

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ SAAD DAHLAB DE BLIDA
FACULTÉ DES SCIENCES AGRO-VÉTÉRINAIRES ET BIOLOGIQUES
DÉPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

Memoir de fin d'étude en vue de l'obtention
du diplôme de Master Académique en Sciences de la nature et de la vie
Option : Phytopharmacie appliquée

Evaluation de l'effet des fertilisants formulés sur
l'expansion foliaire de *Populus nigra* et sur la densité de
***Chaitophorus leucomelas* (Homoptera, Aphididae) dans la**
région de Boumedefâa
(W. Ain Defla)

Soutenu en décembre 2012
Présenté par : BELHAROUS Zoher

Devant le jury :

Mr SNOUSSI S .A	Professeur.	U.S.D.B	Président du jury
Mr. DJAZOULI Z.E.	M.C.A.	U.S.D.B.	Promoteur
Melle TCHAKER F.Z.	doctorante	U.S.D.B.	Co-Promotrice
M ^{me} . AMMAD F	M.A.A.	U.S.D.B.	Examinatrice
Mr MOUSSAOUI K	doctorant	U.S.D.B.	Examineur

ANNÉE UNIVERSITAIRE 2011/2012

Résumé

La sévérité causée par les pucerons (Homoptera: Aphididae), rend surtout nécessaire la mise au point de solutions alternatives s'appuyant sur le rôle des biofertilisants comme éliciteurs naturels dans la stimulation des défenses naturelles des plantes avec l'introduction de nouvelles formulations pour faire face aux bioagresseurs.

L'étude a porté sur l'effet comparé de deux fertilisants formulés (jus de lombricompost et un correcteur de carence à base d'oligo-éléments), avec un fertilisant homologué (extraits d'algues marines) sur l'expansion de la surface foliaire de *Populus nigra* et la structure populationnelle du puceron de peuplier noir *Chaitophorus leucomelas*, au niveau d'une jeune peupleraie dans la région de Boumedefâa (Wilaya de Ain Defla).

Les résultats de cette étude ont montré que tous les fertilisants expérimentés ont eu un effet contrasté sur l'expansion des surfaces foliaires et sur la densité de différentes formes biologiques (adultes et larves) de *Chaitophorus leucomelas*. Une meilleure efficacité sur les densités de *Chaitophorus leucomelas* est signalée pour le jus de lombricompost et le correcteur de carence suivi de l'algasmar. Les résultats laissent apparaître que l'efficacité des traitements sur l'expansion foliaire est certaine avec un meilleur effet pour le correcteur de carence et l'algasmar par rapport au jus de lombricompost. Sur le plan effet jumelé, le jus de lombricompost formulé affiche un meilleur effet en développant un effet SDN et augmentant la surface foliaire.

Mots clés

Algasmar, *Chaitophorus leucomelas*, correcteur de carence, Densité, fertilisants, jus de lombricompost, *Populus nigra*, surface foliaire.

ABSTRACT

Evaluation of the effect of plant protection biofertilisants made on *Chaitophorus leucomelas* (Homoptera, Aphididae) of black poplar (*Populus nigra*) in the region of Boumedefâa

Severity caused by aphids (Hemiptera: Aphididae), especially makes necessary the development of alternatives based on the role of natural biofertilisants as elicitors in stimulating the natural defenses of plants. With the introduction of new formulations to deal with pests.

The study compared the effect of two formulated fertilizers (vermicompost juice and a deficiency corrector based on trace elements) with a certified fertilizer (seaweed extracts) on the expansion of the surface leaf of *Populus nigra* and population structure of black poplar aphid *Chaitophorus leucomelas*, at a young poplar in the region Boumedefâa (Wilaya de Ain Defla).

The results of this study showed that all fertilizers tested had a mixed effect on the expansion of leaf area and density of different life forms (adults and larvae) of *Chaitophorus leucomelas*. Improved efficiency of densities is reported for *Chaitophorus leucomelas* juice vermicompost and correcting deficiency tracking algasmar. The results suggest that appear effective treatment of leaf expansion is certainly a better effect for correcting deficiency and algasmar from the juice of vermicompost. On the combined effect, the juice of vermicompost madea better display effect by developing a SDN effect and increasing the leaf surface.

Keywords:

Algasmar, *Chaitophorus leucomelas*, correction of deficiency, density, fertilizer, vermicompost juice, *Populus nigra*, leaf surface.

تقييم تأثير الأسمدة الطبيعية bioferilisants على مساحة أوراق الحور الأسود (حور الرمادية) و التركيبية
العشائرية لحشرات المن (*leucomelas Chaitophorus*) (Homoptera Aphididae)

ملخص:

الأضرار الناجمة عن حشرات المن (Aphididae)، تجعل من الضروري تطوير بدائل تستند على دور الأسمدة الطبيعية ك eliciteurs في تحفيز الدفاعات الطبيعية للنباتات. مع إدماج صيغ حديثة للتعامل مع الآفات.

تمحورت دراستنا حول مقارنة تأثير اثنين من الأسمدة المركبة (عصير الديدان المركب ومصحح النقص) مع السماد المعتمد (مستخلص الأعشاب البحرية) على زيادة مساحة أوراق الصفصاف و التركيبية العشائرية لحشرات المن *Chaitophorus leucomelas* على مستوى شجيرات الحور الشابة بمنطقة بومدفع، ولاية عين الدفلى .

أثبتت نتائج هذه الدراسة أن جميع الأسمدة المختبرة لها تأثير مختلف على زيادة مساحة أوراق الصفصاف وكثافة أشكال الحياة المختلفة (البالغين واليرقات) لحشرات المن (*Chaitophorus leucomelas*).

فعالية معتبرة على كثافة حشرات المن مسجلة بالنسبة لعصير الديدان و مصحح النقص تتبع بمستخلص النباتات البحرية. أظهرت النتائج أن فعالية العلاج على زيادة مساحة الأوراق مؤكدة مع تأثير فعال للمصحح و مستخلص النباتات البحرية مقارنة بعصير الديدان.

إن عصير الديدان المركب كانت له فعالية ملحوظة بتطوير تأثير SDN (منشطات الدفاع الطبيعي) وزيادة حجم مساحة الأوراق الصفصاف.

كلمات البحث :

Chaitophorus leucomelas، Algasmr، تصحيح، نقص الكثافة، مساحة الورقة ، عصير الديدان المركب ، حور.

Remerciements

Je pense avoir toujours été, depuis ma plus tendre enfance, intrigué par mon environnement, par les animaux de toutes tailles et les plantes, pour tout ce qui avait un semblant de naturel ou de sauvage. J'ai toujours aimé mettre les mains dans la terre, jouer avec les insectes, observer les fleurs, comprendre le pourquoi du comment. Ce mémoire est une œuvre collective, qui relie les amoureux de la science, les passionnés de la nature, les aventuriers du terrain, les volontés écologiques et les empêcheurs de stagner.... Merci à tous pour votre contribution.

Je tiens à remercier dieu de m'avoir donné la chance, l'opportunité et le courage de reprendre les études 18 ans après la soutenance de mon ingénieur.

J'exprime ma profonde gratitude à Mme le Professeur BENRIMA Atika qui m'a accueillie au sein de son option Phytopharmacie appliquée.

Le grand merci au Dr DJAZOULI Zahr-Eddine qui s'est investi 100% dans ce mémoire et qui a assuré l'essentiel de mon encadrement scientifique. Il s'est toujours rendu disponible pour me conseiller et m'aider dans chacune des étapes d'expérimentation, d'analyse des résultats ou de rédaction de mon travail. Je le remercie de m'avoir permis de travailler avec lui et de m'avoir toujours accordé sa confiance. Il m'a offert la possibilité de me faire une expérience très enrichissante au travers de nos discussions autour d'une tasse de café !, de son aide à la réflexion, de la pertinence de ses remarques et de son esprit analytique.

Je remercie Mlle TCHAKER Fatma-Zohra, ma co-promotrice pour sa disponibilité, et tout le temps qu'elle m'a accordé pour la réalisation de ce mémoire, ces aides précieuses en me faisant partager son expérience et sa passion pour la science. Je souhaite te remercier pour ton soutien durant toute la période de recherche.

Je souhaite remercier chacun des membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail de thèse. Merci d'une part au Professeur SNOUSSI Sid Ahmed d'avoir accepté de présider ce jury et d'autre part à Mme AMMAD Faiza et Mr MOUSSAOUI Kamel de m'avoir fait l'honneur d'examiner le travail.

D'autres scientifiques m'ont apporté de précieux conseils, notamment pour leur contribution à l'élaboration de la thématique. Je souhaite exprimer toute ma gratitude à Dr MERAH Othmane et Dr ZEBIB Bachar, de l'université Paul Sabatier de Toulouse et surtout de leur collaboration scientifique avec notre laboratoire de zoologie.

Gratitudes à mes parents pour m'avoir suivi dans l'inconnu, pour m'avoir soutenu et pour m'aimer autant. Votre bienveillance permanente et votre amour inconditionnel sont mes joyaux.

Gratitudes à ma sœur et mes frères pour leurs soutiens et encouragements.

Merci à ma femme et mes enfants pour leurs compréhensions sauf, le petit Mohamed Amir !!! qui n'a pas cessé de me déranger pendant que je travaillais à la maison.

Je tiens à remercier les côtoyant du labo de zoologie à leur tête Amina et mes collègues de la promotion.

Enfin, un petit coucou aux doctorants et aux enseignants que j'ai côtoyés depuis mon arrivée au laboratoire.

Encore merci à tous...

DEDICACES

À mes parents,

À ma sœur et frères,

À ma femme et mes enfants,

À mon promoteur,

Que ce mémoire soit le témoignage de toute ma reconnaissance et ma gratitude.

.... Zcher

SOMMAIRE

INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
CHAPITRE 1 : Synthèse bibliographique.....	4
1. Présentation Générale du Peuplier.....	4
1.2. Répartition et intérêt écologique.....	4
1.3. Biologie du peuplier.....	4
2. Le Puceron du Peuplier <i>Chaitophorus leucomelas</i>	7
2.1. Position systématique.....	7
2.2. Répartition géographique.....	8
2.3. Cycle de vie.....	8
2.4. Biologie.....	9
2.5. Dégâts causés par les pucerons.....	10
2.6. Lutte contre les pucerons.....	11
3. Evolution des associations plante-insecte phytophage.....	11
3.1. La spéciation sympatrique chez les insectes phytophages.....	11
3.2. Coévolution.....	12
3.3. Changement d'hôte.....	13
3.4. L'association Plante-Puceron.....	14
4. Biofertilisants.....	14
4.1. Lombriculture, principe et importance.....	15
4.2. La fertilisation foliaire.....	16
5. Les défenses naturelles des plantes SDN.....	19
5.1. Mécanismes généraux.....	19
5.2. Mécanismes moléculaires.....	20
CHAPITRE 2 : Matériel et méthodes.....	22
1. Objectif.....	24
2. Présentation de la région d'étude.....	24
2.1. Situation géographique.....	24
2.2. Climat de la région d'étude.....	24
3. Présentation du site d'étude.....	25
4. Matériel d'étude.....	26
4.1. Matériel biologique.....	26
4.2. Fertilisants utilisés.....	26
5. Méthodes d'étude.....	27
6. Dispositif expérimental et application des traitements.....	28
7. Techniques des prélèvements et d'évaluation.....	30
7.1 Calcul de la surface foliaire.....	30
7.2 Calcul de la densité des pucerons.....	30
8. Evaluation des populations résiduelles de <i>Chaitophorus leucomelas</i>	30
9. Analyses statistiques.....	31
9.1 Analyses de variance.....	31

9.2	Analyses multivariées.....	31
9.3	Corrélations-régressions.....	31
CHAPITRE 3 : Résultats.....		33
1.	Effet des différents fertilisants sur la densité des populations de <i>Chaitophorus leucomelas</i>	33
1.1	Evolution temporelle de la densité des formes biologiques de <i>Chaitophorus leucomelas</i> sous l'effet de différents fertilisants.....	33
1.2	Evaluation de l'effet des différents fertilisants sur la densité des formes biologiques de <i>Chaitophorus leucomelas</i>	35
1.3	Etude comparée de l'effet des différents fertilisants sur les différentes formes biologiques de <i>Chaitophorus leucomelas</i>	37
2.	Effet des différents fertilisants sur les populations résiduelles de <i>Chaitophorus leucomelas</i>	38
2.1	Evolution temporelle des populations résiduelles de <i>Chaitophorus leucomelas</i> sous l'effet de différents fertilisants.....	38
2.2	Evaluation de l'effet de différents fertilisants sur les populations résiduelles de <i>Chaitophorus leucomelas</i>	39
2.3	Etude comparée de l'effet de différents fertilisants sur les populations résiduelles de <i>Chaitophorus leucomelas</i>	40
3.	Effet de différents fertilisants sur l'expansion de la surface foliaire de <i>Populus nigra</i>	41
3.1	Evolution temporelle des surfaces foliaires de <i>Populus nigra</i>	41
3.2	Evaluation de l'effet de différents fertilisants sur la surface foliaire de <i>Populus nigra</i>	42
3.3	Etude comparée de l'effet de différents fertilisants sur la surface foliaire de <i>Populus nigra</i>	43
4.	Interaction densités larvaires de <i>Chaitophorus leucomelas</i> et évolution des surfaces foliaires sous l'effet de différents fertilisants.....	46
CHAPITRE 4: Discussion générale.....		49
CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.....		55
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....		57
ANNEXE.....		74

Liste des figures

Figure 1	Présentation générale du peuplier noir.....	6
Figure 2	Cycle évolutif de <i>Chaitophorus leucomelas</i>	9
Figure 3	Localisation géographique de la plaine de la Mitidja.....	24
Figure 4	Présentation du site d'étude.....	25
Figure 5	Arbres du peuplier noir choisis pour l'expérimentation.....	26
Figure 6	Fondatrigenes adultes aptères et larves de <i>Chaitophorus leucomelas</i>	27
Figure 7	Schéma récapitulatif des traitements appliqués.....	28
Figure 8	Localisation des essences retenues pour l'application des fertilisants.....	29
Figure 9	Forme géométrique de la feuille du peuplier noir.....	30
Figure 10	Evolution temporelle des densités de <i>Chaitophorus leucomelas</i> sous l'effet de différents fertilisants.....	34
Figure 11	Projection des densités de <i>Chaitophorus leucomelas</i> sur les deux axes de l'ACP.....	36
Figure 12	Effet des différents fertilisants sur les différentes formes biologiques de <i>Chaitophorus leucomelas</i>	37
Figure 13	Evolution temporelle des populations résiduelles de <i>Chaitophorus leucomelas</i> sous l'effet de différents fertilisants.....	39
Figure 14	Projection des populations résiduelles de <i>Chaitophorus leucomelas</i> sur les deux axes de l'A.C.P.....	40
Figure 15	Efficacité comparée des fertilisants sur les populations résiduelles de <i>Chaitophorus leucomelas</i>	41
Figure 16	Evolution temporelle des surfaces foliaires de <i>Populus nigra</i>	42
Figure 17	La projection des surfaces foliaires de <i>Populus nigra</i> sur les deux axes de l'ACP.....	43
Figure 18	Effet des différents fertilisants sur la surface foliaire de <i>Populus nigra</i>	44
Figure 19	Effet temporel des différents fertilisants sur la surface foliaire de <i>Populus nigra</i>	45
Figure 20	Interaction densités larvaires de <i>Chaitophorus leucomelas</i> et évolution des surfaces foliaires sous l'effet des différents fertilisants.....	47
Figure 21	Principe de protection des plantes contre différents stress par potentialisation des réponses de défense.....	51

Liste des tableaux

Tableau 1	Résultats du modèle G.L.M. appliqué à l'effet temporel des fertilisant sur les formes biologiques de <i>Chaitophorus leucomelas</i>	37
Tableau 2	Résultats du modèle ANOVA. appliqué à l'effet temporel des fertilisant sur les formes biologiques de <i>Chaitophorus leucomelas</i>	38
Tableau 3	Résultats du modèle ANOVA. appliqué à l'effet temporel des fertilisant sur les populations résiduelles de <i>Chaitophorus leucomelas</i>	41
Tableau 4	Résultats du modèle ANOVA appliqué à l'effet temporel des fertilisants sur la surface foliaire de <i>Populus nigra</i>	43

Introduction générale

Nous devons travailler pour une agriculture performante, diversifiée, économe, propre, à haute valeur ajoutée biologique, parfaitement intégrée dans un complexe agro-industriel dynamique et novateur.

Jaques poly.

Introduction

Depuis que l'homme pratique l'agriculture, il a été confronté aux ravageurs et aux maladies s'attaquant aux récoltes et il a cherché, avec les connaissances de son époque, à s'en protéger y compris en ayant recours à l'arsenal religieux. Selon l'observatoire des résidus de pesticides, le premier produit chimique fut le soufre dont l'usage remonterait à 1 000 ans avant J.-C. De même Pline recommande l'arsenic dès le premier siècle, alors que les effets insecticides du tabac ne sont connus en Chine qu'au XVIe siècle. Avec les progrès de la chimie minérale au XIXe siècle apparaissent des fongicides comme la bouillie bordelaise mais aussi un insecticide « biologique » : la poudre de fleurs de pyrèthre. Au milieu du XXe siècle la chimie organique prend le relai produisant massivement le DDT pour lutter contre les moustiques porteurs de malaria ou encore pour préserver les pommes de terre des ravages du doryphore. L'usage de ces produits a été perçu comme un progrès considérable pour la maîtrise des ressources alimentaires et l'amélioration de la santé publique. Les experts estiment que l'augmentation des rendements agricoles a ainsi permis de limiter la déforestation tout en améliorant la qualité de l'alimentation notamment du point de vue des champignons parasites. Mais le revers de la médaille est apparu rapidement avec des effets négatifs sur les écosystèmes et sur la santé humaine en cas d'exposition prolongée à de telles substances chimiques. En ce début du XXIe siècle, l'opinion publique retient surtout les aspects négatifs des pesticides. Mais pour répondre aux besoins alimentaires d'une population mondiale sans cesse croissante, une protection des cultures efficace est indispensable. C'est le défi que tente de relever le bio-contrôle : protéger sans nuire à la santé et à l'environnement.

