellig (1996) a représenté par un triangle "le triangle de stress" les relations entre les composés allélopathiques et les facteurs environnementaux influençant la croissance des plantes. Les facteurs édaphiques participant à cette interaction peuvent y être rajoutés.

Toutefois, la présente étude confirme l'intérêt de cette couverture dans la limitation de l'enherbement. Un phénomène de sélectivité s'exprime sur les adventices. Cette couverture n'a eu aucun effet sur la production du maïs. C'est la première année de paillage et les effets bénéfiques de cette couverture n'ont pas eu le temps de s'exprimer. Ce dispositif sera reconduit et l'impact de la couverture d'avoine sur la production du maïs sera étudié.

Plusieurs perspectives sont à envisager :

- l'utilisation d'une couverture inerte plus adaptée comme la couverture de peuplier *excelsior* permettrait d'appréhender plus facilement les phénomènes d'allélopathie.
- rappelons qu'il serait nécessaire de travailler sur des surfaces parcellaires plus grandes et un nombre plus important de répétition.
- observer l'effet allélopathique de l'avoine sur des plantes ayant montré une sensibilité en serre (tomate, riz).

Les travaux en serre confirment l'existence d'un effet allélopathique de l'avoine. Il semble issu des macérations des parties aériennes déjà décomposées. La température aurait un effet sur la libération de les composés allélopathiques puisque les macérations à 35°C semblent avoir une action plus dépressive que celles à 25°C. Les exsudats auraient un effet dépressif important mais un problème nutritionnel dans ces solutions n'est pas à écarter. L'analyse minérale de cette solution apportera plus d'informations.

Cet effet est sélectif ; la réponse des plantes cibles est différente. Certaines espèces paraissent en souffrir et voient leur croissance diminuer. D'autres semblent en profiter. L'hypothèse d'un apport nutritionnel a été émise. L'analyse minérale le confirmera ou non.

Sur la méthode de récolte des exsudats racinaires, un engrais foliaire aurait pu être utilisé. L'application de cet engrais serait faite de manière à ce qu'il ne touche pas le support. L'arrosage des racines d'avoine se ferait avec de l'eau. Le percolat recueilli serait ensuite complété avec de la solution nutritive. On éviterait ainsi de possibles déséquilibres minéraux du percolat par rapport à la solution nutritive.

Les tests de germination en boîtes de Pétri ne sont pas convaincants. Il aurait fallu mesurer la pression osmotique de ces solutions. Il serait intéressant d'étudier la germination sur d'autres supports comme la vermiculite, le sable et le sol.

On sait que la concentration en composés allélopathiques varie en fonction de l'âge de la plante. La toxicité de la paille d'avoine au stade de la récolte est plus importante. Il serait intéressant d'étudier l'impact de la couverture selon son âge.

L'étude des populations de la macrofaune du sol sous différentes pratiques culturales, montre que l'association du maïs avec une couverture d'avoine produite sur place (présence de litière

avec le système racinaire) permet de restaurer sa diversité et sa densité. En pots, les différentes expériences confirment l'absence d'effet dépressif des diverses parties de l'avoine (aérienne et racinaire) sur les populations de vers de terre.

Les résultats obtenus doivent être confirmés par des expériences *in situ* et en serre à plus long terme. Effectivement, il serait opportun de suivre la dynamique de population de la macrofaune (niveaux de population, biodiversité) en fonction des saisons et sur plusieurs cycles culturaux avec les mêmes pratiques. De même, les expériences en pot sont à renouveler afin de suivre la restructuration (densité, biomasse et fécondité) des populations de vers de terre.

Le choix de l'espèce utilisée comme couverture végétale à effet allélopathique dépendra i) de la flore adventice présente sur le terrain ii) des facteurs environnementaux iii) de sa production en biomasse iv) de la qualité de la litière produite (vitesse de minéralisation de la matière organique) v) des plantes cultivées.

BIBLIOGRAPHIE

ALMEIDA F.S.D. (1985). Influencia da Cobertura Morta do Planto Direto na Biologia do Sol. IAPAR - Area de Herbologia: 41.

ALSAADAWI I.S. (1992). Allelopathic research activity in Iraq. In Allelopathy : Basic and applied aspects. Edited by RIZVI S.J.H. and RIZVI V. Chapman & Hall. P.251-269.

ALTIERI, M. A. and J. D. DOLL J.D. (1978). The Potential of Allelopathy as a Tool for Weed Management in Crop Fields. PANS 24(4): 495-502.

AYENI A.O., DUKE W.B., AKOBUNDU I.O. (1984). Weed interference in maize, cowpea and maize/cowpea intercrop in a subhumid tropical environment. III. Influence of land preparation. Weed Research 24 : 439-448.

AYENI A.O., DUKE W.B., AKOBUNDU I.O. (1984). Weed interference in maize, cowpea and maize/cowpea intercrop in a subhumid tropical environment. I. Influence of cropping season. Weed Research 24 : 269-279.

BLANC, D. (1991). Mais, Tenir Compte de la Nuisibilité des mauvaises herbes peut permettre d'éviter un traitement. Cultivar n°288 : 106-111.

BLANCHART E. (1990). Rôle des vers de terre dans la formation et la conservation de la structure des sols de la savane de Lamto (Côte d'Ivoire). Thèse de l'Université, RennesI.

BOYER J. (1998). Interactions biologiques (faune, ravageur, parasites, microflore) dans des sols sous cultures en milieu tropical humide (Ile de la Réunion). Thèse de Doctorat de l'Université PARIS 6.

BOYER J., LAVELLE P. et MICHELLON R. (1994). Caractérisation de la faune du sol dans différentes parcelles des Hauts de l'Ouest de la Réunion. ORSTOM, CIRAD, La Réunion, France, 18p.

BOYER J., MICHELLON R., CHABANNE A., REVERSAT G. and TIBERE R. (1999). Effects of trefoil cover crop and earthworm inoculation on maize crop and soil organisms in Reunion Island. Biology and Fertility of Soils, 28/4, p 364-370

CAUSSANEL J.P. (1975). Phénomène de concurrence par allélopathie entre adventices et plantes cultivées Columa-EWRC. Cycle International de perfectionnement en malherbologie, Versailles, Mars, 7p.