Les pucerons ont une capacité de multiplication très élevée en condition optimale et connaissent parfois de véritables explosions démographiques. En fonction des conditions du milieu, ils ont la faculté de produire des formes résidentes aptères et des formes ailées leur permettant de se disperser sur de longues distances. Toutes ces caractéristiques en font d'importants ravageurs directs de cultures, provoquant le rabougrissement des plantes et des déformations, et de redoutables vecteurs de virus de plantes, provoquant des maladies. Des moyens de lutte contre les pucerons ont été développés : lutte chimique, lutte biologique, lutte intégrée. (Girousse et *al.* 2005; Pegadaraju et *al.* 2005).

Dans le cadre de la recherche sur de nouveaux procédés en phyto-protection et de la lutte biologique, une autre approche faisant appel à l'utilisation de molécules naturelles appelées biofertilisants est envisageable. La biofertilisation foliaire offre une certaine éventualité de bio-protection par, l'utilisation de nouvelles formulations des stimulateurs de défenses naturelles.

Ce travail de mémoire se situe dans ce contexte général et vise à favoriser une réduction des traitements aphicides des cultures par une biofertilisation foliaire équilibrée donnant ainsi, à la plante les moyens de se défendre d'elle-même.

L'objectif de notre recherche est d'évaluer l'impact des biofertilisants foliaires formulés sur le développement de peuplier noir *Populus nigra* (expansion de la surface foliaire) et ses retombées sur la structuration populationnelle des fondatrigenes du puceron du peuplier noir *Chaitophorus leucomelas*. Et pour cela nous avons essayé de répondre à la problématique suivante

1. Quel serait l'intérêt de la formulation des produits biologiques ?
2. Quel serait l'effet des apports foliaires des fertilisants sur :
 - L'expansion de la surface foliaire du peuplier noir ?
 - L'abondance et la densité du puceron du peuplier *Chaitophorus leucomelas* ?
 - La reprise biocénotique de *Chaitophorus leucomelas*. ?
3. Existe-t-il un lien entre les apports de fertilisants et la stimulation des défenses naturelles des plantes ?

Chapitre 1

Synthèse bibliographique

« Il apparaît à l'évidence que tout homme plongé dans la Science subit une poussée de bas en haut susceptible de lui remonter le moral. »

Pierre Desproges, *Vivons heureux en attendant la mort*

CHAPITRE 1 : Synthèse bibliographique

1. Présentation générale du peuplier noir

Essence de production par excellence, le peuplier revêt une importance économique non négligeable. L'intérêt du peuplier est de plus en plus révélé au niveau mondial. En effet il s'agit d'une essence à croissance rapide, qui peut contribuer à combler le déficit mondial en bois. Cet intérêt est clairement manifesté par le simple fait qu'à l'heure actuelle 37 pays différents, représentant les cinq continents, sont devenus membres de la Commission Internationale du peuplier (Breton, 2000). On note deux géants dans le peuplier planté à vocation de production du bois: la Chine avec 2 M ha et l'Inde avec 1 M ha. Viennent ensuite la France (220 000 ha), la Hongrie (160 000 ha), la Roumanie (160 000 ha), la Turquie (130 000 ha) et l'Italie (120 000 ha) puis dans l'ordre décroissant : l'Espagne, l'Argentine, l'Allemagne, la Belgique, la Russie, et le Canada. Les principaux pays exportateurs sont: la France, la Belgique, la Roumanie et l'Espagne (FAO, 2004).

1.2. Répartition et intérêt écologique

L'aire de distribution potentielle du peuplier noir s'étend de l'Europe de l'Ouest à l'extrémité Ouest de la Chine en passant par une étroite frange Nord-Africaine. ; *Populus.Nigra* est l'espèce dominante de la ripisylve et contribue fortement à la biodiversité remarquable que l'on peut rencontrer dans ces zones (*Populus. nigra* est également reconnu pour son rôle épurateur important dans l'amélioration de la qualité des eaux, notamment grâce à un système racinaire très développé qui joue le rôle de filtre naturel en piégeant certains polluants comme les phosphates et les nitrates d'origines agricole ou urbaine. Selon l'importance de la ripisylve (notamment sa largeur), la fonction épuratrice peut représenter de 37% à 100% de réduction de la charge en azote (Ruffinoni *et al*, 2003). En plus de ce rôle épurateur, le système racinaire du peuplier noir est un facteur déterminant dans la cohésion et la fixation des matériaux alluvionnaires. Ce complexe 'alluvions-système racinaire' est indispensable pour la protection et le maintien des berges vis-à-vis de l'érosion et donc crucial pour le maintien de la ripisylve (Brinkman, 1974 ; Foussadier, 2003 ; Rodrigues *et al*, 2007).

1.3. Biologie du peuplier

1.3.1. Taxonomie et chorologie

Les peupliers, genre *Populus*, appartiennent à la famille des Salicacées, qui fait partie de l'ordre des Salicales du groupe des Amentiflores. Ce groupe se range dans la sous classe des Monochlamidae, classe des Dicotylidoneae, sous division des Angiospermae, et division des Phanerogamae (Gausson *et al*, 1982). Le genre

Populus renferme 39 espèces (Chardenon, 1980) groupées en 6 sections dont la répartition et l'intérêt économique sont inégaux. *Populus nigra* : appelé peuplier noir, son aire comprend la partie eurasiatique de celle de la section, il est abondant en particulier au Moyen-Orient (Figure 1)

1.3.2. Description botanique

La tige peut être rectiligne verticale ou légèrement inclinée, peut être flexueuse et dans ce cas présenter un seul arc de grand rayon ou au contraire plusieurs courbures successives (Chardenon, 1982). Dans la plus part des cas ces fluctuations sont dues au fait que le peuplier est très sensible au phototropisme (Barnéoud *et al*, 1983).

Lorsqu'elles sont situées à l'extrémité supérieure du peuplier, les branches sont vigoureuses et à élévation rapide. Plus bas elles sont en générale plus fines, moins rectilignes, leur croissance est lente et limitée (Dupré, 2004). La section des rameaux vigoureux est selon les espèces et cultivars, ronde, ailée ou cannelée. Les faibles branches ont toujours une section circulaire ou légèrement anguleuse (Chardenon, 1982).

L'écorce varie considérablement d'un cultivar à l'autre et selon les milieux. La forme des lenticelles est en général ovoïde plus au moins élargie avec quelques fois un aspect de parenthèses. Dans la partie inférieure du tronc les lenticelles sont plus larges suite à la croissance en diamètre. Chez certains cultivars on rencontre des formations punctiformes ou ressemblant à des tirets verticaux, elles donnent à l'écorce une couleur blanchâtre (Barnéoud *et al*, 1983). Le développement des racines des peupliers dépend essentiellement de la nature du sol et de la profondeur de la nappe d'eau. Dans les sols limoneux des plateaux, la plus grande part des racines se trouve entre 20 à 40 cm de profondeur. Dans un sol profond les divers peupliers disposent leurs racines sur plusieurs étages. Dans un terrain où la nappe d'eau est loin de la surface du sol (2 m et plus), il se forme alors deux types de racines horizontales et verticales (Gama et Dumas, 1995).

La feuille est caduque, simple est longuement pétiolée avec des marges souvent dentées. Sa forme est très variable, elle peut être ovoïde étroite ou lancéolée, ovoïde large, orbiculaire, deltoïde losangique, cordiforme. La longueur totale de la feuille peut aller de 5 à 35cm, sa largeur de 3 à 30 cm, la longueur du pétiole de quelques millimètres à 15 cm (Gaussen *et al*, 1982). L'observation des feuilles est le meilleur outil pour la distinction entre les différents cultivars et clones. Les critères les plus étudiés sont la largeur et la section du pétiole, la base et les joues du limbe, la nervation, les stomates et la date d'apparition et de chute (Chardenon, 1982) les organes floraux des salicacées sont normalement dioïques, les fleurs mâles et les fleurs femelles sont portées par des arbres différents. Les fleurs sont groupées en chatons. Les chatons mâles sont rouges plus au moins foncés et pendants. La fleur

est constituée d'un disque où sont insérées des étamines en nombre variable suivant les espèces.

La pollinisation est anémophile. Les chatons femelles sont le plus souvent vert clair ou vert blanchâtre, la forme du réceptacle est la même que chez la fleur mâle. Les stigmates sont globuleux en forme d'aile (Barnéoud *et al*, 1983). La date d'apparition des fleurs est un caractère distinctif des clones. Il s'agit toujours de dates relatives (Legionnet *et al*, 1997).

Les fruits: le fruit est une capsule loculicide qui dérive de deux carpelles ouverts soudés par leur bord et contenant de nombreuses graines poilues (Barnéoud *et al*, 1983). Le nombre des valves par les quelles s'ouvrent les fruits a une valeur de classification. Il peut y avoir 2, 3 ou 4 valves. Les capsules sont à 2 et 3 valves ou bien à 3 et 4 ou encore, à 2, 3 et 4 (Chardenon, 1982).

Plusieurs auteurs (Wurtz, 1955 ; Tremoliere et Carbinier, 1981 et 1982) ont montré l'effet toxique des extraits de feuilles mortes de *Populus nigra*. En effet, leur extrait contient des esters de l'acide caféique ainsi qu'un taux élevé d'hydrocarbures (pentacosane, heptacosane et nonacosane)



Figure 1 : Présentation générale du peuplier noir (Chardenon, 1982)

(a) Aspect de l'arbre de *Populus nigra*, (b) : Aspect des feuilles de *Populus nigra*

1.3.3. Cycle de régénération

Le peuplier noir est une espèce longévive, dioïque, fonctionnant en méta-population et atteignant la maturité sexuelle à partir de 5-6 ans (Zsuffa, 1974). Chez les arbres dits 'anémogames' comme le peuplier noir, le pollen est produit en grande quantité puis transporté par le vent jusqu'aux fleurs femelles au cours des mois de mars et avril. La distance parcourue par le pollen est difficile à évaluer, mais elle peut atteindre vraisemblablement plusieurs centaines de mètres voire plusieurs kilomètres (Rathmacher *et al.*, 2010). Six à huit semaines après fécondation débute la dissémination des graines qui selon la littérature ne constitue pas un facteur limitant pour le recrutement de l'espèce (Bessey, 1904 ; Engstrom, 1948 ; Walker *et al.*, 1986 ; Virginillo *et al.* 1991, Van Splunder *et al.* 1995). Les fruits, des capsules ovoïdes à deux valves, libèrent les graines entourées d'un coton hydrophobe de fin avril à mi-juillet (Zsuffa, 1974), ce dernier permettant une meilleure dispersion par le vent et une meilleure flottabilité lorsque la graine tombe sur les cours d'eau.

A ce jour, la part respective du transport réalisé par le vent ou par l'eau est difficile à quantifier, tant elle dépend d'une multitude de facteurs climatiques (direction et force du vent), géomorphologiques (topographie et largeur du cours d'eau), hydrologiques (vitesse d'écoulement du cours d'eau) ou encore écologiques (densité de peupliers au sein de la ripisylve, hauteur des arbres, volume du houppier).

Le succès de la germination est lié à la concordance temporelle entre la dispersion des graines et l'existence de sites favorables mis à nus par les crues (substrats humides et sans végétation concurrente) (Noble, 1979 ; Mc Bride et Strahan, 1984 ; Bradley et Smith, 1986 ; Walker *et al.*, 1986 ; Van Splunder *et al.*, 1995, Shafroth *et al.*, 1998). Les graines ne peuvent en effet germer que sur des sédiments frais, mobilisés par la dynamique fluviale pendant les crues et apparaissant suite à l'abaissement du niveau de la nappe au printemps. Cette étape de germination, allant de quelques heures à quelques jours, intervient de mai à juillet selon la phénologie de libération des graines des individus femelles.

2. Le puceron du peuplier noir «*Chaitophorus leucomelas* Koch (1854)»

2.1. Position systématique

Les pucerons appartiennent à l'ordre des Hémiptères, sous-ordre des Homoptères, au même titre que les Cicadelles, les Psylles, les Aleurodes et les Cochenilles (Blackman et Eastop, 2000). Si on dénombre environ 4000 à 5000 espèces de pucerons à travers le monde, la grande majorité se répartit essentiellement dans les régions tempérées du globe (Dixon, 1987). Au cours de leur cycle de développement les pucerons pouvant se développer sur un même type d'hôte sont dits

monoéciques. Dans de nombreux cas, leur développement nécessite une alternance d'hôtes et les pucerons sont alors dits hétéroéciques.

C'est notamment le cas des pucerons qui s'attaquent aux cultures annuelles (Blackman et Eastop, 2000)

D'après Grassé (1957 et 1970), le puceron du peuplier appartient à la sous-classe des Ptérygotes, super-ordre des Hemipteroïdea, ordre des Homoptera, sous-ordre des Aphidinea, super famille des Aphidoidea, famille des Aphididae, sous famille des Chaitophorinae, genre *Chaitophorus*, et espèce *Chaitophorus leucomelas*.

2.2. Répartition géographique

Dans le monde, on estime que ce genre est d'une origine holarctique, l'espèce est largement répartie en Europe, bien qu'avec des degrés distincts de présence, elle est commune dans certains pays comme la Grande-Bretagne, la Suède, la Norvège, au sud du Portugal, en Espagne en Yougoslavie, en Bulgarie et en Turquie (Ankara) et rare au nord de l'Allemagne (Richards, 1972). En Asie, l'espèce est signalée en Iran (Karadj), en Sibérie de l'est, Mongolie, au centre de l'Asie et au Proche Orient (Heie, 1982), Elle a été introduite en Afrique et en Amérique, où elle se trouve largement répartie au Canada et aux Etats-Unis (Blackman et Eastop, 1994), mais elle s'est implantée au Chili et en Argentine en 2001. (Muñoz et Beéche, 1995).

Au Chili, cette espèce est fréquente dans la Région Métropolitaine (Santiago) et dans la Région, limitrophe avec Mendoza 320 Km au nord de la capitale (Klein et Waterhouse, 2000). Et en Tunisie dans la région de Soliman (Boukhris-Bouhachem *et al*, 2007).

En Algérie, l'espèce est signalée dans la région de Blida (Djazouli, 1992), et la région de Zéralda (Diallo, 2007) , la région de Médéa (Zahraoui, 2010)

2.3. Cycle de vie

Chaitophorus leucomelas Koch (1984) colonise des espèces botaniques appartenant au genre *Populus* spp. Les colonies s'établissent sur les feuilles, sur la face supérieure et inférieure et sur les pétioles, le puceron forme des groupes de densité variable selon le développement de ses populations dans des époques distinctes de l'année (Giganti *et al*, 2004). Leur cycle évolutif est hétérogonique, caractérisé par l'alternance entre une génération amphi sexuelle et une ou généralement plusieurs générations ne comportant que des femelles parthénogénétiques (Dedryver, 1982). Les aphidiens monoéciques hivernent sous la forme d'œufs fécondés pondus à l'automne par des individus sexués sur la plante hôte (Grasse, 1970).

Dans l'hémisphère sud et sur *P. alba* spp *pyramidalis* et *P. trichocarpa*, en octobre, des niveaux populationnels très importantes couvrant la majorité des feuilles sont

observés, probablement favorisés par les conditions climatiques printanières caractérisées par des températures modérées et une humidité relativement élevée. En Algérie, après une chute sensible de la population durant l'été, et qui se poursuit jusqu'à l'hiver. Au début d'avril, l'espèce recolonise à nouveau les pétioles et les lames foliaires, par des colonies dispersées à différents étages foliaires. A la fin mai, peu d'individus en majorité aptères sont observés en petites colonies localisées principalement sur la face inférieure des feuilles et proches des points d'insertion des pétioles. Le cycle se réinitie à la mi-septembre par l'induction des femelles vivipares aptères à partir de la base des fruits immatures et dans des bourgeons récemment débouffés. Les pluies printanières éventuelles inscrites en octobre peuvent induire une réduction remarquable de la population de *Chaitophorus.leucomelas*. D'avril et jusqu'à la chute des feuilles sénescentes à la mi-mai, il y a présence de nombreuses femelles (Zahraoui, 2010) (Figure 2).

La performance biologique de cet insecte est susceptible d'être influencée notamment, par la qualité nutritive du feuillage, la nature des générations et les variations des conditions abiotiques dans l'environnement (Scriber *et al*, 1981).

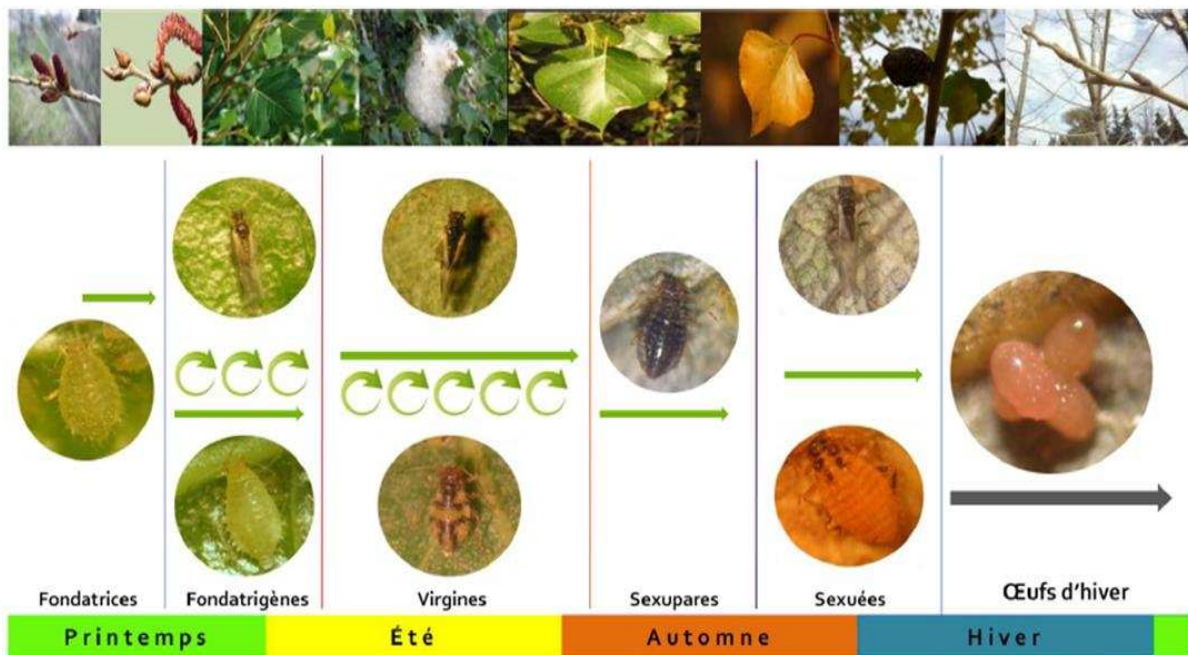


Figure 2: Cycle évolutif de *Chaitophorus leucomelas* (Zahraoui, 2010)

2.4. Biologie

Les pucerons possèdent un cycle de développement holocyclique, caractérisé par une alternance entre une génération amphisexuelle et des générations parthénogénétiques (Dixon, 1987). La génération amphisexuelle qui apparaît à l'automne est caractérisée par des individus mâles et femelles. L'accouplement et la

fécondation conduisent à la ponte d'œufs qui constituent des formes de résistance. A la fin de l'hiver, les œufs éclosent pour donner des larves. Le développement post-embryonnaire comporte quatre stades larvaires (Horsfall, 1924) séparés par des phases de mue. La première génération dite fondatrigenes n'est composée que par des adultes aptères qui se reproduisent par parthénogenèse thélytoque. Les générations parthénogénétiques suivantes se succèdent et présentent des morphes adultes pouvant être ailés ou aptères. Les premiers assurent la dispersion de l'espèce d'une plante hôte à une autre et les seconds, la multiplication et le développement rapide des colonies sur les plantes (Miyazacki, 1987). Les générations parthénogénétiques se succèdent du printemps à l'automne.