CHABANNE A., MICHELLON R., SEGUY L., et TECHER P. (1998). La conception de systèmes agricoles durables à base de semis direct dans les couvertures végétales pour les Hauts de l'Ouest à la Réunion. Colloques : Gestion agrobiologique des sols et des systèmes de culture. Actes de l'atelier international. p.239-248.

CHOU, C.-H., S.-J. CHANG, et al. (1989). The Selective Allelopathic Interaction of a Pasture-Forest Intercropping in Taiwan. II. Interaction between Kikuyu Grass and the three Harwood Plants." *Plant and Soil* 116: 207-215.

CREAMER N.G., BENNETT M.A., STINNER B.R., CARDINA J. and REGNIER E.E. (1996). Mechanisms of weed suppression in cover crop-based production systems. *Hort-Science* 31(3): 410-413.

DECAENS T., LAVELLE P., JIMENEZ JAEN J.J., ESCOBAR G. and RIPPSTEIN G. (1994). Impact of land management on soil macrofauna in the Oriental Llanos of Colombia. *Eur. J. Soil Biol.*, 30(4) : 157-168.

DECAENS T., DUTOIT T. and ALARD D. (1997). Earthworms community characteristics during afforestation of abandoned chalk grasslands (Upper Normandy, France). *Eur. J. Soil Biol.* 33(1) : 1-11.

DE RAISSAC M., MARNOTTE P. et ALPHONSE S. (1998). Interactions entre Plantes de Couverture, Mauvaises Herbes et Cultures : Quelle est l'Importance de l'Allélopathie. *Agriculture et développement* N°17(Mars 1998): 40-49.

DEROUARD L., TONDOH J., VILCOSQUI L. and LAVELLE P. (1997). Effects of earthworms introduction on soil processes and plant growth. *Soil Biol. Biochem.*, vol 29, 3/4 : 541-545.

DOBREMEZ J.F., GALLET C., PELLISSIER F. (1995). Guerre chimique chez les végétaux. *La Recherche* 279 (26) : 912-916.

EINHELLIG F.A., RICE E.L., RISSER P.G. and WENDER S.H. (1970). Effects of scopoletin on growth, CO₂ exchange rates, and concentration of scopoletin, scopolin, and chlorogenic acids in tobacco, sunflower, and pigweed. *Bull. Torrey Bot. Club* 97 : 22-23.

EINHELLIG F. A. (1996). Interactions Involving Allelopathy in Cropping Systems. *Agronomy Journal* 88(6): 886-893.

FAY P.K. and DUKE W. B. (1977). An assessment of allelopathic potential in *Avena* germ plasm. *Weed Science* 25(3): 224-228.

FONTAR, X. et THOMAS L. (1987). Etude des Effets Allélopathiques d'une Couverture de Kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) sur Géranium, Cultures Vivrières et Certaines Plantes Adventices, Ecole Supérieure d'Agriculture d'Angers. CIRAD: 154p.

GATE G.E. (1972). Burmese earthworms. An introduction to the systematics and biology of Megadrile Oligochaetes with special reference to southeast Asia. *Transactions of the American Philosophical Society. New Series* 62(7) :326p.

GILOT C. (1997). Effects of a tropical geophageous earthworm, *M. anomala* (Megascolecidae), on soil characteristics and production of a yamcrop in Ivory Coast. *Soil. Biol. Biochem.*, 29(3/4) : 353-359.

GUENZI W.D. and McCALLA T.M. (1962). Division III- Soil microbiology. Inhibition of germination and seedling development by crop residues. *Soil Science Society Proceedings*: 456-458.

GUENZI W.D., McCALLA T.M. and NORSTADT F.A. (1967). Presence and persistence of phytotoxic substances in wheat, oat, corn, and sorghum residues. *Agronomy Journal* 59: 163-164.

HEDGE R. S. and MILLER D.A. (1990). Allelopathy and Autotoxicity in Alfalfa: Characterization and Effects of Preceding Crops and Residue Incorporation. *Crop Science* 30: 1255-1259.

INDERJIT and DAKSHINI K.M.M. (1992). Interference potential of *Pluchea lanceolata* (Asteraceae) : growth and physiological responses of asparagus bean, *Vigna unguiculata* var. *sesquipedalis*. *Am. J. Bot.* 79 : 977-981.

INDERJIT and DAKSHINI K.M.M. (1995). On laboratory bioassays in allelopathy. *Bot. Rev.* 61 : 28-44.

INDERJIT and KEATING K.I. (1999). Allelopathy : principles, procedures, processes, and promises for biological control. *Advances in Agronomy* 67 : 142-231.

KATO-NOGUCHI H., KOSEMURA S., YAMAMURA S., MIZUTANI J. and HASEGAWA K. (1994). Allelopathy of oats. I. Assessment of allelopathic potential of extract of oat shoots and identification of an allelochemical. *Journal of Chemical Ecology* 20(2): 309-314.

LAKSHMINARAYANA K. and DUHAN J.S. (1992). Role of microorganisms in allelopathy. First National Symposium "Allelopathy in Agrosystems" (Agriculture & Forestry), CSS Haryana Agricultural University, HISAR-125 004, INDIA. p.9

LANCE C. (1995). Effets Allélopathiques des Exsudats Racinaires de *Calopogonium mucunoides*, Ecole Supérieure d'Agriculture de Purpan. CIRAD: 90 + annexes.

LAVELLE P (1999). The potential for management of earthworms communities in tropical agroecosystems. CAB – International, 680p

LAVELLE P. (1983). The soil fauna of tropical savannas. II-The earthworms. In : Bourlière F. (Eds.). *Tropical Savannas*. E.S.P.C., Amsterdam, Netherlands : 485-504.

LAVELLE P. and PASHANASI B. (1989). Soil macrofauna and land management in Peruvian Amazonia (Yurimaguas, Loreto). *Pedobiologia*, 33 : 283-291.

LAVELLE P., SCHAEFER R. and ZAIDI Z. (1989). Soil ingestion and growth in *Millsonia anomala*, a tropical earthworm, as influenced by the quality of the organic matter ingested. *Pedobiologia*, 33 : 379-388.

LEATHER G. R. (1983). "Sunflowers (*Helianthus annuus*) are allelopathic to weeds." *Weed Science* 31: 37-42.

LE BOURGEOIS T. et MERLIER H. (1995). Les adventices d'Afrique soudano-sahélienne. Montpellier, France, CIRAD-CA éditeur, 640p.

LOVETT J. V. and JESSOP R.S. (1982). Effects of Residues of Crop Plants on Germination and early Growth of Wheat. *Australian Journal of Agricultural Research* 33: 909-916.

MALLIK M. A. B. and TESFAI K. (1988). Allelopathic Effect of Common Weeds on Soybean Growth and Soybean-Bradyrhizobium symbiosis. *Plant and Soil* 112: 177-182.

MARTIN, P. and RADEMACHER B. (1960). Studies on the Mutual Influences of Weeds and Crops. *The Biology of Weeds*: 143-152.

MOLISCH H. (1937). Der Einfluss einer Pflanze auf die andere. Allelopathie. Fischer, Iena.

NIELSEN R.L., STUTHMAN D. D. and BARNES D.K. (1981). Interference between oats and alfalfa in mixed seedings. *Agronomy Journal* 73(4): 635-638.

PARKER C. et FRYER J.D. (1975). Lutte contre les mauvaises herbes occasionnant d'importantes réductions des ressources alimentaires mondiales. *Bulletin phytosanitaire de la FAO* 23(314).

PELLISSIER F. (1993). Allelopathic inhibition of spruce germination. *Acta Oecologica* 14(2) : 211-218.

PEREZ F. J. and ORMENO-NUNEZ J. (1991). "Root Exudates of Wild Oats: Allelopathic Effect on Spring Wheat." *Phytochemistry* 30(7): 2199-2202.

PERRET S., MICHELLON R., BOYER J. et TASSIN J. (1996). Soil rehabilitation and erosion control through agro-ecological practices on Reunion Island (French Overseas Territory, Indian Ocean). *Agriculture Ecosystems and Environment* 59 : 149-157.

PUTNAM A.R. and WESTON L.A. (1986). Adverse impact of allelopathy in agricultural systems. In "The Science of Allelopathy "edited by PUTNAM A.R. and TANG C.S. 43-57.

RICE, E. L. (1984). Allelopathy. London, Academic Press, INC.

SCHUMACHER W.J., THILL D.C. and LEE G.A. (1983). Allelopathic potential of wild oats : allelopathic potential of wild oat (*Avena fatua*) on spring wheat (*Triticum aestivum*) growth. *Journal of Chemical Ecology* 9(8): 1235-1245.

SEGUY L. et BOUZINAC S. (1999). La maîtrise de *Cyperus rotundus* par le semis direct en culture cotonnière au Brésil. Agriculture et Développement. Mars . 21 : 87-97.

SOLTNER D. (1988). Phytotechniques spéciales. Les grandes productions végétales. Collection Sciences et Techniques Agricoles.463p.

TANG C.H. (1986). Continuous trapping techniques for the study of allelochemicals from higher plants. In "the Science of Allelopathy" edited by Putnam A.R. and Tang C.S. Wiley-Interscience. 317p.

THIJS H., SHANN J.D. and WEIDENHAMER J.D. (1994). The effect of phytotoxins on competitive outcome in a model system. Ecology 75 : 1959-1964.

WEIDENHAMER J. D., HARTNETT D.C., ROMEO J.T (1989). Density-dependent phytotoxicity: Distinguishing resource competition and allelopathic interference in plants. J. Appl. Ecol. 26-613-624.

WESTON L. A. (1996). Utilization of Allelopathy for Weed Management in Agroecosystems. Agronomy Journal 88(6): 860-866.

WORSHAM A.D. (1991). Allelopathic cover crops to reduce herbicides input. Proc. South Weed Sci. Soc. 44 : 58-69.

ANNEXE 1 : LE MILIEU PHYSIQUE

1. L'ILE DE LA REUNION

I.1. Localisation

L'île de la Réunion se situe par 21°07 de latitude Sud et 55°32 de longitude Est, dans l'Océan Indien occidental, à 800 km de Madagascar et 200 km de l'île Maurice.

D'une superficie de 2510 km², elle possède une forme générale ovoïde dont le grand axe mesure 70 km et l'axe transverse 50 km. Elle est constituée par la partie émergée d'un stratovolcan intraplaque, établi à partir d'un fond océanique de -4000 m (Le Piton des Neiges).

I.2. Le milieu naturel

I.2.1. Relief

Entièrement volcanique, l'île est née de deux soulèvements principaux ayant abouti à la formation de deux massifs :

- Massif du Piton des Neiges (3069 m), entaillé par trois grands cirques aux remparts abrupts (Mafate, Salazie, Cilaos)
- Massif de la Fournaise (2632 m) dont le volcan est toujours en activité.

Son relief est donc très accidenté, avec des pentes importantes. L'érosion a creusé de nombreuses ravines, quelquefois très profondes sur tous les versants de l'île.

I.2.2. Le climat

L'île bénéficie d'un climat tropical à deux saisons marquées, dépendant pour l'essentiel de la position de l'anticyclone semi-permanent de l'Océan Indien.

- De mai à octobre, l'anticyclone remonte vers le Nord : c'est la saison fraîche, propice aux Alizés de sud-est et aux faibles précipitations,
- De novembre à avril, l'anticyclone est dans sa position la plus méridionale. Le régime des vents s'oriente alors nord-est, c'est la saison chaude ou cyclonique, à forte pluviométrie.