Toutefois, dans nos régions, avec le réchauffement climatique et des hivers moins rigoureux, on observe la disparition des cycles holocycliques qui laissent place à des développements anholocycliques où uniquement des générations parthénogénétiques se succèdent (Blackman et Eastop, 2000). Le mode de reproduction parthénogénétique et larvipare des pucerons leur confère un potentiel de multiplication très élevé, permettant un: Cycle de développement holocyclique des pucerons colonisation rapide des parcelles cultivées et une propagation rapide des virus. Les pucerons sont des insectes hémimétaboles et possèdent 4 stades larvaires. La longévité des adultes varie de 7 jours à trois mois, selon les conditions environnementales et leur période reproductive dure environ 15 jours pour une descendance d'une trentaine à une soixantaine d'individus par femelle. Cycle de développement holocyclique des pucerons colonisation rapide des parcelles cultivées et une propagation rapide des virus.

2.5. Dégâts causés par les pucerons

Insectes de type piqueurs-suceurs, les pucerons s'alimentent exclusivement aux dépens de la sève élaborée. La sève est constituée en grande partie d'eau, de carbohydrates, de protéines et de divers acides aminés libres, dont les concentrations respectives sont extrêmement variables (Douglas, 1993; Douglas, 1998; Karley *et al*, 2002). Les produits non assimilés sont excrétés sous forme de gouttes de miellat.

2.5.1. Dégâts directs

Les pièces buccales du puceron sont adaptées à la prise de nourriture liquide non disponible en surface. Elles forment des stylets percés d'un canal alimentaire et d'un canal salivaire qui permettent aux aphides d'effectuer des piqûres dans la plante pour atteindre les tubes criblés (La perforation des feuilles et l'injection d'une salive liquide dans les tissus végétaux lors de l'insertion des stylets qui peut avoir des effets toxiques (Comeau, 1992) qui occasionnent des désordres physiologiques se traduisant par des crispations, des dépigmentations des feuilles ou des fruits mais également la formation de galles (Forrest, 1987). Lors de la pénétration des stylets

dans le végétal, la sécrétion d'une salive gélifiante permet la formation d'une gaine qui facilite la pénétration des stylets de l'insecte entre les diverses couches cellulaires. Lors de la prise alimentaire, les pucerons créent des puits de carbohydrates et prélèvent de grandes quantités de sève élaborée, afin de satisfaire leurs besoins nutritifs. Lorsqu'une plante est très fortement infestée, sa croissance peut être perturbée (Miles, 1968; Miles, 1989).

2.5.2. Dégâts indirects

Le miellat excrété par les pucerons, bien que non toxique, constitue un milieu favorable au développement de microorganismes notamment des champignons saprophytes (*Alternaria sp*, *Verticillium sp.*) responsables des fumagines (Huang *et al*, 1981). Le dépôt de miellat en grandes quantités peut également induire des phénomènes de dessiccation en obstruant les stomates ou par effet osmotique sur la surface des feuilles, les pucerons sont vecteurs de nombreux virus et la pénétration des stylets dans les tissus épidermiques est suffisante pour transmettre des particules virales.

2.6. Lutte contre les pucerons

Comme il n'existe pas de traitements antiviraux pour les plantes, le contrôle des viroses passe obligatoirement par une lutte contre les pucerons vecteurs. Si diverses stratégies peuvent être envisagées, la principale méthode de lutte actuelle s'appuie sur l'utilisation d'insecticides chimiques tels que des organophosphorés, des carbamates mais aussi des pyréthriinoïdes (Dun *et al*, 2003). Toutefois, depuis plusieurs années, les pucerons ont développé des résistances contre ces pesticides et il convient de développer de nouvelles méthodes de lutte. Parmi les différentes méthodes, la lutte biologique avec l'utilisation d'insectes aphidiphages tels que des prédateurs (coccinelles, chrysopes, syrphes) ou des insectes hyménoptères parasitoïdes a été envisagée. Le recours à certains pathogènes des insectes tels que des virus, des bactéries ou des suspensions des champignons entomopathogènes (Ying *et al*, 2003) est également un moyen de lutte contre les pucerons. Une stratégie pour lutter contre les aphides repose sur l'exploitation des résistances naturelles des plantes. Chez les espèces sauvages de *Solanum*, il existe des sources de résistances vis-à-vis de *M. persicae* et de *M. euphorbiae* (Radcliffe et Lauer, 1971; Radcliffe *et al*, 1981). Des études récentes (Le Roux *et al*, 2007) ont permis de caractériser la nature (antibiose ou antixénose) de la résistance chez certaines espèces et offrent de nouvelles opportunités pour la réalisation des croisements entre les espèces sauvages et *S. tuberosum*. Les recherches menées sur les interactions plantes-pucerons ont permis d'isoler chez de nombreuses plantes, des gènes de résistance aux pucerons, tel que le gène *Vat* (virus aphid transmission) qui confère une résistance contre *Aphis gossypii* en réduisant son taux de colonisation mais aussi contre les virus (Cucumber Mozaic Virus, Watermelon Mozaic Virus) qu'il transmet sur Cucurbitacées (Chen *et al*, 1997).

De même, le gène *Mi* de la tomate induit une résistance contre les pucerons en réduisant leur capacité à s'alimenter (Kaloshian *et al*, 1995). L'utilisation de la transgénèse pour lutter contre les aphides a également été envisagée, mais il existe de nombreux facteurs limitant parmi lesquels le choix des gènes d'intérêt et l'acceptation des OGM par les consommateurs.

3. Evolution des associations plante-insecte phytophage

Les végétaux subissent la pression des insectes phytophages depuis leur apparition, c'est-à-dire depuis plus de 145 millions d'années. Cette phytophagie peut parfois induire des dommages importants, qui peuvent affecter le succès reproducteur d'une plante, ou la dynamique des populations végétales. Pour faire face à cette pression, les végétaux ont développé de nombreuses stratégies de défense. Cependant, à leur tour, les insectes phytophages ont aussi pu s'adapter à ces innovations, afin de pouvoir continuer à exploiter leur habitat. Les plantes et leurs insectes phytophages se livrent à une perpétuelle "course à l'armement" et sont donc dans un équilibre dynamique dont la rupture peut entraîner soit la prolifération des insectes, soit celle des plantes. Dans ce contexte, l'étude des interactions entre les plantes et les insectes phytophages peut notamment permettre de comprendre : pourquoi une plante exotique peut devenir envahissante dans un nouvel environnement, qui ne contient pas ses prédateurs spécifiques et quel est le rôle de la phytophagie dans l'évolution des traits d'histoire de vie des plantes et la formidable diversité des insectes.

3.1. La spéciation sympatrique chez les insectes phytophages

Les insectes phytophages représentent une grande diversité spécifique. Ils constituent plus d'un quart de toutes les espèces pluricellulaires (Strong *et al*, 1984). La diversification des insectes phytophages auraient suivi celle de leurs plantes-hôte, par le processus de spéciation sympatrique. Charles Darwin fut le premier à faire allusion au concept de spéciation sympatrique dans *De l'origine des espèces* en 1859, c'est-à-dire *via* la divergence d'une lignée évolutive en deux, en absence de barrière géographique. Soumise à de nombreuses controverses, face au modèle de spéciation allopatrique il y a encore quelques années, la spéciation sympatrique est aujourd'hui un concept de plus en plus accepté (Jiggins et Mallet, 2001 ; Turelli *et al*, 2001) et l'association plante-insecte apparaît être le meilleur modèle pour évaluer l'importance de ce processus (Berlocher et Feder, 2002 ; Drès et Mallet, 2002). Deux processus évolutifs peuvent expliquer l'initiation de la spéciation sympatrique chez les insectes herbivores : la coévolution et le changement d'hôte.

3.2. Coévolution

La coévolution, au sens strict du mot, implique des influences réciproques entre espèces, et doit donc être distinguée de l'évolution séquentielle, dans laquelle

l'évolution d'une espèce en influence une autre, sans que la réciproque soit vraie. En d'autres termes, elle implique que les adaptations et les contre adaptations évoluent en synchronie (Futuyma et Slatkin, 1983). Le terme de "coévolution" a été cité pour la première fois dans l'article d'Ehrlich et Raven (1964), en tant qu'hypothèse évolutive pour expliquer la diversification des papillons et de leurs plantes-hôte. Pourtant, comme l'a fait remarquer Janzen (1980), ils n'ont pas démontré la coévolution, mais ont décrit une série successive d'adaptations radiatives. En effet, dans ce célèbre papier, Ehrlich et Raven suggèrent que les composés chimiques secondaires des plantes détermineraient l'utilisation des plantes-hôte par les papillons. En effet, deux plantes ayant des composés chimiques secondaires seraient susceptibles d'être attaquées par les mêmes espèces d'insecte. Ces substances chimiques auraient alors évolué en défenses chimiques contre ces insectes phytophages, qui à leur tour auraient développé de nouvelles adaptations, telle que la capacité de détoxification. Par conséquent, Ehrlich et Raven ont mis en évidence une coadaptation entre les papillons et leurs plantes-hôte, c'est-à-dire une interaction adaptative entre des organismes d'espèces différentes (Ridley, 1997), qui peut effectivement mener à la coévolution, mais n'en constitue pas une preuve. Ces dernières années, la phylogénie a permis de tester l'hypothèse de coévolution, qui a été démontrée dans des associations mutualistes (Wiebes, 1979 ; Michener et Grimaldi, 1988 ; Pellmyr, 2003), impliquant des parasitoïdes (Wiegman *et al*, 1993), et aussi dans certaines associations impliquant des insectes phytophages (Farrel, 1998 ; Becerra, 2003). Toutefois, dans les associations plante-insecte phytophage, la coévolution semble être un phénomène assez rare (Bernays et Graham, 1988 ; Funk *et al*, 2002 ; Scriber, 2002). Pour Jermy (1984), l'évolution des plantes et des insectes est plutôt séquentielle. En effet, beaucoup d'insectes ne se nourrissent que d'un seul type de plante, alors que les plantes servent d'aliment à de nombreuses espèces d'insectes. Ainsi, lorsqu'une plante évolue, tous ses consommateurs sont obligés de suivre, alors que si une espèce d'insecte évolue, cette modification n'entraînerait sur la plante-hôte qu'une sélection limitée. Actuellement, un des mécanismes évolutifs les plus probants pour expliquer la spéciation chez les insectes phytophages serait la spéciation sympatrique *via* un transfert d'hôte.

3.3. Changement d'hôte

Benjamin Walsh (1864) fut le premier à proposer que les insectes phytophages spécifiques à leur(s) plante(s)-hôte(s) résulteraient d'un transfert d'hôte suivi d'une spécialisation au nouvel hôte. Sous ce scénario, la chimie de l'hôte joue un rôle prépondérant (Brues, 1920 ; Ehrlich et Raven, 1964). En effet, un insecte spécialiste serait pré adapté pour coloniser un nouvel hôte, dont les composés chimiques secondaires (impliqués dans la résistance contre la phytophagie) sont similaires à l'hôte actuel (Ehrlich et Raven, 1964). La colonisation, puis la spécialisation du nouvel hôte conduirait alors à la formation de races d'hôte (Bush, 1969). Les races d'hôte sont des populations sympatriques de parasites, génétiquement différenciées, qui utilisent différents hôtes, et entre lesquels il y a un flux de gènes appréciable

(Drès et Mallet, 2002). Le transfert d'hôte semble être un mécanisme commun chez les insectes phytophages (Dobler et Farrel, 1999). En effet, la majorité des insectes phytophages présentent un niveau élevé de spécificité à leur plante-hôte et la spécificité d'hôte est souvent combinée à de hauts niveaux de transfert d'hôte (Menken, 1996 ; Schoonhoven *et al*, 1998), lesquels sont souvent phylogénétiquement conservés (transfert entre plantes apparentées). De nombreux exemples de transfert d'hôte et donc de formation de races d'hôte ont été documentés chez les insectes herbivores (ex. homoptère, Wood *et al*, 1999 ; lépidoptère, Nason *et al*, 2002 ; diptère, Scheffer et Wiegmann, 2000).

3.4. L'association Plante-Puceron

Les pucerons affectent le fonctionnement physiologique de la plante. Ils sont considérés comme des puits pour les assimilât. Ils n'interceptent pas seulement les flux d'assimilât, mais ils sont également capables de modifier le pattern d'allocation ou le statut de source ou des puits des tissus (Girousse *et al*, 2005 ; Hawkins *et al*, 1987). Des études suggèrent un effet des pucerons sur la photosynthèse (Veen, 1985) et sur l'induction des gènes impliqués dans la sénescence des feuilles (Pegadaraju *et al*, 2005). Inversement, la croissance des populations de pucerons peut être affectée par l'état de la plante. L'azote la est considéré comme un facteur nutritif limitant pour les insectes phytophages, en terme de quantité et de qualité (composition en acides aminés essentiels) (Douglas, 2006). De là nombreux travaux ont montré que les performances des pucerons sont influencées par différences du statut azoté de la plante, comme la teneur ou la composition en acide aminés et la teneur en azote (Davies *et al*, 2004 ; Janson et Smilowitz, 1986 ; Van Emden, 1966 ; Wilkinson et Douglas, 2003). La vigueur de croissance des plantes est souvent citée comme un facteur favorable au développement des bio agresseurs par les experts de la production (Cross *et al*, 1997). Cette considération est soutenue par l'hypothèse proposée par (Price, 1991), «The plant hypothesis» (PVH), qui prédit de meilleures performances des herbivores sur des plantes ayant une croissance vigoureuse. Bien que plusieurs études tendent à confirmer cette hypothèse (De Bruyn *et al*, 2002 ; Inbar *et al*, 2001 ; Teder et Tammaru, 2002), certains résultats restent contradictoires (Johnson *et al*, 2003 ; Korecheva *et al*, 1998). De plus, les pucerons peuvent préférer soit les parties en croissance, soit les parties matures du feuillage, et cela diffère selon le couple plante-puceron considéré (Brown et Welker, 1992 ; Jansson et Smilowitz, 1986 ; Sandstrom, 2000 ; Whitaker *et al*, 2006). Les connaissances actuelles, qui sont surtout en relation avec des plantes annuelles, montrent l'existence au sein des systèmes plante-puceron de fortes interactions qui se révèlent être, pour certaines, spécifiques aux espèces considérées (Price, 1991).

4. Les Biofertilisants

Le développement d'une culture raisonnée dans le but d'une protection de l'environnement et l'essor de l'agriculture biologique. On accorde aujourd'hui une

grande importance à la composante des éléments minéraux du feuillage, en raison de ses multiples effets potentiels sur la croissance et le développement de la culture. La littérature scientifique mentionne généralement une influence positive de la matière organique sur les propriétés physico-chimiques (structure, cohésion, perméabilité, rétention en eau, capacité d'échange cationique, teneurs en éléments fertilisants, ...) et la vie des ravageurs, (Morel, 1989 ; Chaussod *et al*, 1999 ; Thuries *et al*, 2000)

Les extraits naturels des plantes sont utilisés dans les petites fermes de nombreux pays africains pour lutter contre les insectes ravageurs des grains, en raison des conditions économiques ne permettant pas l'utilisation de pesticides classiques (Niber, 1994). Durant ces dernières années, on assiste à une multiplication des travaux de recherche sur l'activité des produits naturels dont la majorité se déroule en Afrique et en Asie, dans le but de valoriser les procédés de lutte traditionnels.

L'emploi des fertilisants s'adresse à des agrosystèmes : climat, sol et population végétale concourent chacun pour sa part à l'obtention d'une production, dont l'élaboration proprement dite est le fait exclusif de la plante. En conséquence, pour être rationnelle, la fertilisation doit établir une offre concourante, avec les autres facteurs qui agissent sur la nutrition, à mettre le végétal en mesure de satisfaire la part de son besoin interne compatible avec les contraintes socio- économiques (rentabilité) (Heller, 1969)

On sait que les tissus végétaux se laissent pénétrer, dans certaines conditions, par de nombreux produits utilisés sous forme de pulvérisations, soit strictement nutritives, soit destinées à la protection phytosanitaire. (Chamel et Gambonnet, 1980) Ces produits sont donc susceptibles d'enrichir la plante dans le, ou les éléments contenus dans leur formule, et il semble bien que les répercussions à en attendre dans le métabolisme de celle-ci, ne soient pas sans relation avec sa sensibilité ou sa résistance à certaines affections parasitaires. Il en est de même d'ailleurs pour la fertilisation, ou l'association des deux (Fravel, 2005)

L'action d'extrait d'algues brunes marines formulé par la Société SAMABIOL (l'Isle sur la Sorgue, France) autant que stimulateur de la défense naturelle a été étudiée par (Lizzi *et al* ,1998). Ces extraits sont connus depuis longtemps et sont utilisés comme engrais pour leur richesse en minéraux et en molécules biologiques naturelles. Toutefois, leur capacité à se comporter comme des stimulateurs de défense naturelle (SDN), aux niveaux tellurique et foliaire, n'a jamais été démontrée.

4.1. Lombriculture, principe et importance

La fertilité des sols dépend principalement de la quantité et de la qualité des matières organiques transformées par les organismes décomposeurs. L'efficacité de ces derniers peut être caractérisée par le taux de transformation de la matière organique,

dépendant des facteurs du milieu tels que la température, l'humidité et des caractéristiques de la matière à décomposer (Champagnol, 1980).