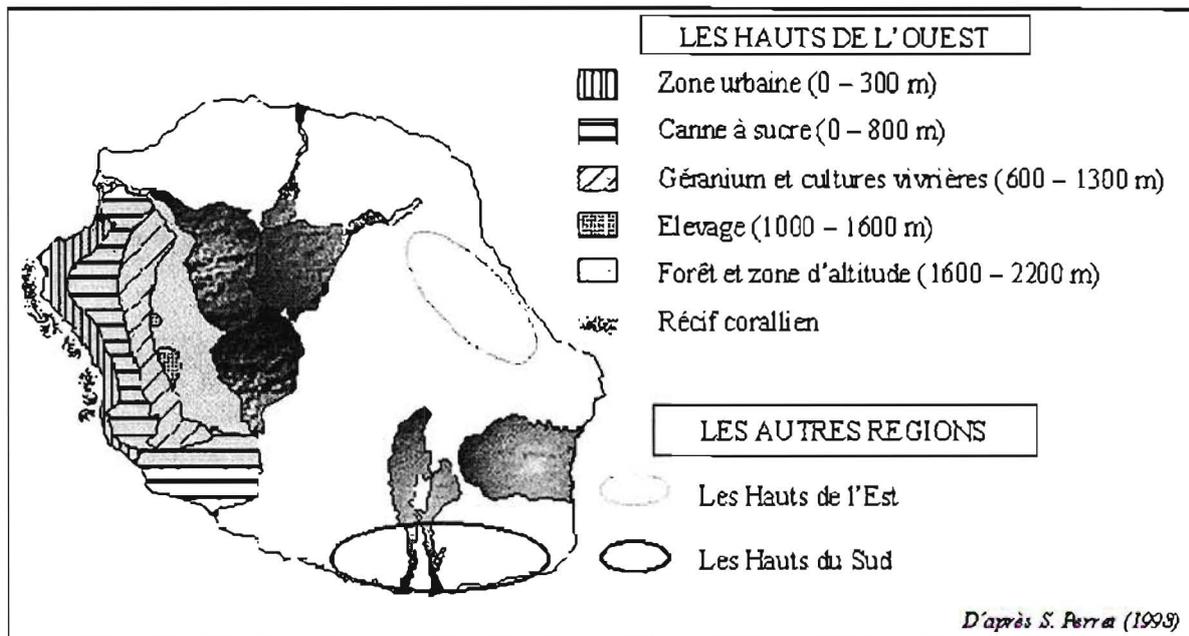
En faisant abstraction des nombreux microclimats engendrés par le relief montagneux, on peut découper l'île en deux régions climatiques de part et d'autre de l'axe montagneux :

- La région sous le vent : à l'ouest avec une pluviométrie faible (de 400 mm sur la côte à 1.5 m en altitude),
- La région au vent : à l'est, caractérisée par un climat tropical océanique à la pluviométrie annuelle forte (de 1,5 m sur le littoral à 10 m sur les hauteurs du nord-est et de l'est).

2. LES HAUTS DE L'OUEST

II.1. Localisation

Cette zone regroupe les terres au-dessus de 600 m entre Saint Paul et Saint Leu, soit une surface totale d'environ 20000 ha. On y trouve un étagement des cultures avec, de la plus faible altitude à la plus élevée, la zone de la canne à sucre, la zone du géranium et de diversification fruitière, maraîchère et de petit élevage, la zone de gros élevage bovin puis la forêt.



II.2. Le milieu naturel

II.2.1. Le relief

Le relief est assez homogène. La topographie est celle d'une pente forte (17%) inclinée vers l'océan. Dans le détail, le relief est plus irrégulier car il résulte de coulées de lave successives. De grandes ravines viennent entailler ce paysage.

II.2.2. Le climat

Les Hauts de l'ouest, situés dans la partie "sous le vent" de l'île, bénéficient de précipitations moins fortes que le reste des Hauts de l'île.

Le climat des Hauts est étagé en fonction de l'altitude : on observe un gradient négatif de la température (-0,7 pour 100 m) et à l'inverse un gradient positif des précipitations surtout marqué en période cyclonique.

Les 4 premiers mois de l'année connaissent les plus fortes précipitations atteignant en moyenne les deux tiers du total annuel.

La période de mai à octobre est généralement sèche avec une pluviométrie moyenne de 241 mm pour une évaporation potentielle d'environ 390 mm. Le déficit pluviométrique est généralement à son maximum début août. Cependant, les précipitations occultes locales (rosée, brouillard) difficilement mesurables, semblent représenter un apport important.

L'ensoleillement et les vents sont généralement faibles dans cette zone.

II.2.3. Les sols

La grande variabilité du climat et la diversité des apports volcaniques entraînent une différenciation importante des sols (carte pédologique de M. Raunet, 1988).

Dans les Hauts de l'ouest, les coulées de la phase IV du Piton des Neiges sont recouvertes d'un manteau cendré récent. Il s'agit, la plupart du temps, d'andosols formés sur des matériaux pyroclastes récents (cendres, scories, tufs). C'est l'évolution progressive physique et biochimique de ces cendres en fonction du climat et de l'altitude qui conditionne la répartition géographique des différents sols de la zone, d'où la toposéquence qui suit (Raunet, 1988) :

- 600 à 1300 m : andosols désaturés non perhydratés
- 1300 à 1600 m : andosols désaturés perhydratés
- 1600 à 1800 m : andosols désaturés podzoliques
- au delà : andosols vitriques ou podzoliques

Les sols des Hauts de l'ouest sont donc principalement constitués d'andosols désaturés non perhydratés ou perhydratés.

Ils ont souvent deux horizons distincts :

- Horizon A : de couleur brun foncé, de texture limoneuse, humifère
- Horizon B : de couleur beige, friable poreux, compact, de structure grossière. A sa base s'observe un horizon mince ferrugineux faisant transition avec la roche mère.

Caractéristiques des andosols

- sol épais non pierreux
- horizon cultural mince assez bien structuré
- horizon d'altération B massif et microporeux, occasionnant des difficultés de pénétration racinaire et présentant une faible conductivité hydraulique
- très forte sensibilité à l'érosion (faible perméabilité, pente souvent très forte de 10 à 20% en moyenne, microgranulation hydrophobe en surface)
- moyennement acides à acides
- fertilité relativement faible pour les andosols (blocage du phosphore) et intéressante pour les sols bruns andiques.

La culture continue en sol nu de plantes sarclées aboutit à la dégradation et au découpage de l'horizon humifère présent après la jachère arborée. Cette dégradation se traduit par une baisse des rendements et de l'état sanitaire des cultures, malgré un accroissement des intrants.

II.2.3.1. Minéralogie et microstructure

Les propriétés physico-chimiques et mécaniques des andosols sont fortement liées à la nature des constituants et à leur organisation en agrégats.

La matrice du matériau andique est principalement constituée de minéraux secondaires amorphes, regroupés sous le terme générique d'allophanes (Denaix, 1989).

Les andosols de la Réunion possèdent une micro-structuration "emboîtée" qui évolue avec le dessèchement. Cette microstructure emboîtée des andosols est réorganisée lors de la dessiccation poussée, et ceci de façon irréversible. (Perret, 1991).

II.2.3.2. Caractéristiques chimiques

- Matière organique et azote :

En surface (0-30 cm), le taux de matière organique est toujours très élevé, compris entre 10% et 20%. En conditions non cultivées le rapport C/N, de l'ordre de 17 à 18, est donc également très élevé. Le taux d'azote total est compris entre 2,8 et 7%. Sous culture, le C/N est de l'ordre de 11 à 13. Cette richesse en matière organique, qui paraît faiblement humifiée, est une caractéristique des andosols de la Réunion.

- PH :

Ces sols sont nettement acides. Le pH en surface (0-30 cm) est compris entre 5,0 et 5,3. En dessous de 30 cm, il se situe entre 4,6 et 5,0.

- Complexe adsorbant :

La capacité d'échange cationique (CEC) est peu élevée (6 à 8 meq/100 g de sol) liée essentiellement à la matière organique. Les silicates d'alumine amorphes ("allophanes") et les hydroxydes amorphes, qui se trouvent en grande quantité dans les andosols, développent des charges positives et sont donc responsables d'une grande capacité d'échange anionique (AEC) (Perret, 1991).

Cette AEC serait à l'origine de l'importante fixation du phosphore.

- Bases échangeables :

Les bases échangeables sur les complexes adsorbants sont en très faibles quantités.

- Phosphore :

Les andosols sont riches en phosphore total (1500 à 3000ppm) dans l'horizon supérieur, et le taux de phosphore assimilable est également élevé (150 à 400 ppm). Cependant, les produits amorphes chargés positivement sont responsables d'une forte rétention du phosphore.

II.2.3.2. Caractéristiques physiques

Les andosols présentent une faible densité apparente toujours nettement inférieure à 1 ($d_a = 0,8$ à $0,9$ dans A et $0,4$ à $0,6$ dans B). Ils se caractérisent par de fortes valeurs de porosité totale et de capacité de rétention en eau.

Cependant, au cours de la dessiccation, ces paramètres évoluent : la densité apparente augmente et inversement la porosité totale et le volume des vides diminuent fortement et de manière irréversible vers pF 3,8 à 4. Ces modifications importantes sont dues aux réorganisations microstructurales décrites précédemment et entraînent une baisse de capacité de rétention en eau (Raunet, 1991).

Du point de vue agronomique, la dessiccation des andosols entraîne donc une forte sensibilité à l'érosion. De plus, la réserve en eau utilisable par les plantes est relativement faible vu la microporosité de ce sol.

ANNEXE 2 : PROTOCOLE DU DISPOSITIF 1

I. OBJECTIFS

- Etude des effets d'une couverture d'avoine sur le développement des adventices,
- Etude des effets d'une couverture d'avoine sur la croissance et le développement d'une culture de maïs,
- Vérification de la nature (physique ou chimique) de la limitation de l'enherbement par une couverture d'avoine,
- Vérification d'un éventuel impact d'une couverture d'avoine sur la macrofaune du sol.

II. DISPOSITIF

II.1. Facteurs étudiés

Un seul facteur est étudié : la couverture du sol déclinée selon 5 traitements :

- maïs sur sol nu (SN1) sur lequel on laisse pousser les adventices = appréciation du potentiel infestant sous culture de maïs
- maïs sur sol nu régulièrement sarclé (SN2)
- maïs sur couverture inerte (CI)
- maïs sur paille d'avoine importée (AI)
- maïs sur paille d'avoine produite (AP)

II.2. Statistique

Le dispositif expérimental est le carré latin à 5 répétitions.

II.3. Parcelles

Les parcelles élémentaires font 3m x 4m , soit 12m².

III. TECHNIQUES CULTURALES

III.1. Avoine

- La parcelle est désherbée le 07/12/99 au glyphosate (480g/ha)
- Les résidus d'adventices des parcelles élémentaires AP sont enlevés manuellement.
- L'avoine est semée le 09/12/99 à la canne planteuse à raison de 100kg/ha de semences.
- Un raticide (Chlorophacinone, 2,5g/l) est appliqué le jour du semis de l'avoine ; un premier traitement fongicide Tébuconazole (250g/ha) est effectué le 27/12/99; un second le 10/01/00.
- La fertilisation est assurée par pulvérisation foliaire. Deux fertilisations sont effectuées : une première le 27/12/99 et une seconde le 10/01/00.

III.2. Préparation des couvertures

III.2.1. Couverture d'avoine

Sur les traitements AP, l'avoine est fauchée, pesée et homogénéisée pour obtenir 8 tonnes de matière sèche par hectare.

De même, sur les traitements AI, de la paille d'avoine produite par ailleurs est apportée à raison de 8 t/ha de matière sèche.

III.2.2. Couverture inerte

Afin de reconstituer une couverture du sol inerte, on utilise du polypropylène noir tissé perforé.

III.2.3. Sols nus

Les parcelles sont sarclées manuellement avant semis du maïs.