Les populations d'invertébrés, comme les vers de terre dans le sol, jouent un rôle primordial dans la transformation des matières organiques. En effet, les lombrics interviennent dans la dynamique de la matière organique dans le sol ; ils transforment la matière organique instable, souvent d'origine végétale, en substances organiques stables appelées "humus" (Rees et Castle, 2002). Les vers de terre participent également à la libération d'éléments minéraux disponibles dès lors pour les plantes cultivées. Si la gestion des populations de vers de terre peut être considérée comme une méthode culturale efficace pour pallier le manque de fertilité des sols, la mise en œuvre de la lombriculture permet de combiner plusieurs avantages (Moreno et Paoletti, 2002), en plus de la transformation de matières organiques très diverses, le lombricompostage engendre la production de deux types de produits valorisables : la biomasse en vers de terre et le lombricompost. (Paoletti *et al*, 2000) Le premier produit peut être utilisé pour l'alimentation de certains animaux d'élevage, le second fournit un amendement homogène et efficace permettant d'accroître la fertilité des sols en utilisant les matières organiques disponibles. De plus, le lombricompost présente des niveaux de contamination en microorganismes pathogènes bien plus faibles que le compost conventionnel (Santos-Oliveira *et al*, 1976).

La lombriculture représente une technologie appropriée afin de valoriser les résidus de cultures ainsi que d'autres déchets végétaux mélangés aux déjections animales provenant de l'exploitation agricole. (Hassan *et al*, 2010)

4.2. La fertilisation foliaire

L'application des fertilisants sur le feuillage des plantes est une pratique répandue mais controversée. Le processus par lequel la pénétration des fertilisants dans les parties foliaires peut avoir lieu est une série complexe d'événements interdépendants. Un nombre élevé de facteurs peut limiter son efficacité : formes chimiques des fertilisants, température, humidité, etc. (Bukovac *et al*, 2002).

Plusieurs recherches ont ainsi conclu à l'inefficacité de cette méthode de fertilisation, (Bukovac *et al*, 2002); (Torres *et al*. 2002; Boaretto *et al*. 2002; Sánchez-Zamora et Fernández-Escobar, 2002; Tojnko *et al*. 2002; Delfine *et al*. 2004; Haq et Mallarino, 2005). Plusieurs producteurs sont portés à user simultanément d'un pesticide pour diminuer les coûts liés à l'application. Cette pratique demande réflexion. Elle pourrait, d'une part, résulter en une synergie entre le fertilisant et le pesticide (Alexander et Schroeder, 1987; Ryser, 1991; Schlegel et Schönherr, 2004), conduire à une amplification de la phytotoxicité et à des dommages sérieux sur la culture.

D'autre part, cette pratique peut diminuer l'efficacité des fertilisants foliaires, par exemple en réduisant la vitesse de pénétration des nutriments (Schlegel et Schönherr, 2004). L'étude des nombreux facteurs limitant peut aider à obtenir une culture homogène et de qualité, et ce sans risques de phytotoxicité.

La fertilisation foliaire peut être une méthode efficace pour contrer les carences nutritives, dans les cas où toutes les conditions favorables à son efficacité sont réunies.

Les ancêtres des plantes terrestres, les plantes aquatiques, ont la capacité d'absorber des minéraux par leurs organes foliaires. Bien que le processus d'évolution du règne végétal terrestre ait conduit à la spécialisation des feuilles dans les mécanismes de la respiration cellulaire et de la photosynthèse, les plantes terrestres ont conservé ce vestige de leurs ancêtres aquatiques (Marschner, 1995). Depuis cette découverte, de plus en plus de producteurs font appel à la fertilisation foliaire pour combler les carences minérales de leur culture. Pourtant, ces producteurs demeurent sceptiques quant aux effets bénéfiques de cette pratique. La panoplie de publications d'articles scientifiques à cet effet indique qu'ils n'ont ni tort, ni raison. De nombreux résultats de recherche démontrent clairement les effets positifs de la fertilisation foliaire sur la croissance, le développement et parfois même sur le rendement des cultures (Hannam *et al.* 1984; Chitu *et al.* 2002; Starast *et al.* 2002; Toscano *et al.* 2002; Bly et Woodard, 2003; Silva *et al.* 2003; Williams *et al.* 2004; Yorinori *et al.* 2004), tandis que d'autres recherches montrent l'inefficacité de cette pratique (Edmidten *et al.* 1994; Torres *et al.* 2002; Boaretto *et al.* 2002; Sánchez-Zamora et Fernández-Escobar, 2002; Tojnko *et al.* 2002; Delfine *et al.* 2004; Haq et Mallarino, 2005). Ces résultats divergents sont dus aux nombreux facteurs régissant l'efficacité de la fertilisation foliaire. Ces facteurs limitant sont, d'une part, reliés aux conditions climatiques, et d'autre part, à la nature même du ou des produits utilisés (Tremblay, 1991; Furuya et Uremiya, 2002; Bukovac *et al.* 2002; Silva *et al.* 2003). Tous ces facteurs agissent directement ou indirectement sur la pénétration stomatale et cuticulaire et la translocation des nutriments dans la plante entière. Les fertilisants foliaires utilisés sont confrontés à des barrières physiques considérables avant d'entrer dans le cytosol des cellules épidermales des feuilles (Mengel, 2002). Les conditions climatiques et la nature du ou des produits utilisés influencent significativement sont respectées. L'efficacité de ces barrières au passage des micros et macroéléments (Schönherr, 2001; 2002). Pour toutes ces raisons, la fertilisation foliaire ne devrait être utilisée que dans des cas exceptionnels, par exemple lorsque le niveau de compaction du sol est élevé et que l'absorption racinaire des minéraux est à un niveau anormalement bas.

Plusieurs recherches démontrent que l'utilisation de la fertilisation foliaire ne peut être une méthode alternative à la fertilisation racinaire, mais plutôt complémentaire (Ling et Silberbush, 2002; Starast *et al.* 2002; Toscano *et al.* 2002; Mengel, 2002;).

Toutefois, dans certains cas, son utilisation s'impose d'elle-même. Par exemple, dans des régions désertiques, le pH élevé et la faible teneur en eau du sol diminuent fortement la solubilité du zinc et rend son absorption racinaire inefficace (Walworth *et al.* 2006). Ainsi, dans certains cas où le rôle du système racinaire est restreint par les conditions du sol, la fertilisation foliaire devient beaucoup plus efficace que l'application conventionnelle des fertilisants au sol. Bien qu'il en demeure certaines inquiétudes sur l'efficacité de la fertilisation foliaire pour prévenir des carences minérales, son utilisation soutenue pourrait réduire la pollution des sols associée à la surfertilisation du sol, et dans un même temps réduire les coûts associés (Chamel, 1988 ; Gooding et Davies, 1992).

Le passage des nutriments par voie stomatale peut augmenter la rapidité d'absorption des nutriments. Une étude réalisée par Eichert *et al.* (2002) a démontré que les stomates jouent un rôle important dans la pénétration foliaire des fertilisants, que l'absorption foliaire augmente avec l'augmentation de l'humidité relative et que cette absorption est particulièrement élevée lorsque l'humidité relative se situe au-delà du point de déliquescence de l'ion (uranne pour cette expérience). De plus, cette expérience a démontré le rôle important de la lumière sur la pénétration des nutriments. En présence de lumière, l'absorption est de 1.5 à 36 fois supérieure, qu'en absence de lumière. Ces auteurs ont montrés que la lumière est un facteur important en corrélation avec le degré d'ouverture des stomates. Selon les résultats d'une expérience effectuée par Schlegel et Schönherr (2002), la pénétration initiale durant laquelle l'évaporation des gouttelettes à la surface des feuilles est de zéro s'effectue totalement par voie stomatale. Ils suggèrent donc que l'infiltration stomatale se produit lors de la pénétration initiale et qu'ensuite, lorsque la pénétration procède à partir de l'hydratation des résidus de sels, la pénétration par voie cuticulaire devient la voie majeure de passage des nutriments.

En plus de la pénétration stomacale et cuticulaire, les plantes possèdent des structures apportant une tierce porte d'entrée aux nutriments, les trichomes ou poils absorbants. L'importance de l'absorption foliaire par les trichomes est en fonction de la maturité des feuilles, des espèces végétales et dépend d'autre part de certaines conditions environnementales (Hull *et al.* 1975).

La capacité d'hydrater une surface et la rétention d'un fertilisant foliaire dépend principalement de la morphologie et de la nature des groupes chimiques exposés (Chamel, 1988). Les cires épicuticulaire et cuticulaire sont composées de groupements très hydrophobes. La quantité de cire déposée à la surface des feuilles dépend, d'une part, de l'espèce végétale, et d'autre part, des conditions climatiques, soit la température, la lumière et l'humidité (Kirkwood, 1999). Plus l'épaisseur de cette barrière physique n'est élevée, plus le passage par voie cuticulaire des micros et des macronutriments en sera affecté. Certaines recherches ont montrées que la destruction de cette couche de cire augmentait l'absorption foliaire (Swietlik et Faust, 1984).

Selon une étude réalisée par Schönherr et Huber (1977) à partir de feuilles de citrons, de poires et d'abricots, lorsque la cuticule est à $\text{pH} > 3$, elle devient chargée positivement et est plus perméable aux anions. À $\text{pH} < 3$, la cuticule, au contraire, devient chargée négativement et devient donc plus perméable aux cations. Ainsi, selon le pH de la cuticule et sa charge, certains ions seront privilégiés. En d'autres termes, une application foliaire d'une solution avec un pH plus élevé que 3 aura pour conséquence de charger négativement la cuticule. La pénétration foliaire peut être augmentée par l'hydratation de la cuticule (Kirkwood, 1999). Voir notes de fins de section se rapportant à la cire épicuticulaire. La présence de groupes polaires dans les acides gras polyesterifiés qui composent la cutine rend cette dernière légèrement plus hydrophile que les cires épicuticulaire et cuticulaire (Swietlik et Faust, 1984). Selon Tremblay (1991), les jeunes feuilles se prêtent mieux à l'absorption foliaire que les feuilles plus âgées. L'âge des feuilles a des effets importants sur la composition et la quantité de cire produite (Kirkwood, 1999). Selon une étude réalisée par Hull *et al.* (1975), les feuilles âgées possèdent une plus grande résistance que les feuilles plus jeunes. Cette résistance est reliée au stade de développement des feuilles. Une feuille plus âgée aura atteint son niveau optimal de maturité et développé complètement ses barrières épidermales (cire épicuticulaire, cuticule). Cependant, en contradiction avec les articles précédents, un article écrit par Mengel (2002) a démontré que des feuilles plus âgées permettent une meilleure absorption des nutriments que les feuilles plus jeunes. Selon ce dernier, les feuilles âgées ont, d'une part, une surface foliaire plus élevée, ce qui permet d'optimiser la surface d'absorption des minéraux. En second lieu, les feuilles plus matures peuvent être partiellement endommagées et contiennent des interstices ayant comme fonction de laisser passer par diffusion les éléments solubles.

5. Les défenses naturelles des plantes SDN

5.1 Mécanismes généraux

5.1.1. Défense passive

Les plantes, au cours de leur évolution, ont mis en place des barrières protectrices contre les bioagresseurs : cuticule, paroi pectocellulosique. Ces barrières mécaniques leur confèrent une résistance constitutive, notamment face aux agents pathogènes (Kaufmann *et al.*, 2001). Mais si ceux-ci réussissent à les franchir, ils ont affaire aux mécanismes de défense active.

5.1.2. Défense active

Les mécanismes de défense active peuvent débuter par la réaction d'hypersensibilité (HR). La réaction HR est une réaction spécifique basée sur le concept gène pour gène de Flor, dans laquelle le produit du gène d'avirulence du pathogène est reconnu par le produit du gène de résistance de la plante (Klarzynski et Fritig, 2001).

Cette réaction intense et violente se manifeste par la mort de la cellule hôte qui, avant de s'autodétruire, aura émis des signaux d'alerte vers les cellules voisines pour créer une zone de résistance locale acquise (LAR). Il s'ensuit la synthèse de molécules de défense antimicrobienne à action directe ou indirecte. Ces premières lignes de défense sont très efficaces pour confiner le pathogène et retarder son invasion dans l'organisme. La propagation des signaux et la synthèse des molécules de défense peuvent se généraliser à la plante entière : il s'agit de la résistance systémique acquise (SAR). Ce type de résistance est certes moins intense mais plus durable : la plante est préparée à une nouvelle attaque du pathogène ou d'un autre agresseur et pourra y répondre plus rapidement (Kaufmann *et al*, 2001). Ces mécanismes de défense se décomposent grossièrement en trois phases : reconnaissance, signalisation puis réactions de défense. Nous allons voir plus précisément comment se déroulent ces phases.

5.2. Mécanismes moléculaires

5.2.1. Reconnaissance de l'agent pathogène

La perception d'un agent pathogène implique la reconnaissance d'un éliciteur spécifique ou non spécifique (le terme éliciteur a pour origine étymologique le verbe anglais *to elicit* : provoquer). Le cas le plus connu d'éliciteur spécifique est une protéine exogène synthétisée à partir du gène d'avirulence dans la relation gène pour gène présentée précédemment et qui est reconnue par une protéine végétale codée par le gène de résistance, jouant le rôle de récepteur. La réaction d'hypersensibilité peut être provoquée par d'autres types d'éliciteurs que l'on nomme les éliciteurs généraux. Les éliciteurs généraux, exogènes ou endogènes, sont de nature chimique variée. Les éliciteurs exogènes sont des molécules provenant directement de l'agent pathogène, par exemple des β -glucanes ou la chitine issue de la paroi des champignons agresseurs (Kaufmann *et al*, 2001). Les éliciteurs endogènes sont des molécules issues de la plante elle-même ; ils peuvent être libérés une fois que la cellule a été attaquée, notamment lors de la dégradation de la paroi cellulaire. Ce sont par exemples des fragments polysaccharidiques ou des oligogalacturonides provenant de la dégradation de la pectine (Kaufmann *et al*, 2001 ; Pautot *et al*, 1999).

5.2.2. Réponse précoce

Elle a lieu quelques minutes après la reconnaissance des éliciteurs. Cette réponse se manifeste séquentiellement par :

– des flux ioniques à travers la membrane plasmique (influx d'ions calcium et de protons, efflux d'ions potassium et chlorure) ;

- l'activation de protéines kinases, permettant des phosphorylations et déphosphorylations de protéines ;
- l'activation des protéines G généralement associées à des récepteurs membranaires ;
- la production de formes très réactives de l'oxygène (Ebel et Mithöfer, 1998 ; Klarzynski et Fritig, 2001).

Concernant ces formes réactives de l'oxygène, attardons-nous sur l'anion superoxyde O_2^- et le peroxyde d'hydrogène H_2O_2 , qui est la forme la plus stable. Ceux-ci sont essentiellement produits par la NADPH oxydase, localisée sur la membrane des cellules végétales. Leur action dans le cadre d'une réponse précoce est directe : le H_2O_2 inhibe la germination de spores de plusieurs champignons pathogènes. Les radicaux oxydants renforcent aussi la paroi végétale en polymérisant des protéines de la paroi végétale et provoquent la mort des cellules végétales en peroxydant les lipides de leur membrane (Kaufmann *et al*, 2001). La réponse précoce est ensuite amplifiée par des réactions de défense proprement dites qui sont le plus souvent induites *via* une cascade de signalisation connues sous le nom des « Voies de signalisation et réactions de défense » qui sont comme suite :

Epaissement de la paroi Pour lutter contre l'action d'enzymes microbiennes digérant la paroi cellulaire végétale, la plante la renforce par diverses macromolécules qu'elle synthétise : protéines, polysaccharides ou polymères aromatiques (ressemblant à la lignine) (Kaufmann *et al*, 2001). Or la dégradation fongique de ces parois accélère encore plus la mise en place d'une résistance puisque les oligosaccharides obtenus servent d'éliciteurs endogènes.

Voie de l'acide jasmonique et production de phytoalexines Les phytoalexines sont des antibiotiques végétaux synthétisés au cours de la réaction d'hypersensibilité ou lors de la SAR (résistance systémique acquise). Leur synthèse peut être provoquée par des métabolites secondaires issus de la réponse précoce comme H_2O_2 ou le monoxyde d'azote NO qui jouent le rôle de signaux. Cependant, la voie royale de synthèse des phytoalexines est celle de l'acide jasmonique. L'acide jasmonique et son ester méthylique sont responsables de la synthèse des enzymes qui produisent les phytoalexines. Notons au passage que l'acide jasmonique, synthétisé à partir de l'acide linoléique, est un analogue structural des prostaglandines (Bonnemain et Chollet, 2003)

Voie de l'acide salicylique et production de protéines PR Les protéines de défense les plus connues sont les protéines PR (*pathogenesis related*). Elles ont la propriété de résister à l'activité de protéases issues de la plante ou du pathogène. Elles peuvent attaquer l'agresseur, comme les chitinases capables de dégrader la paroi des pathogènes (Amborabé *et al*, 2004). La voie de signalisation principale

conduisant à leur synthèse est celle de l'acide salicylique .Cette molécule dérivée de la phénylalanine (et précurseur de l'aspirine) joue un rôle clé de messenger secondaire dans la mise en place des défenses de la plante. Des études tendent à montrer que l'acide salicylique est le signal responsable de l'établissement de la SAR, mais cela reste à prouver. Des chercheurs ont cependant observé son accumulation dans les plantes suite à une infection locale (Malamy *et al*, 1990. Metraux *et al*, 1990) mais il ne semble pas agir de façon systémique dans la plante (Gaffney *et al*, 1993). Il participerait également à la réaction HR et au confinement de l'agresseur sur le site primaire (Kaufmann *et al*, 2001).

Chapitre 2

Matériel et méthodes

Chaque année, il y a plus de naissances que de survies; le plus petit grain dans la balance doit à la longue, avoir un effet sur celui que la mort abattra et celui qui survivra

Charles Darwin. *Ebauche de l'origine des espèces*, 1844.

CHAPITRE 2 : Matériel et méthodes

1. Objectif

Dans le cadre de la recherche sur de nouveaux procédés en phyto-protection et de la lutte biologique. La bio fertilisation foliaire offre une certaine éventualité de bio-protection par, l'utilisation de nouvelles formulations des stimulateurs de défenses naturelles.

L'objectif de notre recherche est d'évaluer l'impact des fertilisants foliaires formulés sur le développement du peuplier noir *Populus nigra* (expansion de la surface de ses feuilles) et ses retombées sur la structuration populationnelle des fondatrigenes du puceron du peuplier noir *Chaitophorus leucomelas*.

2. Présentation de la région d'étude

2.1. Situation géographique

La Mitidja est une vaste plaine littorale étroite du Nord. Elle s'étend sur une longueur de 100 kilomètres et une largeur de 5 et 20 kilomètres, elle couvre une superficie de 150 000 ha. Elle correspond à une dépression allongée d'Ouest en Est. Elle est limitée à l'Ouest par l'Oued Nador et à l'Est par l'Oued Boudouaou et bordée par deux zones élevées : le Sahel au Nord et l'Atlas au Sud. La Mitidja se situe à une latitude Nord moyenne de 36 à 48° et une altitude moyenne de 30 et 50 mètres. La plaine ne s'ouvre que sur quelques kilomètres sur la mer Méditerranée (Loucif et Bonafonte, 1977) (Figure 3).

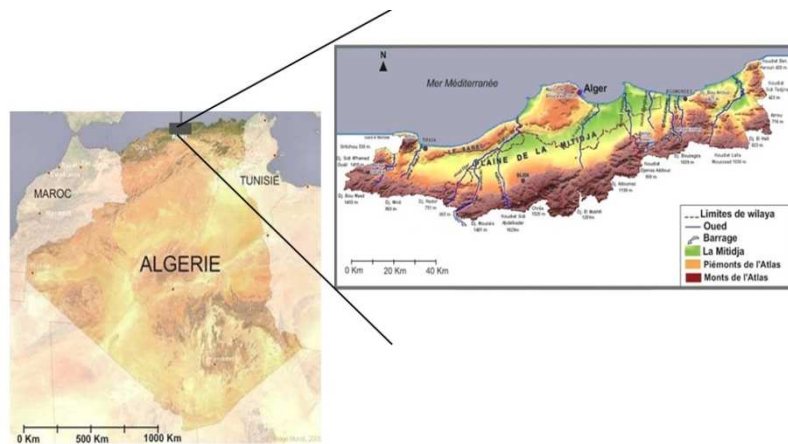


Figure3: Localisation géographique de la plaine de la Mitidja

Echelle: 1/500 000
Source support: Googleearth

2.2. Climat de la région d'étude

L'Algérie est un pays soumis à l'influence conjuguée de la mer, du relief et de l'altitude. Le climat est de type méditerranéen extratropical tempéré. Il est caractérisé par une longue période de sécheresse estivale variant de 3 à 4 mois sur le littoral, de

5 à 6 mois au niveau des Hautes Plaines, et supérieure à 6 mois au niveau de l'Atlas Saharien (Allal-Benfekih, 2006).

Les précipitations annuelles en Mitidja ont un régime typiquement méditerranéen avec un maximum en hiver et un minimum en été. Cette distribution inégale des précipitations au cours d'un cycle annuel et l'alternance saison humide et saison sèche conditionnent les activités biologiques des ravageurs. Les précipitations annuelles ont lieu principalement durant l'hiver et le printemps ; c'est en été, saison sèche que les plus faibles précipitations sont enregistrées. En Mitidja, la précipitation moyenne est de 107,4 mm en mois de décembre, le mois le plus humide alors que, le mois de juillet s'érige comme étant le mois le plus sec avec seulement 2,69 mm en moyenne (1995 à 2010) (INRH in Tchaker, 2011).

Sur le plan thermique, Les mois les plus froids sont janvier et février avec des températures moyennes minimales respectives de 4,49 °C et 4,48 °C, et une température moyenne maximale de 20,31 °C et 22,56 °C, tandis que les mois les plus chauds sont juillet et août avec des températures moyennes maximales respectives de 37,2°C et 37,00°C et de 20,54°C suivie de 22,01 °C comme températures moyennes minimales.

Le diagramme Ombrothermique établie pour la période (1995 à 2010) se caractérise par deux périodes fondamentales: l'une humide de sept mois s'étalant de janvier à avril puis de octobre à décembre, l'autre sèche d'un intervalle de cinq mois de mai à septembre (Annexe) (INRH in Tchaker, 2011).

3. Présentation du site d'étude

Notre expérimentation a été effectuée au niveau de l'aire de repos de Boumedefaa (wilaya de Ain-defla), sur l'autoroute ouest qui se trouve à environ 52 KM de Blida ; sur des essences d'alignement de peuplier noir *Populus nigra* âgées entre 2 à 3 ans, où nous avons pulvérisé nos fertilisants (Figure 4).

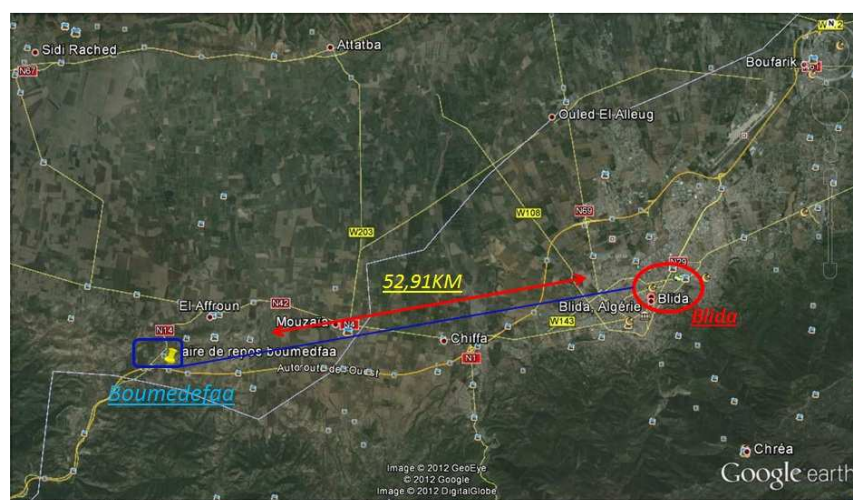


Figure 4 : Présentation du site d'étude
(Source support : Google Earth, 2012)

4. Matériel d'étude

4.1. Matériel biologique

4.1.1. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé au cours de notre expérimentation appartient à une essence forestière arbustive le peuplier noir *Populus nigra var. italica*. Cette espèce a été choisie comme modèle biologique dont nous nous sommes intéressés au feuillage. L'évolution des surfaces foliaires a été prise comme paramètre d'étude. Les feuilles ont été récoltées dans la région de Boumedefâa durant la période estivale (14juin-08juillet) (Figure 5).



**Figure 5: Arbres du peuplier noir choisis pour l'expérimentation
(Original, 2012)**

4.1.2. Matériel animal

Le puceron étudié est le phénotype fondatrigenes de *Chaitophorus leucomelas* (*Aphididae, Homoptera*) évoluant principalement sur les feuilles de *Populus nigra*. Le matériel biologique animal choisi est destiné à l'évaluation de l'efficacité des produits appliqués sur la stimulation des défenses naturelles (SDN) (Figure 6).



Figure 6 : Fondatrigènes adultes aptères et larves de *Chaitophorus leucomelas* (G x25) (Originale, 2012)

4.2. Fertilisants utilisés

Nos traitements ont comporté deux fertilisants formulés (un jus de lombricompost et un correcteur de carence à base d'Oglio- éléments) en comparaison avec un biofertilisant homologué à base d'algues marines. Les trois traitements ont été utilisés en forme liquide dilués dans l'eau et pulvérisés sur feuilles à des doses respectives de 1/1000 ,1/1000 et 3/1000 (fertilisant ml/eau ml).

Jus de lombricompost formulé : C'est une formulation liquide à base de jus de lombricompost principe actif, dont le produit fini est à 1%. Dans cette formulation l'activité du principe actif est favorisée par un mélange d'agent mouillants, plastifiants et des pénétrants. La formulation finale est utilisée à 1/1000 (biofertilisant formulé/eau).

Correcteur de carence formulé : C'est une solution formulée préparée à base d'oligo-éléments dont la dilution finale utilisée est 1/1000(fertilisant/eau)

Les deux produits formulés, sont élaborés en partenariat avec Dr Zebib B et Dr Merah O. de l'Université de Toulouse (France).

Produit homologué Algasmar Il s'agit d'une solution à base d'algues marines, homologuée et commercialisée, utilisée comme correcteur de carence, fournie par les laboratoires BAYER.

5. Méthodes d'étude

A partir du matériel biologique animal déterminé, nous avons essayé de vérifier et d'évaluer l'efficacité des fertilisants (fertilisants formulés et biofertilisant homologué) sur le développement de la surface de la feuille du peuplier noir *Populus nigra* et ses retombées sur la structuration populationnelle de *Chaitophorus leucomelas*.

Pour ce faire, l'effet comparé des fertilisants : un jus de lombric formulé, un correcteur de carence formulé à base d'oligo-éléments et un biofertilisant homologué à base d'algues marines a été estimé par voie foliaire comme le montre le schéma directeur (Figure 7).

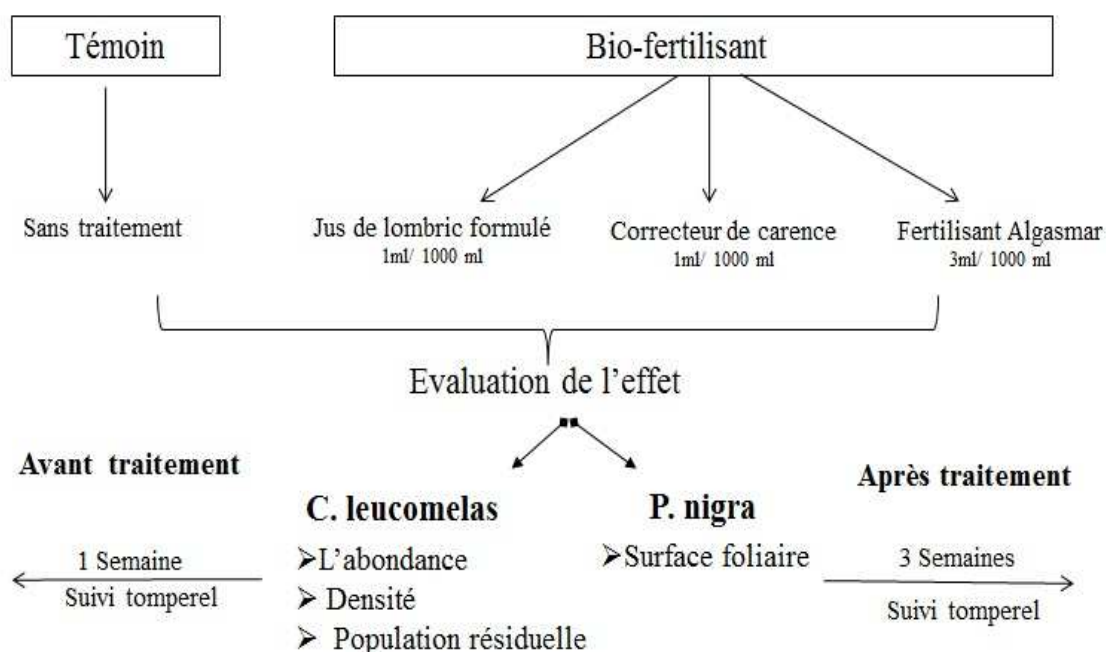


Figure 7 : Schéma récapitulatif des traitements appliqués

6. Dispositif expérimental et application des traitements

Au niveau de la station choisie pour réaliser cette étude, nous avons installé des transects végétaux qui seront considérés comme des blocs expérimentaux (unité traitée et unité non traitée). Les biofertilisants appliqués sont pulvérisés sur 3 blocs (unités traitées) tandis que le bloc témoin est gardé sans traitement, chaque bloc comportant 3 arbres de *Populus nigra* infestées par *Chaitophorus leucomelas* pendant la période estivale (14 juin-08juillet 2012) ; il est à signaler que la pulvérisation a été faite à l'aide de petits pulvérisateurs manuels (contenance 1 litre) sur toutes les feuilles des arbres traitées et ceci tôt le matin avant les grandes chaleurs pour permettre une meilleure assimilation des produits par les stomates des feuilles.

Le premier bloc traité a subi un traitement par un biofertilisant à base de jus de lombric formulé à une dose de (1ml/1000ml.) Le deuxième bloc a subi un traitement fertilisant à base d'un correcteur de carence formulé à base d'oligo-éléments à la dose (1ml. /1000ml). Le troisième bloc a reçu un traitement au bio-fertilisant homologué à base d'algues marines à une dose de (3ml. /1000ml). Alors que le dernier bloc est maintenu comme témoin où il a reçu une application à l'eau courante.

Les applications ont été répétées trois fois. Le suivi des populations et le nombre de sorties sur site d'expérimentation et le nombre de prélèvements a été maintenu à huit sorties à raison de deux sorties par semaine (sorties bihebdomadaires) pour une durée de 25 jours (Figure 8).

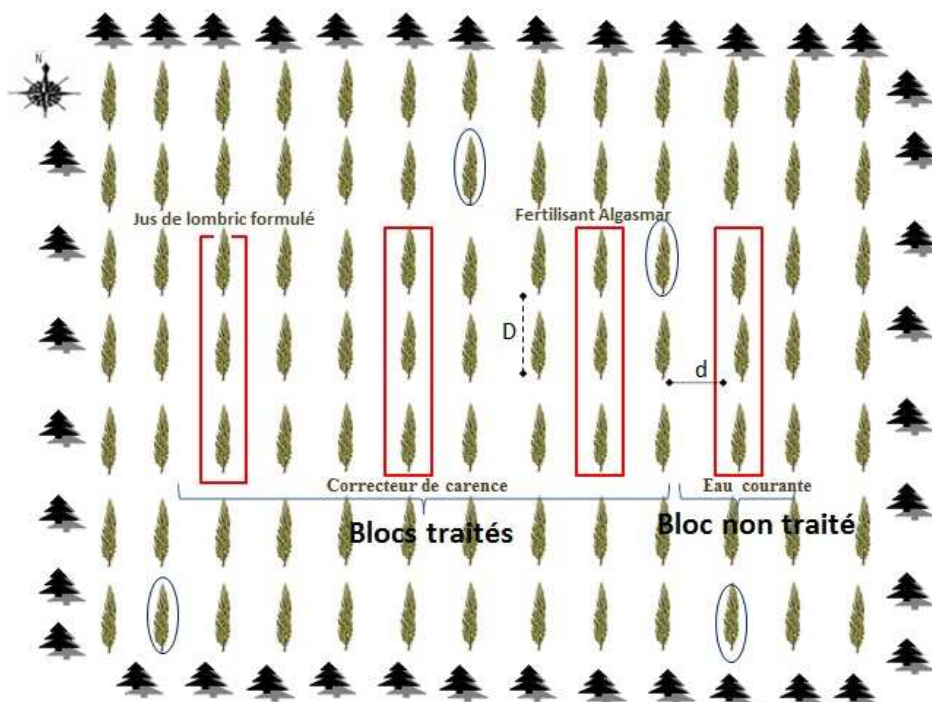




Figure 8 : Localisation des essences retenues pour l'application des fertilisants (Originale, 2012)

Légende:  : Peuplier noir ;  : Arbre arrachés
 D ; distance entre chaque arbre traités : 3 m, d : distance entre chaque ligne d'arbre traités 5 m.

7. Techniques de prélèvements et d'évaluation

L'échantillonnage a été mené selon la méthode des transects proposé par Frontier (1983). A partir des 12 arbres obtenus par le biais des placeaux d'observations, nous avons prélevés cinq feuilles de chaque direction cardinale à raison de deux prélèvements par semaine. Tous les prélèvements et observations ont été réalisés à hauteur d'homme, les feuilles sont placées dans un sac en plastique ; pour l'identification des sachets, une étiquette sur chacun portant toutes les informations nécessaires (date de prélèvement, N° d'arbre, la direction, N° du bloc) est obligatoire. Les échantillons prélevés sur champ vont subir un complément de mesure au laboratoire ; estimation de la surface foliaire de la plante hôte, estimation de l'abondance des différents stades (adultes et larves) de *Chaitophorus leucomelas*.

7.1. Calcul de la surface foliaire

Le calcul de la surface des feuilles de peuplier noir a été faite par la formule mathématique $(L \times l)/2$ proposée par le docteur Merah (com. Per.) et ceci par analogie à la forme géométrique d'un triangle exprimée en Cm^2 (Figure 9).

- L: longueur de la feuille (hauteur d'un triangle par approximation).
- l: largeur de la feuille (la base d'un triangle par rapprochement).



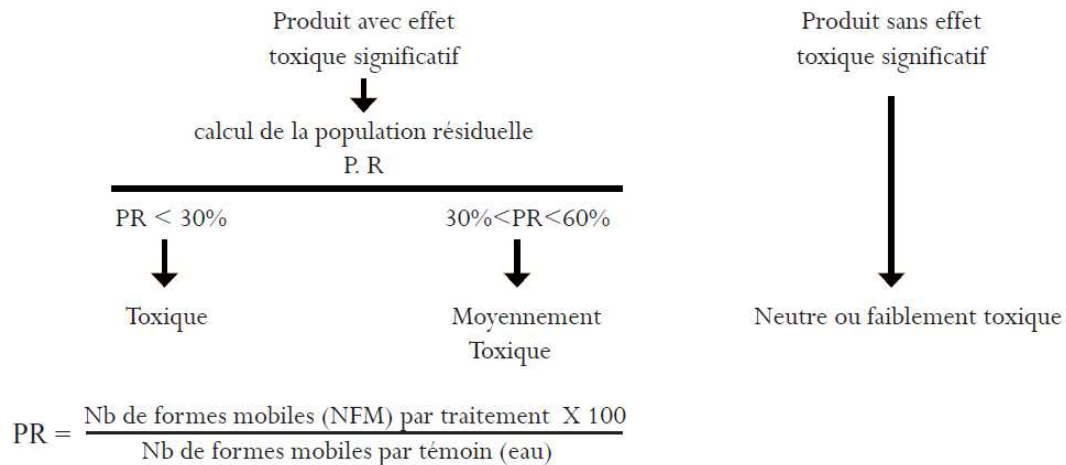
Figure 9 : Forme géométrique de la feuille du peuplier noir (Original; 2012)

7.2. Calcul de la densité des pucerons

C'est (le nombre de pucerons par feuille) / (la surface de la feuille), exprimée en nombre d'individu par Cm^2

8. Evaluation des populations résiduelles de *Chaitophorus leucomelas*

L'évaluation de l'effet des traitements appliqués a été estimée par la comparaison des populations résiduelles (P.R.) selon le Test de DUNNETT (Magali, 2009)



9. Analyses statistiques

9.1. Analyses de variance (SYSTAT vers. 12, SPSS 2009)

Lorsque le problème est de savoir si la moyenne d'une variable quantitative varie significativement selon les conditions (Types de fertilisants, formes biologiques du bioagresseur, etc...), il est préconisé de réaliser une analyse de variance. Dans les conditions paramétriques (ANOVA pour Analysis of Variance), la distribution de la variable quantitative doit être normale. Dans certains cas, une transformation logarithmique a été nécessaire afin de normaliser cette distribution.