III.3. Maïs

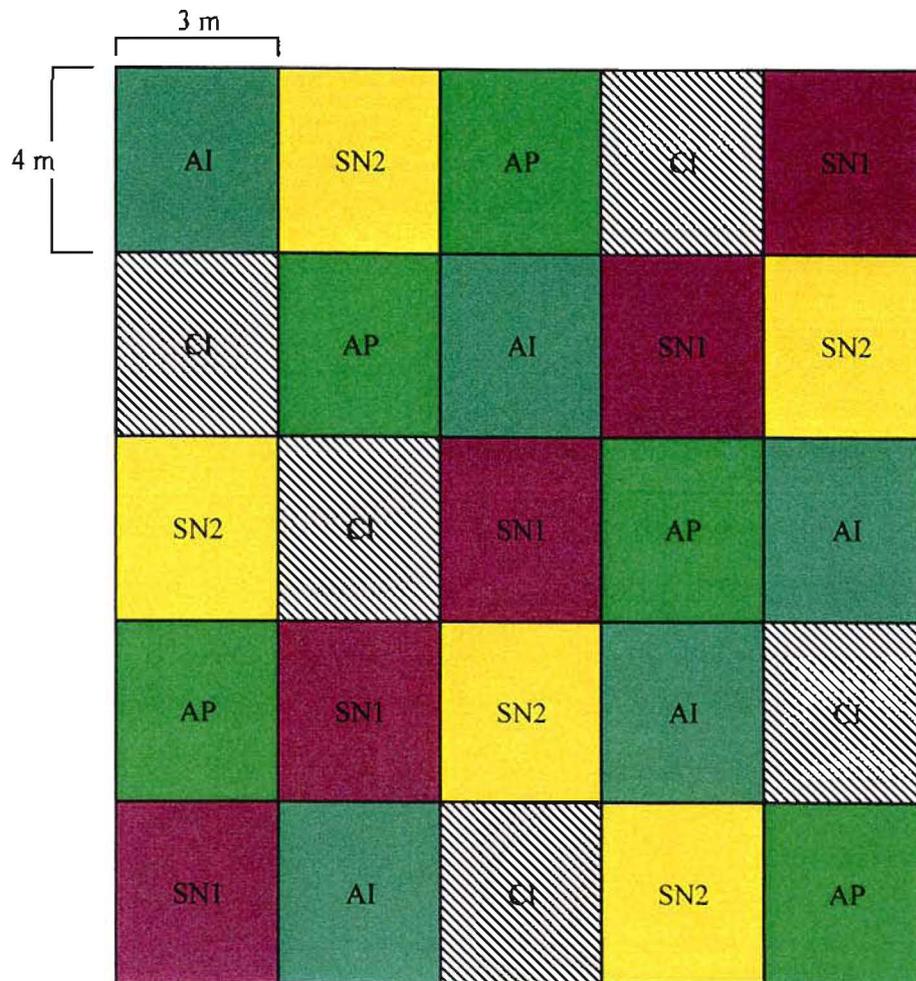
- Le semis de maïs est réalisé le 01/03/00 en poquets 0,20 m x 0,75 m à raison de 2 graines par poquet, soit 130000 graines par hectare.
- La protection phytosanitaire est assurée par :
 - anti-limace
 - Insecticide (Deltaméthrine 25g/l)
- Après la levée tous les poquets manquants sont remplacés.
- En raison du suivi de la macrofaune du sol, l'essai n'a pas été traité contre les ravageurs (borers). Le 6/04/00 le maïs, souffrant de carences minérales (Zn, P, Mn) et infesté par le borer rose (*Sesamia calamisti*) est arraché pour être de suite ressemé.
- Traitements phytosanitaires :
 - Avant le semis, les parcelles sont traitées au Carbofuran (600g/ha).
 - Les semences sont enrobées de Imidaclopride (1kg/q).
 - Un traitement au Chloropyriphos-éthy (375kg/ha) est appliqué 15 jours après le semis du maïs puis un mois après le premier traitement .
- Fertilisation :
 - Le 6/04/00, les lignes de semis sont fertilisées avec du phosphate d'ammoniac 18-46 (400kg/ha) ; ce traitement est renouvelé un mois après avec 200kg/ha.
 - Des oligoéléments (Fetrilon-Combi 2, 1KG/ha) sont appliqués le 21/04/00 et l'opération est renouvelée 20 jours après.
 - Le 25/05/00, on fertilise avec de l'azote uréique 46% (60kg/ha) et du sulfate de potasse 60% (100kg/ha).
- Le maïs est régulièrement arrosé à raison de 9 m³ d'eau par semaine (30 mm).

IV. OBSERVATIONS

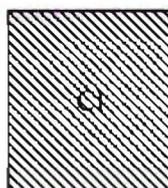
- Production de la paille d'avoine : pesée de la matière verte, mise à l'étuve pendant 48 heures à 105°C, et détermination de la matière sèche.
- Croissance et développement du maïs : mesure de la hauteur toutes les semaines et observations des cycles de développement (épiaison, floraison, maturité)
- Production de maïs : pesée de la biomasse totale aérienne produite (matière verte et matière sèche).
- Suivi de la macrofaune suivant la méthode TSBF à 3 stades :
 - avant l'essai
 - avant la fauche de l'avoine
 - après la récolte du maïs
- Observations de l'enherbement : toutes les semaines l'appréciation visuelle de l'enherbement total et par espèce est réalisée selon une échelle (de 1 à 9).

V. PLAN DE L'ESSAI

COCATRE - DISPOSITIF 1



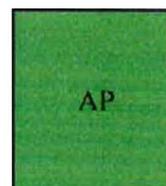
Dispositif en carré latin à 5 répétitions



CI maïs + couverture inerte



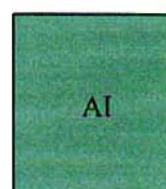
SN1 sol nu + maïs (pas de sarclage)



AP maïs + avoine produite



SN2 sol nu + maïs sarclé



AI maïs + avoine importée

ANNEXE 3 : PROTOCOLE DU DISPOSITIF 2

I. OBJECTIFS

Etude des effets d'une couverture d'avoine sur l'enherbement.
Etude de l'origine de l'inhibition de l'enherbement (racines et/ou paille d'avoine).

II. DISPOSITIF

II.1. Facteur étudié

Un seul facteur étudié : la couverture d'avoine déclinée en 4 traitements :

- * Avoine produite et laissée sur place (effets racines + paille) = TT
- * Avoine produite mais paille exportée (effets des racines seules) = Rac
- * Avoine importée (effets de la paille seule) = Pai
- * Témoin (sol nu) = To

II.2. Statistique

C'est un dispositif à 5 répétitions où les témoins sont adjacents et intercalés de manière aléatoire.

II.3. Parcelles

Les parcelles élémentaires font 3m x 3m, soit 9m².

III. TECHNIQUES CULTURALES

III.1. L'avoine

- La parcelle est désherbée le 24/02/00 au glyphosate (480g/ha).
- L'avoine est semée le 06/03/00 à la canne planteuse à raison de 100 kg/ha.
- Traitements phytosanitaires:
Un raticide, Chlorophacinone (2,5g/l) est mis le jour du semis
Anti limace,
Fongicide, Tébuconazole (250g/ha) selon les besoins
- Fertilisation
Elle est assurée avec de l'engrais 15-12-24 (300kg/ha) le 13/04/00.

III.2. Préparation des couvertures

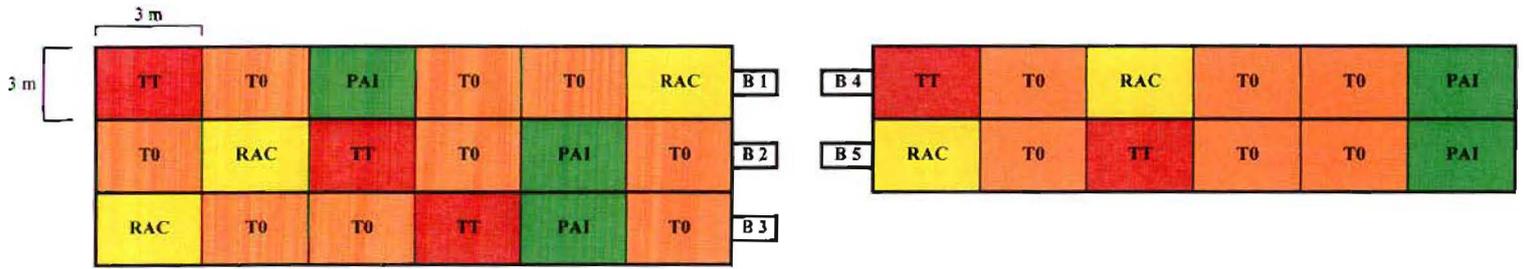
Sur les traitements TT et Rac, l'avoine est fauchée. Sur les parcelles TT, la biomasse verte est pesée et complétée si besoin est, de façon à obtenir 8 tonnes de matière sèche par hectare. Sur les traitements Rac, l'avoine est pesée, exportée sur les parcelles Pai et complétée pour obtenir 8 t MS/ha.

IV. OBSERVATIONS

- Production de paille d'avoine : pesée de la matière verte, mise à l'étuve pendant 48 heures à 105°C, et détermination de la matière sèche.
- Observations de l'enherbement : toutes les semaines l'appréciation visuelle de l'enherbement total et par espèce est réalisée selon une échelle (de 1 à 9). Le 3/07/00, la flore adventice est prélevée, identifiée et pesée (détermination de la matière fraîche et de la matière sèche).

V. PLAN

COCATRE - DISPOSITIF 2

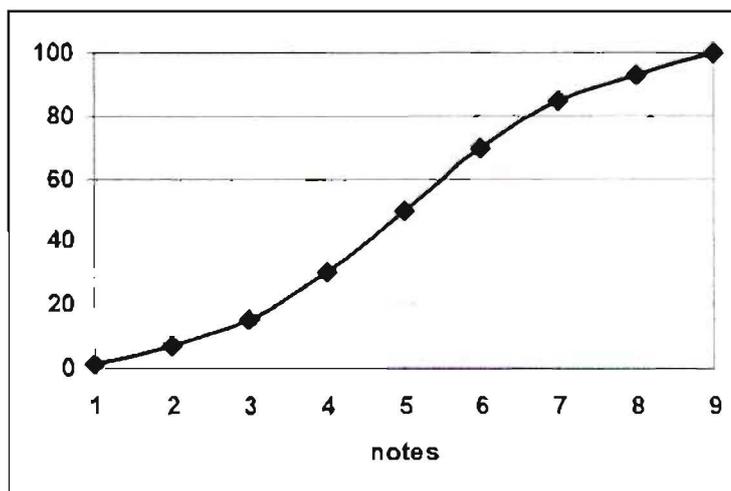


- T0 Témoin adjacent : sol nu
- RAC Avoine produite mais exportée : effet racinaire seul
- PAI Paille d'avoine importée : effet de la paille seule
- TT Avoine produite et conservée : effet de la paille et des racines

ANNEXE 4 : ECHELLE DE NOTATION DE L'ENHERBEMENT

(D'après P. Marnotte)

- ✓ pour le recouvrement des mauvaises herbes ^a,
- ✓ pour l'efficacité des herbicides ^b,
- ✓ pour la sélectivité des herbicides ^c.