Dans les cas où plusieurs facteurs sont en jeu, il peut arriver que toutes les interactions entre facteurs ne soient pas pertinentes à tester. Nous avons alors utilisé le modèle linéaire global (G.L.M.).

9.2. Analyses multivariées (PAST vers. 1.37, Hammer *et al*, 2001)

Dans le cas de variables quantitatives, les relations multivariées sont étudiées à l'aide d'une analyse en composantes principales (A.C.P.) (Ter Braak et Prentice, 1988). Dans cette analyse, les densités des formes biologiques ainsi que les surfaces foliaires sont groupées selon leur réaction aux différents fertilisants étudiés. A partir des trois premiers axes de l'analyse factorielle, une classification ascendante hiérarchique des formes biologiques et surfaces foliaires sont réalisées dans le but de détecter des discontinuités inter-applications.

9.3. Corrélations-régressions (PAST vers. 1.37, Hammer *et al*, 2001)

Lorsque 2 variables quantitatives varient conjointement, on doit mesurer la significativité du coefficient de corrélation. En conditions paramétriques, il s'agit du coefficient r de Pearson et en conditions non paramétriques, du coefficient rho de Spearman. L'équation de la droite de régression est calculée lorsque les distributions sont en accord avec la normalité et que le coefficient de Pearson est significatif.

Chapitre 3

Résultats

...On s'aperçoit, à méditer le travail mathématicien, qu'il provient toujours d'une extension d'une connaissance prise sur le réel et que, dans les mathématiques mêmes, la réalité se manifeste en sa fonction essentielle : faire penser.

Gaston Bachelard. *Le nouvel esprit scientifique*, 1934.

CHAPITRE 3 : Résultats

Les résultats relatifs aux effets des fertilisants formulés utilisés (fertilisant de jus de lombricompost et le correcteur de carence) en comparaison avec le fertilisant homologué sur l'état phytosanitaire et l'expansion de la surface foliaire du peuplier noir *Populus nigra* sont présentés dans ce chapitre.

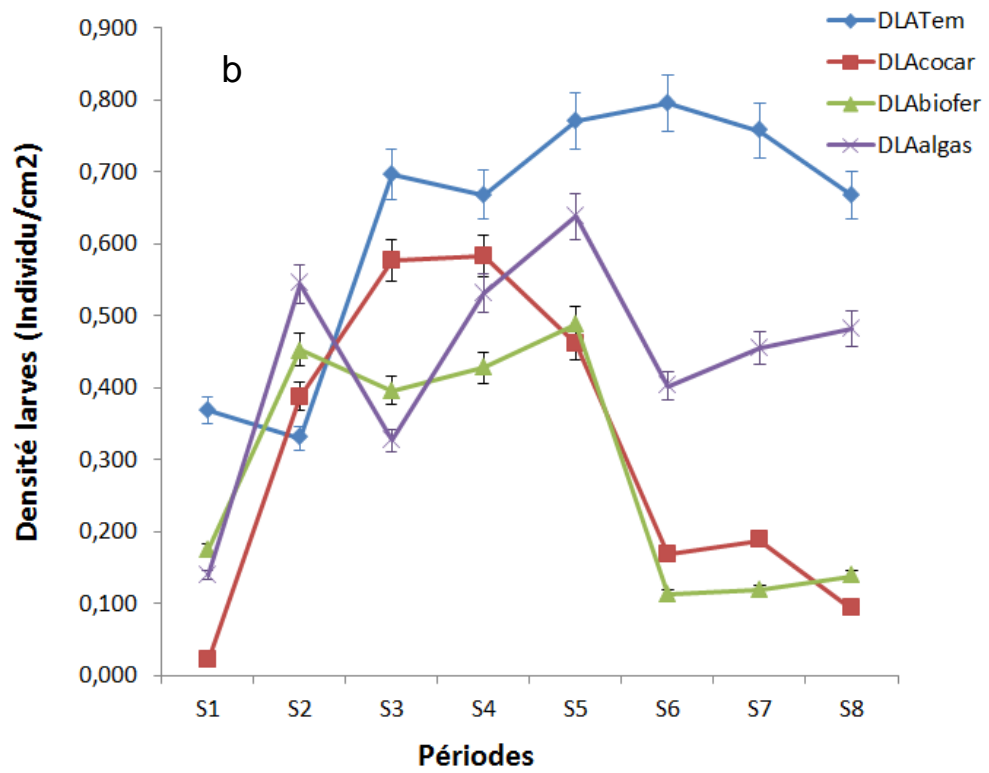
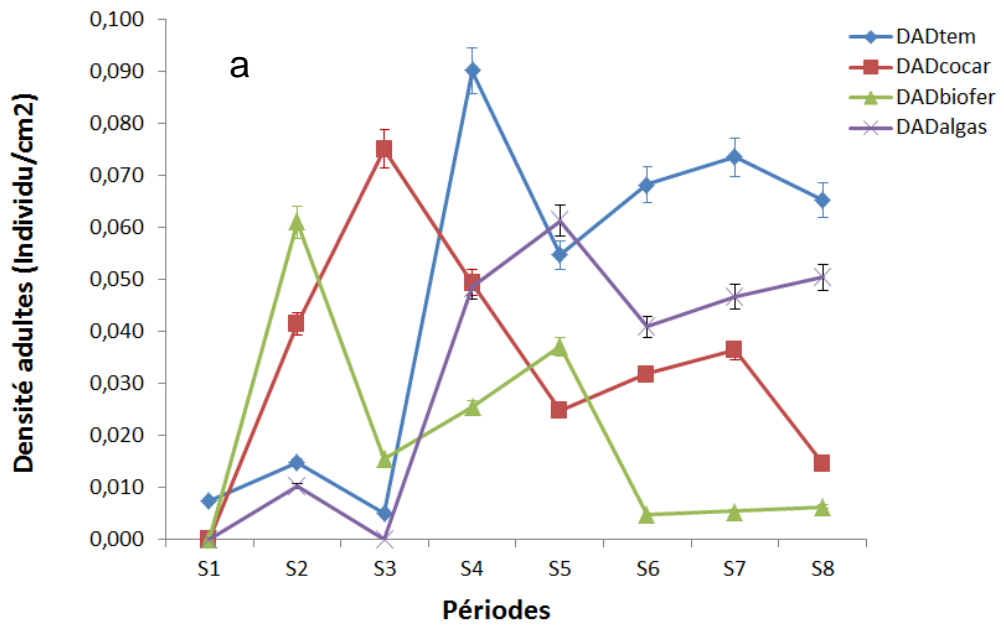
1. Effet des différents fertilisants sur la densité des populations de *Chaitophorus leucomelas*

1.1. Evolution temporelle de la densité des formes biologiques de *Chaitophorus leucomelas* sous l'effet de différents fertilisants

La tendance générale de l'évolution temporelle des densités des fondatrigenes (adultes et larves) de *Chaitophorus leucomelas* sous l'effet des fertilisants (Figure 10) montre une efficacité démarquée du jus de lombricompost formulé (Biofer), du correcteur de carence (Cocar) et de l'extrait d'algues marine (Algasmar) par rapport au témoin (tem) et ceci à partir du quinzième jour après application.

Le graphe(Figure10a) présente l'évolution temporelle des densités des adultes sous l'effet des différents fertilisants foliaires utilisés(jus de lombricompost, le correcteur de carence et algasmar); on remarque que les différents traitements apportés par voie foliaire ont montré une nette diminution des densités des adultes par rapport au témoin et cela à partir de la cinquième sortie, avec un meilleur résultat pour le jus de lombricompost formulé suivi du correcteur de carence et enfin l'algasmar. Signalant une légère reprise des densités durant les deux dernières semaines de l'expérimentation pour ce dernier.

De même pour les densités des larves (Figure 10b) où l'effet de nos traitements est remarquable par rapport au témoin, avec un meilleur abaissement pour le correcteur de carence et le jus de lombricompost, tandis que l'algasmar affichait une réduction moindre des densités larvaires, avec une reprise biocénotique affichée dès la sixième sortie pour ce dernier.



a

Figure 10: Evolution temporelle des densités de *Chaitophorus leucomelas* sous l'effet de différents fertilisants.

S : sortie ; tem : Témoin ; D : densité ; LA : larves ; AD : Adultes .

1.2. Evaluation de l'effet des différents fertilisants sur la densité des formes biologiques de *Chaitophorus leucomelas*

L'analyse en composantes principales, effectuée avec le logiciel PAST ver 1.95 (Hammer *et al*, 2001), et à partir des résultats, un effet temporel très contrasté est signalé entre les différentes molécules et les densités des formes biologiques de *Chaitophorus leucomelas*. L'analyse est satisfaisante pour l'ensemble des paramètres étudiés dans la mesure où plus de 80% de la variance sont exprimés sur les 2 premiers axes (Figure 11).

La projection des vecteurs à travers le premier axe 1 (49,55%), montre l'effet temporel de l'action des traitements sur les adultes est très net. La projection des vecteurs fait ressortir l'effet précoce de l'extrait d'algues alors que le jus de lombricompost et le correcteur de carence leur action ne se fait remarquée qu'à partir de la quatrième sortie. La reprise biocénotique des densités sous l'effet de l'extrait d'algues ce justifie par le rapprochement de ses densités aux densités du témoin. En revanche, la projection des nuages des points à travers l'axe2 (30,14%), montre que l'effet du jus de lombricompost et le correcteur de carence se ressemblent et ils corrélaient positivement, et se démarquent nettement de l'algasmar et le témoin qui eux aussi sont corrélés positivement (Figure11a).

Scorant l'action des différents traitements sur la densité des larves, on note qu'elle est différente que celle des adultes. L'analyse en composantes principales est satisfaisante où plus de 80% de la variance sont exprimés sur les deux premiers axes (Figure11b).

La projection des variables par l'axe 1 (56,94%) (Figure 11b) montre que l'effet du jus de lombricompost et le correcteur de carence et l'algasmar sur la densité des larves se rapproche et qui se distingue par rapport à celui du témoin avec une corrélation positive entre les trois fertilisants.

L'axe 2 (29,54%) désigne l'effet temporel des traitements sur les densités des larves où le facteur temps montre une certaine efficacité des fertilisants et ceci à partir de la troisième sortie jusqu'à la cinquième sortie, au-delà, l'efficacité de l'Algasmar diminue.

Enfin, il est à signaler que l'analyse en composantes principales sur l'effet des traitements fertilisants sur la densité des différentes formes biologiques (adultes et larves) est appréciable pour les trois fertilisants par rapport au témoin. et que leur action est différente dans le temps avec une meilleure précocité pour les traitements formulés par rapport au traitement homologué. et au témoin.

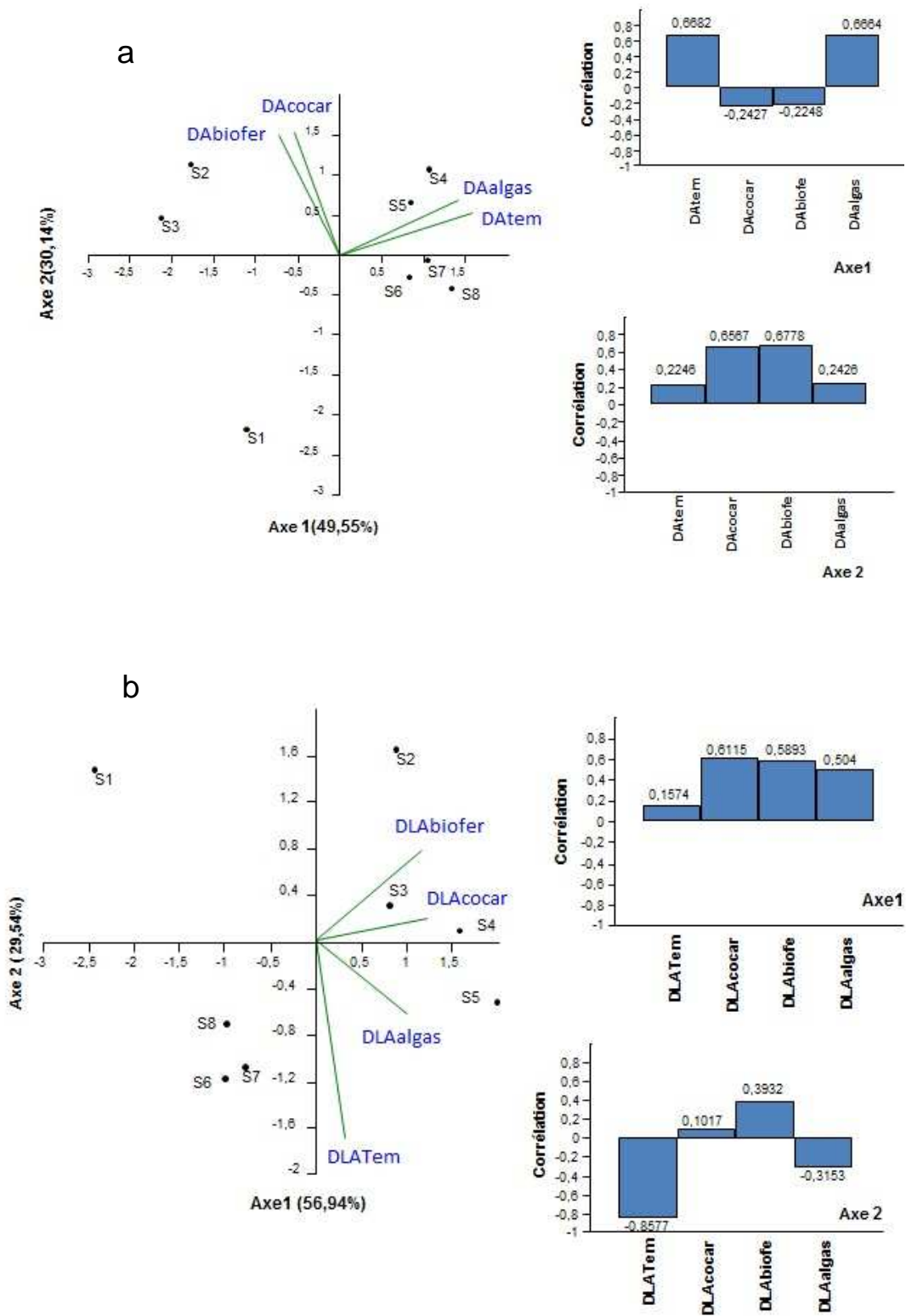


Figure 11: Projection des densités de *Chaitophorus leucomelas* sur les deux axes de l'ACP

1.3. Etude comparée de l'effet des différents fertilisants sur les différentes formes biologiques de *Chaitophorus leucomelas*

Nous avons utilisé le modèle général linéaire (G.L.M), de manière à étudier l'activité stimulatrice des défenses naturelle des plantes (SDN) de différents fertilisants sur la densité des fondatrigènes de *Chaitophorus leucomelas*. Ce model permet d'étudier l'effet strict des différents facteurs sans faire intervenir les interactions entre eux, le nombre d'analyse est limité à 496 (Figure 12)

Les résultats de l'analyse de la variance montrent que la période (F-ratio=2,252 ; $p=0,029$; $p < 0,05$) exerce un effet significatif sur la densité des populations de *Chaitophorus leucomelas*. Ce mode d'analyse nous permis de remarquer que les densités évoluent dans le temps (Tableau 1 Figure 12a).

L'effet des traitements montre une différence très hautement significatif entre les différents fertilisants (F-ratio=14,667 ; $p=0,000$; $p < 0,1\%$) avec une meilleure efficacité pour le jus de lombricompost et le correcteur de carence suivi de l'algasmar et en fin le témoin (Tableau1 Figure12b).

Tableau 1: Résultats du modèle G.L.M. appliqué à l'effet temporel des fertilisant sur les formes biologiques de *Chaitophorus leucomelas*

Facteurs	Somme des carrés	D.D.L	Carrés moyens	F-ratio	P
Périodes	3,04	7	0,43	2,25	0,029*
Traitements	8,49	3	2,83	14,67	0,000***
Formes	23,64	1	23,64	122,49	0,000***
Var. intra	93,42	484	0,19	-	-

*** très hautement significative $p < 0,001\%$, * : significative $p < 0,5\%$; NS : Non significative.

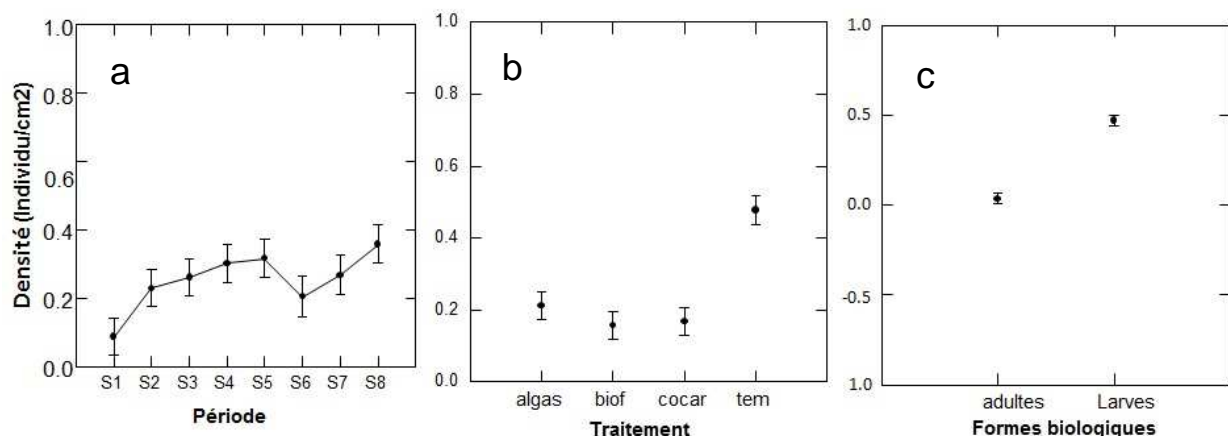


Figure 12: Effet des différents fertilisants sur les différentes formes biologiques de *Chaitophorus leucomelas*

L'estimation des densités des différentes formes biologiques sous l'effet des molécules fertilisantes, affiche une différence très hautement significative (F-ratio=122,493 ; p=0,000 ; p<0,1%) où il apparait que l'effet des traitements fertilisants est plus important sur la densité des adultes que sur la densité des larves (Tableau1 Figure 12c).