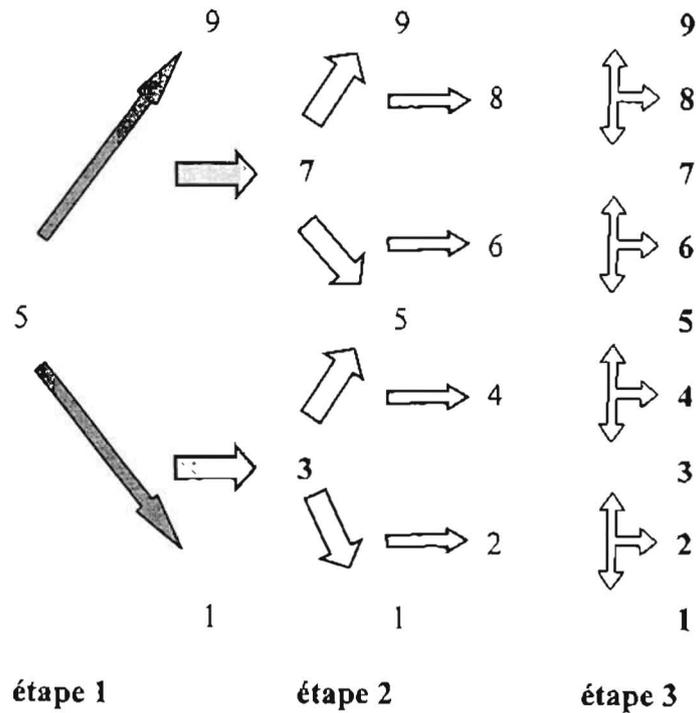
note	p.100	Recouvrement	Efficacité	Sélectivité
1	1	espèce présente, mais rare	aucune efficacité	aucun signe de phytotoxicité
2	7	moins d'un individu m ²	efficacité très faible	quelques taches, décolorations
3	15	au moins un individu m ²	efficacité peu marquée	taches nombreuses fortes décolorations
4	30	30 % de recouvrement	efficacité médiocre	30 % de perte par rapport au témoin
5	50	50 % de recouvrement	enherbement diminué de 50 %	50 % de perte par rapport au témoin
6	70	70 % de recouvrement	efficacité modérée	forte phytotoxicité 70 % de perte
7	85	recouvrement fort	efficacité acceptable	très forte phytotoxicité 85 % de perte
8	93	très peu de sol apparent	bonne efficacité	quelques pieds survivent plus de 90 % de perte
9	100	recouvrement total	efficacité parfaite	destruction totale des plantes

^aLe recouvrement est estimé en pourcentage par rapport au sol.

^bL'efficacité est estimée par comparaison du volume des organes aériens des mauvaises herbes sur la parcelle traitée par rapport à celle du témoin adjacent.

^cLa sélectivité du traitement est estimée par la comparaison de la phytotoxicité observée sur la plante cultivée de la parcelle traitée par rapport au développement de la culture sur le témoin non traité. La phytotoxicité peut se traduire par des mortalités de pieds, par des taches ou des jaunissements sur les feuilles, ou encore par des ralentissements de croissance.

Démarche de notation en trois étapes



Le choix s'opère pour une alternative à chaque étape :

- | | |
|----------------|---|
| étape 1 | par rapport à la note 5 (= 50%)
est-on à plus de 5 ou à moins de 5 ? |
| étape 2 | 2.1 plus de 5 ; on se situe par rapport à la note 7 (=85%)
est-on à plus de 7 ou à moins de 7 ?

2.2 moins de 5 ; on se situe par rapport à la note 3 (=15%)
est-on à plus de 3 ou à moins de 3 ? |
| étape 3 | 3.1 plus de 7 ; on se situe par rapport à la note 8 (=92%)
est-on à plus de 8 ou à moins de 8 ?
<div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> 9 ou 8 8 ou 7 </div>
3.2 moins de 7 ; on se situe par rapport à la note 6 (=70%)
est-on à plus de 6 ou à moins de 6 ?
<div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> 7 ou 6 6 ou 5 </div>
3.3 plus de 3 ; on se situe par rapport à la note 4 (=30%)
est-on à plus de 4 ou à moins de 4 ?
<div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> 5 ou 4 4 ou 3 </div>
3.4 moins de 3 ; on se situe par rapport à la note 2 (=7%)
est-on à plus de 2 ou à moins de 2 ?
<div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> 3 ou 2 2 ou 1 </div> |

ANNEXE 5 : SOLUTION MINERALE NUTRITIVE D'HOAGLAND POUR PLANTE ENTIERE

SOLUTIONS MERES

6 solutions mères : H1, H2, H3, H4, H5 et H6, préparées avec de l'eau distillée

- H1 : KNO₃ : 2,5 M** Potassium nitrate
- soit **252,5 g** de KNO₃ Par litre
- H2 : KH₂PO₄ : 0,5M** Potassium dihydrogénophosphate
- soit **68 g** de KH₂PO₄ par litre
- H3 : Ca(NO₃)₂ : 2,5 M** Calcium nitrate
- soit **590 g** de Ca(NO₃)₂.4H₂O par litre
- H4 : MgSO₄: 1 M** Magnésium sulfate
- soit **246 g** de MgSO₄.7 H₂O par litre
- H5 : Oligo-éléments** (Attention: quantités pour 4 litres de solution mère)
- H₃BO₃, acide borique : **3,380 g**
- MnSO₄, H₂O, manganèse sulfate : **3,360 g**
- ZnSO₄, 7 H₂O, zinc sulfate : **175,2 mg**
- (NH₄)₆MO₇(249 4 H₂O, Ammonium heptamolybdate : **73, 6 mg**
- CuSO₄, 5 H₂O, cuivre sulfate : **157, 6 mg**
- eau distillée qsp 4 000 ml
- H6 : Fer - Chélate de fer sodique de l'acide EDDHA à 6 % de fer Séquestrène solurapide de Ciba-Geigy : 5,83 g par litre**

SOLUTION PRETE A L'EMPLOI (Hoagland 1/1)

H1	2 ml	20 ml	100 ml
H2	2 ml	20 ml	100 ml
H3	2 ml	20 ml	100 ml
H4	2 ml	20 ml	100 ml
H5	2 ml	20 ml	100 ml
H6	8 ml	80 ml	400 ml
Eau déminéralisée qsp	1 litre	10 litres	50 litres

EMPLOI

La solution s'emploie à la concentration 1/1, comme engrais, une ou deux fois par semaine, sur des pots arrosés tous les jours avec de l'eau déminéralisée, à raison de 5 ml pour un tube de 100 ml de substrat solide. Pour mouiller un substrat sec comme un mélange sable+grain d'eau (S32), on emploie de la solution diluée au 1/8 ème, à raison de 50 ml d'Hoagland 1/8 pour 100 ml de substrat.

LA GOUTTE D'ENCRE

53 Place Thermidor 34000 Montpellier
Tel 04 67 65 30 96 Fax 04 67 65 89 23