Quant à l'interaction des différents traitements utilisés sur les différentes formes biologiques de *Chaitophorus leucomelas* et leur évolution simultanée dans le temps, on note que cette interaction est très hautement significative (F-ratio=2,60 ; p=0,000 ; p<0,1%) (Tableau 2)

Tableau 2 : Résultats du modèle ANOVA. appliqué à l'effet temporel des fertilisant sur les formes biologiques de *Chaitophorus leucomelas*

Facteurs	Somme des carrés	D.D.L	Carrés moyens	F-ratio	P
Périodes	3,04	7	0,43	2,88	0,006**
traitements	8,93	3	2,97	19,76	0,000***
Formes	23,41	1	23,41	155,41	0,000***
Périodes x Traitements	96	21	0,54	3,63	0,000***
Périodes x Formes	2,02	7	0,28	1,91	0,065
Traitements x Formes	6,87	3	2,29	15,21	0,000***
PériodesxTraitementsxFormes	8,25	21	0,39	2,60	0,000***
Var. intra	65,09	432	0,15	-	-

*** très hautement significative p<0,001%, * : significative p<0,5% ; NS : Non significative.

2. Effet des différents fertilisants sur les populations résiduelles de *Chaitophorus leucomelas*

2.1. Evolution temporelle des populations résiduelles de *Chaitophorus leucomelas* sous l'effet de différents fertilisants

Les populations de *Chaitophorus leucomelas* sont soumises à des applications par un jus de lombricompost formulé et un correcteur de carence à base d'oligo-éléments et un fertilisant à base d'algues marines.

L'évolution temporelle des populations résiduelles de *Chaitophorus leucomelas* montre que les produits appliqués présentent une efficacité importante pour le jus de lombricompost et le correcteur de carence et l'algasmar à partir de la deuxième sortie, avec une action précoce sur les différentes formes de *Chaitophorus leucomelas* et une durée d'efficacité longue étalée jusqu'à la fin de l'expérimentation. Sauf que pour les populations traitées par l'algasmar où on a enregistré une reprise biocénotique des populations résiduelles à partir de la cinquième sortie de l'expérimentation (Figure13)

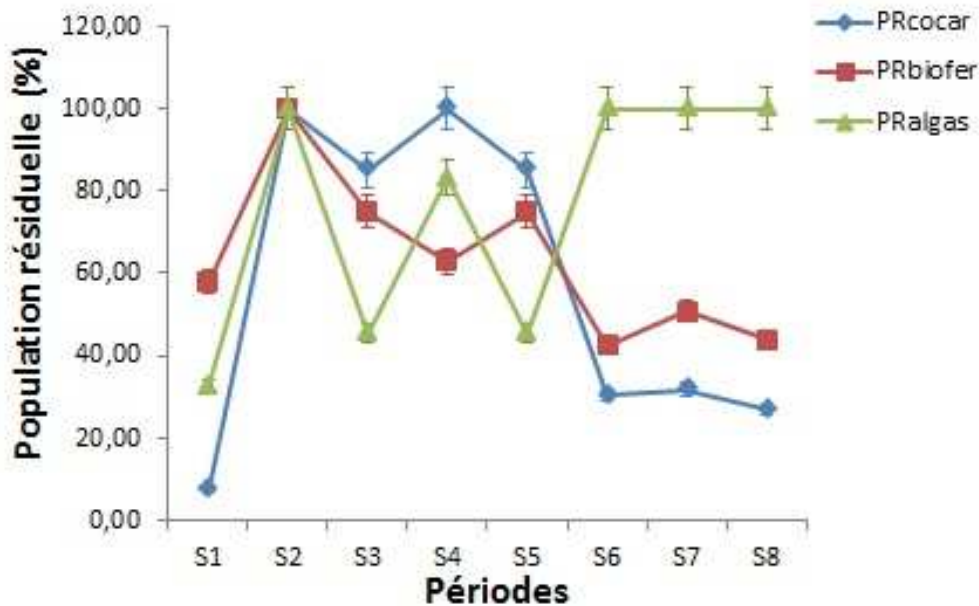


Figure 13: Evolution temporelle des populations résiduelles de *Chaitophorus leucomelas* sous l'effet de différents fertilisants

2.2. Evaluation de l'effet des différents fertilisants sur les populations résiduelles de *Chaitophorus leucomelas*

L'Analyse en Composantes Principales (A.C.P.) effectuée sur l'incidence des fertilisants sur l'évolution des populations résiduelles de *Chaitophorus leucomelas* est satisfaisante dans la mesure où près de 80 % de l'information est exprimée sur les 2 premiers axes (Figure 14).

L'axe 1 (60,28%) montre une certaine distinction d'efficacité entre les traitements fertilisants formulés par rapport à l'algasmar homologué sur les populations résiduelles de *Chaitophorus leucomelas*, il est à noter aussi qu'il y a une similitude d'effet avec une corrélation positive entre le jus de lombricompost et le correcteur de carence (figure 14).

Cependant le deuxième axe 2 (32,90%) désigne l'effet temporel des traitements où l'aboutissement des traitements se fait remarquer précocement dès la deuxième sortie pour voir faire décroître d'efficacité vers la fin de l'expérimentation.

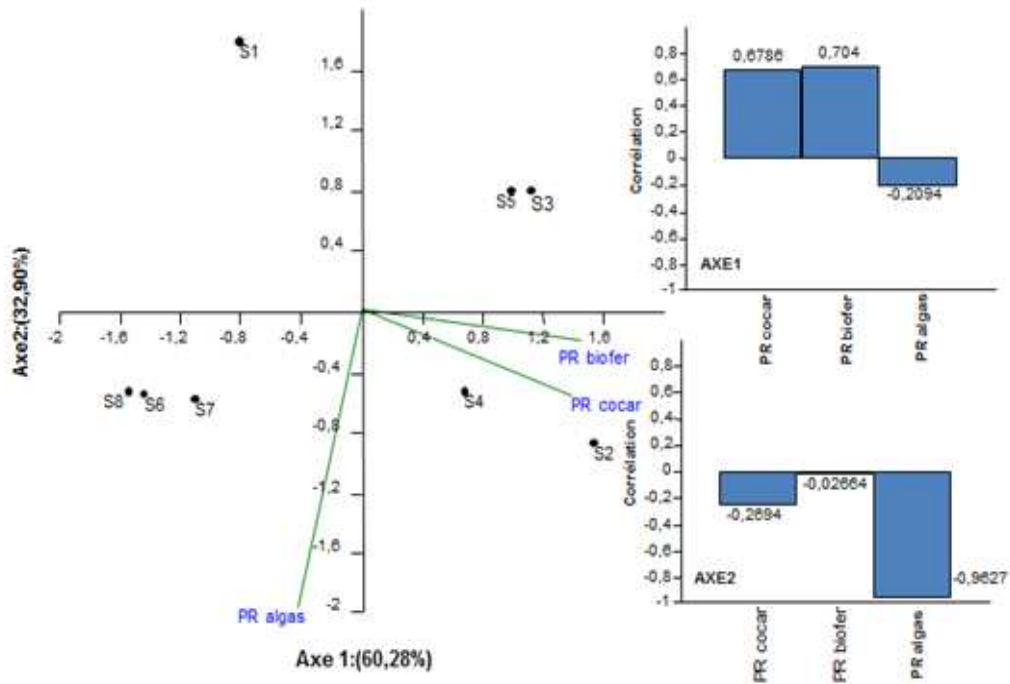


Figure 14: Projection des populations résiduelles de *Chaitophorus leucomelas* sur les deux axes de l'A.C.P.

2.3. Etude comparée de l'effet des différents fertilisants sur les populations résiduelles de *Chaitophorus leucomelas*

Nous avons appliqué le modèle général linéaire G.L.M., aux taux des populations résiduelles des Fondatrigènes de *Chaitophorus leucomelas* de manière à étudier la capacité protectrice des produits fertilisants (Figure 15).

Les résultats montrent que le temps a un effet très hautement significatif (F-ratio=6,53 ; $p=0,000$; $p<0,1\%$) sur les populations résiduelles, puisque ces dernières ont augmenté pour atteindre le maximum durant la cinquième sortie puis les taux rechutent pour atteindre les valeurs les plus faibles à partir de la septième sortie (Tableau 3; Figure15a).

Bien que la probabilité ne présente pas une tendance à la significativité entre l'effet des différents fertilisants sur les populations résiduelles (F-ratio=1,09 ; $p=0,336$; $p>5\%$) (Tableau 3), mais le graphe (Figure 15b).peut nous renseigner d'un effet favorisant l'action protectrice des produits formulés par rapport au produit homologué.

Quant à l'interaction de l'effet des différents fertilisants utilisés dans le temps (F-ratio=0,81 ; p=0,654 ; p>5%) on remarque que l'interaction est non significative (Tableau 3).

Tableau 3 : Résultats du modèle ANOVA. appliqué à l'effet temporel des fertilisant sur les populations résiduelles de *Chaitophorus leucomelas*

Facteurs	Somme des carrés	D.D.L	Carrés moyens	F-ratio	P
Périodes	141731,97	7	20247,42	6,53	0,000 ^{***}
Traitements	6799,14	2	3399,57	1,09	0,336 ^{NS}
Période × Traitements	35262,10	14	2518,72	0,81	0,654 ^{NS}
Var. intra	520234,19	168	3096,63	-	-

*** très hautement significative p<0,001%,* : significative p<0 ,5% ; NS : Non significative.

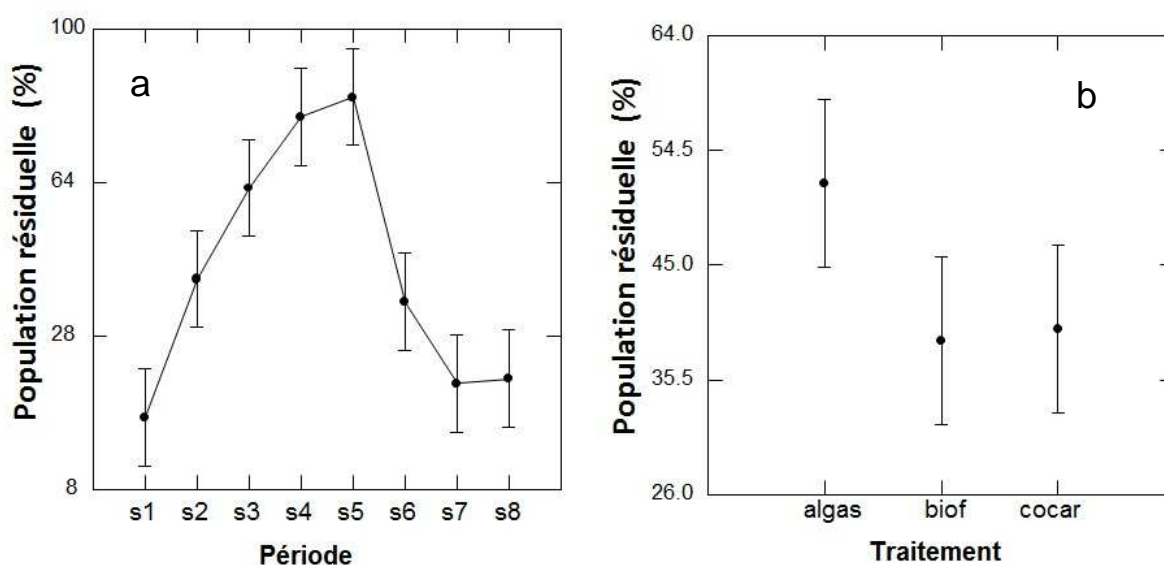


Figure 15: Efficacité comparée des fertilisants sur les populations résiduelles de *Chaitophorus leucomelas*

3. Effet des différents fertilisants sur l'expansion des surfaces foliaires de *Populus nigra*

3.1. Evolution temporelle des surfaces foliaires de *Populus nigra*

La Figure 16, montre que les fertilisants étudiés ont eu une action différente sur l'expansion de la surface foliaire de *Populus nigra* dans le temps. C'est le correcteur de carence et l'algasmar qui expriment les fortes valeurs de surfaces foliaires et ceci à partir de la cinquième sortie

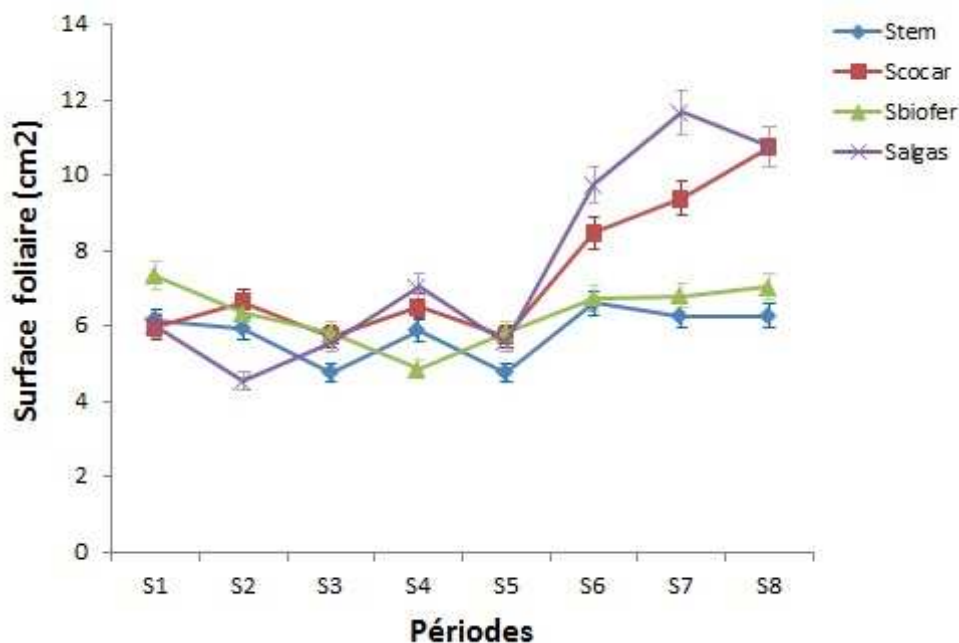


Figure 16 : Evolution temporelle des surfaces foliaires de *Populus nigra*

3.2. Evaluation de l'effet des différents fertilisants sur les surfaces foliaires de *Populus nigra*

L'Analyse en Composantes Principales (A.C.P.) effectuée sur l'incidence des fertilisants sur l'expansion des surfaces des feuilles de *Populus nigra*, montre que l'évolution des surfaces des feuilles est satisfaisante dans la mesure où plus de 80 % de l'information est exprimée sur les 2 premiers axes (Figure 17).

L'axe 1 (71,14%) montre que l'effet du correcteur de carence (Cocar) et l'algasmar sur l'expansion de la surface foliaire du peuplier noir se rapproche avec une corrélation négative et qui, se démarque de l'effet du jus de lombricompost (Biofer) et du témoin.

L'axe 2 (17,11%) montre l'effet temporel des traitements puisque l'effet des différents fertilisants sur l'expansion de la surface foliaire ne se fait remarquer qu'à partir de la sixième sortie

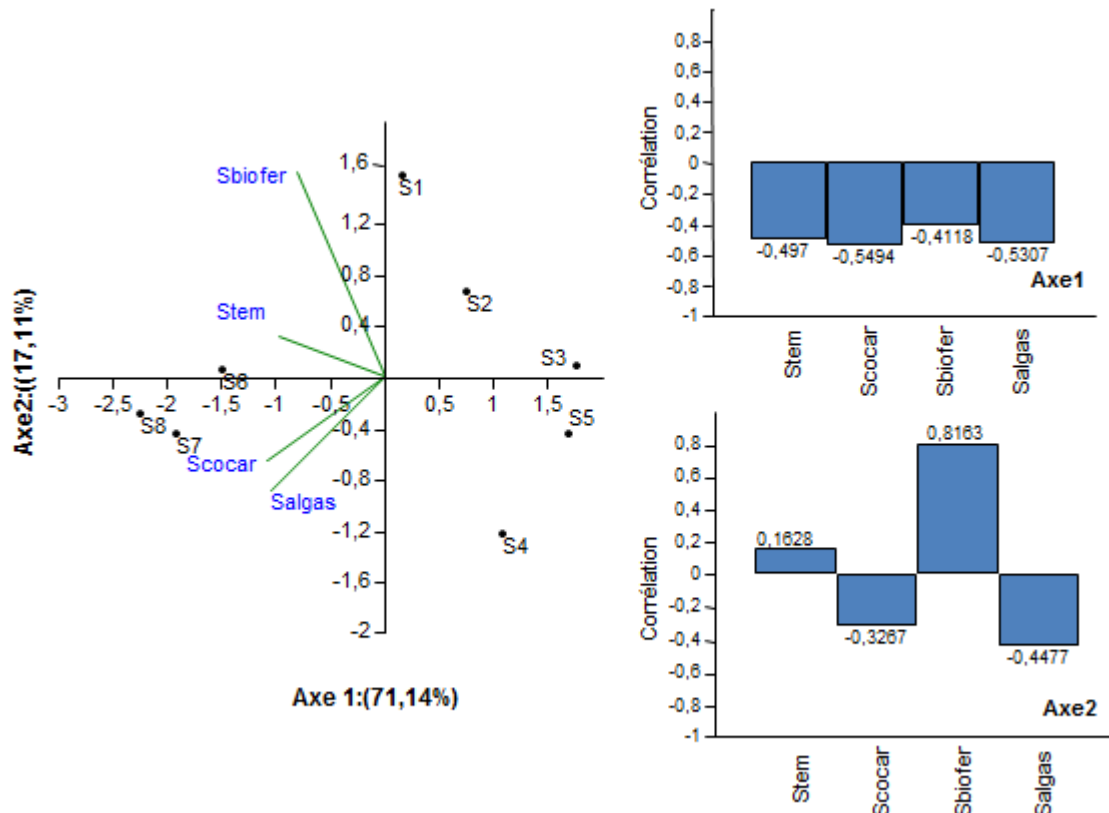


Figure17 : La projection des surfaces foliaires de *Populus nigra* sur les deux axes de l'ACP

3.3. Etude comparée de l'effet des différents fertilisants sur les surfaces foliaires de *Populus nigra*

Nous avons utilisé le modèle (G.L.M), de manière à étudier l'effet des fertilisants foliaires sur l'expansion de la surface des feuilles de *Populus nigra* .Ce modèle nous a permis de réaliser un nombre d'analyses de 256 (Tableau 4 ; Figure 18)

Tableau 4 : Résultats du modèle ANOVA appliqué à l'effet temporel des fertilisants sur la surface foliaire de *Populus nigra*

Facteurs	Somme des carrés	D.D.L	Carrés moyens	F-ratio	P
Périodes	610,915	7	87,274	16,170	0,000***
Traitements	180,520	3	60,173	11,149	0,000***
Périodes xTraitements	424,589	21	20,219	3,746	0,000***
Var. intra	1208,983	224	5,397	-	-

*** très hautement significative $p < 0,001\%$, * : significative $p < 0,5\%$; NS : Non significative.

Les résultats de l'analyse de la variance montre que le temps exerce un effet très hautement significatif sur le développement des surfaces des feuilles de *Populus nigra* (F-ratio=16,170 ; p=0,000 ; p<0,1%). Ce mode d'analyse a permis de mettre en évidence un effet marquant du temps sur l'expansion foliaire à partir de la cinquième sortie soit (deux semaines après) l'application des fertilisants foliaires (Figure 18a).

L'évolution des surfaces foliaires sous l'effet des fertilisants appliqués est très hautement significative (F-ratio=11,149 ; p=0,000 ; p<0,1%). Il apparait que l'efficacité des traitements sur l'expansion foliaire est meilleure pour le correcteur de carence et l'algasmar par rapport au jus de lombricompost (Figure 18b).

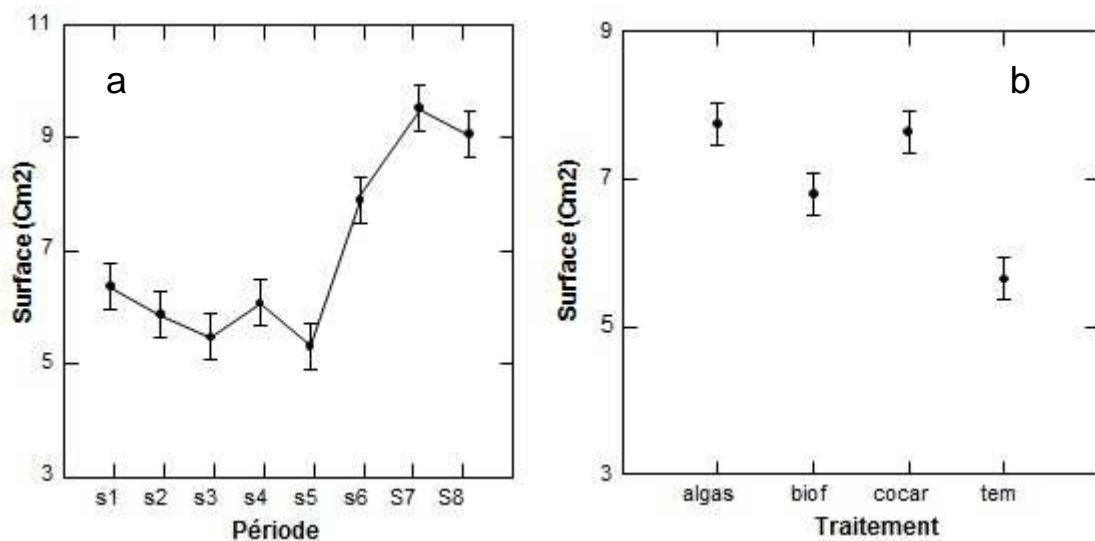


Figure18 : Effet des différents fertilisants sur les surfaces foliaires de *Populus nigra*

Quant à l'interaction de l'effet des différents traitements et le temps (période), l'analyse de la variance montre que la différence est très hautement significative entre les deux facteurs étudiés (F-ratio=3,746 ; p=0,000 ; p<0,1%) (Tableau 4).

A travers une ANOVA, la confrontation de l'effet des fertilisants et la période d'extériorisation de l'effet stimulateur sur les surfaces foliaires, la figure 19, montre une meilleure efficacité et une précocité quant à l'effet du correcteur de carence et de l'algasmar sur le développement de la surface des feuilles suivi du jus de lombricompost par rapport au témoin.

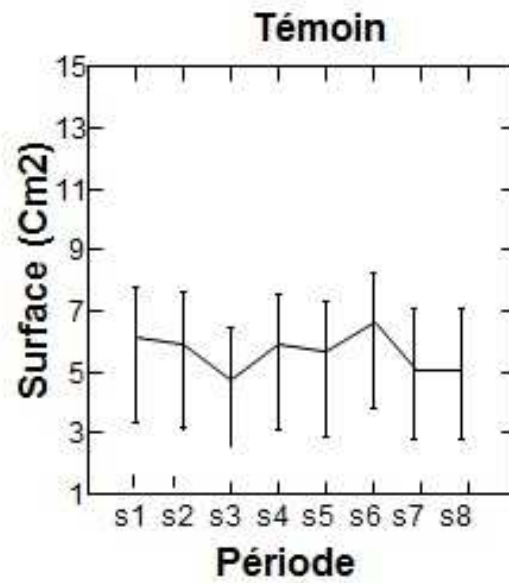
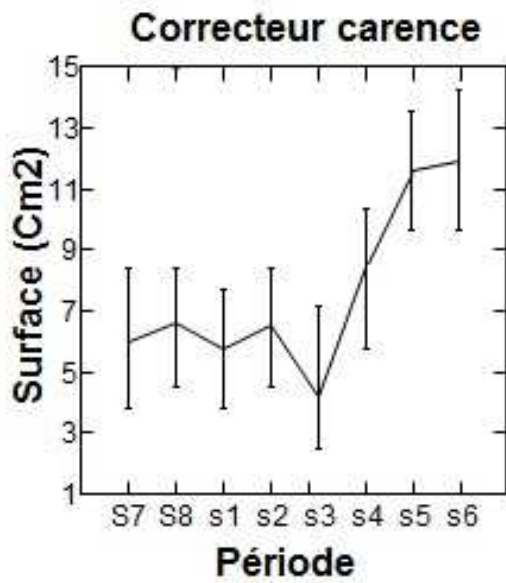
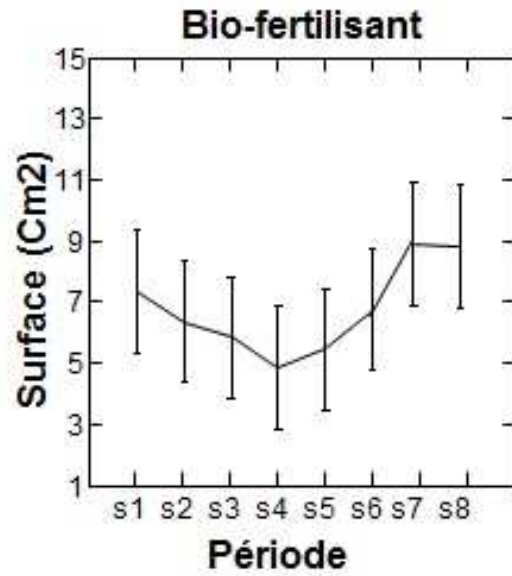
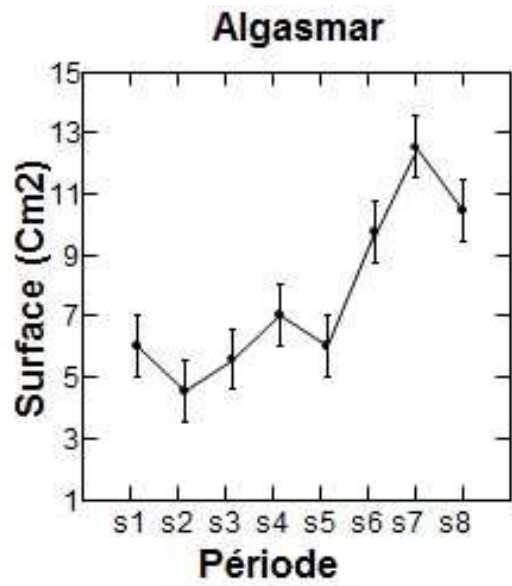


Figure 19 : Effet temporel des différents fertilisants sur les surfaces foliaires de *Populus nigra*

4. Interaction densités larvaires de *Chaitophorus leucomelas* et évolution des surfaces foliaires sous l'effet des différents fertilisants

Dans le but de vérifier la relation qui pourrait exister entre l'expansion de la surface des feuilles de peuplier noir et l'incidence qu'elle pourrait avoir sur l'abondance des individus de *Chaitophorus leucomelas* et ceci pour les différents fertilisants utilisés, nous avons fait ressortir les corrélations entre eux et ceci à travers le calcul du coefficient de Pearson.

Concernant l'effet combiné du jus de lombricompost formulé on enregistre une corrélation négative entre l'évolution des surfaces foliaire et l'abondance des larves ($r=-0,756$; $p=0,0299$; $p<5\%$). Les valeurs calculées montrent que le jus de lombricompost engendre une augmentation de la surface des feuilles et un rabaissement de l'abondance larvaire. En revanche, aucune corrélation n'est enregistrée entre l'expansion foliaire et l'abondance des adultes sous l'action du jus de lombricompost formulé ($r=0,0014$; $p=0,997$, $p>5\%$) (Figure 20a).

L'application du correcteur de carence montre une absence de corrélation entre l'expansion de la surface foliaire et l'abondance des larves et des adultes qui est vérifiée respectivement par le coefficient de Pearson ($r=0,277$; $p=0,595$; $p>5\%$) ; ($r=0,171$; $p=0,774$; $p>5\%$) (Figure 20b).

Enfin, l'application de l'algasmar montre l'existence d'une corrélation positive entre l'expansion foliaire et l'abondance des larves et des adultes qui est vérifiée respectivement par le coefficient de Pearson, ($r=0,705$; $p=0,117$; $p>5\%$), ($r=0,0845$, $p=0,033$, $p<5\%$) (Figure 20c).

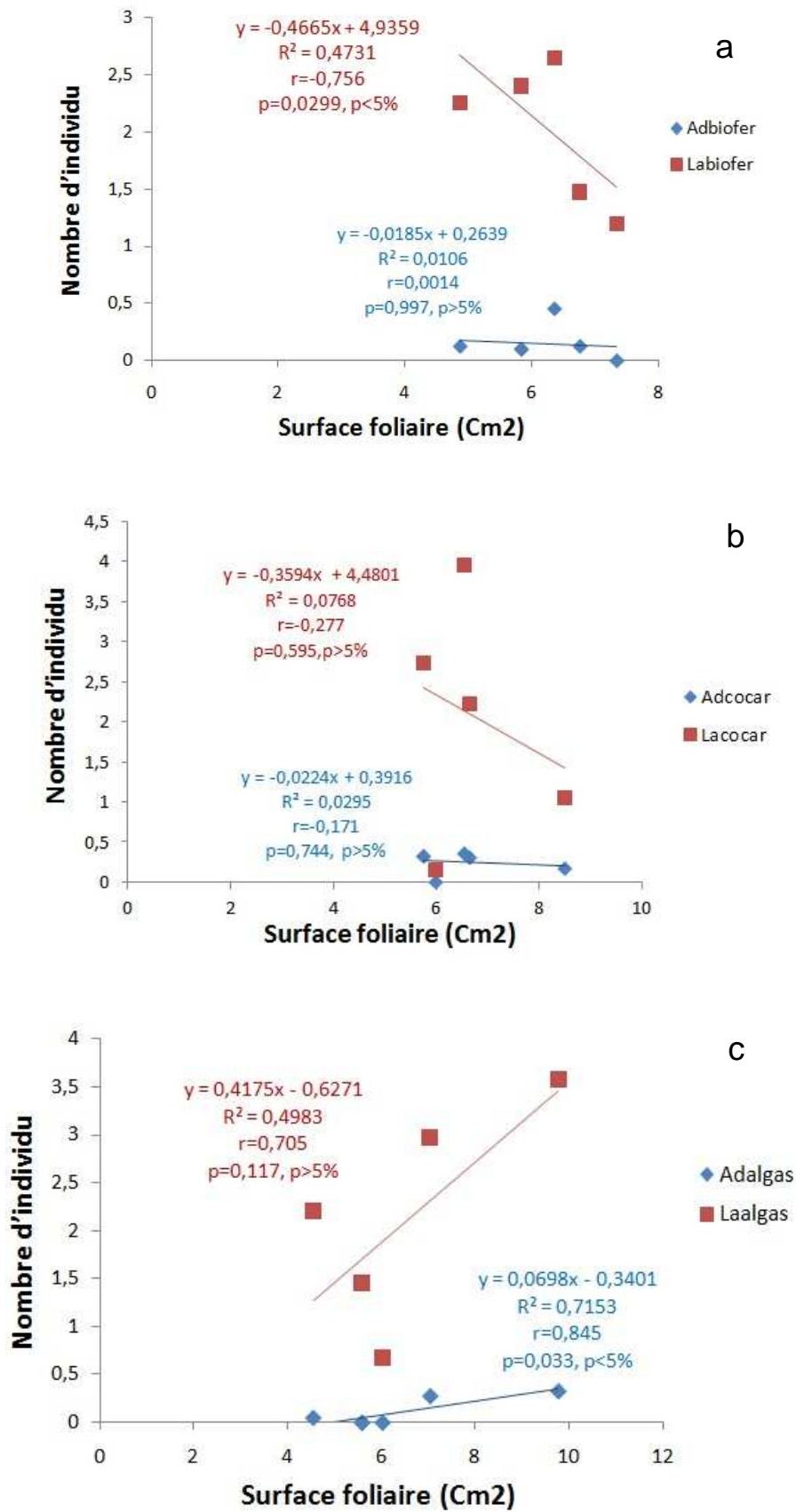


Figure 20 : Interaction densités larvaires de *Chaitophorus leucomelas* et évolution des surfaces foliaires sous l'effet des différents fertilisants

Chapitre 4

Discussion générale

Mon dessein n'est pas de faire un gros livre, et je tâche plutôt de comprendre en peu de mots.

René Descartes, *La Géométrie* 1637.

CHAPITRE 4: Discussion générale

Dans leur environnement, les plantes sont constamment sujettes à des variations climatiques ou à des agressions causées par d'autres organismes, pouvant nuire à leur bon développement. Elles ont développé, au cours de l'évolution, des stratégies efficaces et adaptées pour mieux répondre à ces stress biotiques ou abiotiques. En plus de structures physiologiques particulières qui protègent la plante de manière passive, la plante peut aussi réagir aux variations de son environnement en mettant en place des mécanismes cellulaires spécifiques. Plus précisément, une première ligne de défense est formée par la cuticule d'une part, et par la paroi végétale d'autre part. Dans la plupart des cas, cette barrière physique préexistante, à l'origine de la résistance passive, est suffisante pour se protéger des variations climatiques et des attaques de microorganismes. Pourtant, cette barrière naturelle n'est pas sans faille et peut être contournée par certains bioagresseurs. Ainsi, de manière générale, la perception d'un agresseur conduit à la mise en place d'une cascade d'événements de signalisation cellulaire, qui déclenche des réponses spécifiques de défense afin de prémunir la plante contre des attaques ultérieures. Ce type de réponse est appelée résistance active (Klarzynski et Fritig, 2001)

Malgré l'efficacité des défenses induites suite à un stress biotique, l'agression peut causer des pertes considérables de rendement, conduisant à des problèmes aussi bien économiques qu'humanitaires (Ebel et Mithöfer, 1998)

Le recours aux biofertilisants et aux biostimulants naturels constitue une voie qui pourrait réviser les patrons régissant la lutte contre les ennemis des cultures. Dans cette stratégie se trouvent les stimulateurs des défenses naturelles des plantes (SDN), une solution qui pourrait être intéressante dans l'avenir sur les plans scientifique et agronomique (Kaufmann *et al*, 2001)

Les résultats auxquels nous avons aboutis en traitant l'évaluation de l'effet des fertilisants formulés sur la disponibilité numérique des fondatrigenes de *Chaitophorus leucomelas* ainsi que sur la physionomie des feuilles de sa plante hôte *Populus nigra*, nous ont permis de dégager les hypothèses suivantes :

1. Diminution temporelle des densités du bioagresseur

Les résultats de cette étude semblent être intéressants, toutefois, ils dénotent que les traitements relatifs aux applications foliaires du biofertilisant formulé à base du jus de lombricompost et du correcteur de carence formulé à base d'oligoéléments et des algues marines ont présenté un effet répressif et/ou repoussant sur les individus des fondatrigenes induisant ainsi parfois des réductions très accusées des densités des formes larvaires et adultes de *Chaitophorus leucomelas*.

Les applications réalisées font remarquer que les fertilisants ont arboré une nette diminution des densités des adultes par rapport au témoin dès le 15^{ème} jour d'apport, avec une meilleure efficacité pour le jus de lombricompost formulé suivi du correcteur de carence et enfin l'algasmar dont nous signalons une légère reprise biocénotique des densités à partir du 20^{ème} jour du suivi. De même pour les densités des larves où nous avons signalé un effet remarquable de nos fertilisants par rapport au témoin, avec un meilleur rapetissement pour le correcteur de carence et le jus de lombricompost. En revanche, l'algasmar affichait un effet moins considérable du fait qu'une reprise des densités a été signalé dès le 20^{ème} jour du suivi.

Les mêmes effets se font remarquer pour les populations résiduelles de *Chaitophorus leucomelas* où l'évolution temporelle montre une subsistance modérée des taux des populations résiduelles sous l'effet du jus de lombricompost et du correcteur de carence qui se distinguent nettement des taux affichés sous l'effet de l'algasmar.

En se référant aux résultats on suppose que les fertilisants appliqués ont stimulé les défenses naturelles de la plante. Cet état physiologique a permis à travers une cascade de mécanismes de défenses induites (défense active) d'extérioriser l'effet répressif et/ou répulsif à l'encontre de l'évolution numérique des densités des formes biologiques larvaires et adultes de *Chaitophorus leucomelas*.

L'hypothèse apportée rejoint les nombreux travaux qui se sont intéressés à l'application des éliciteurs naturels sur les plantes, en activant préventivement ses réactions de défenses conduisant ainsi la plante à résister aux bioagresseurs, de ce fait l'utilisation judicieuse d'éliciteurs naturels pourrait permettre de diminuer la quantité de pesticides nécessaires à la protection des cultures (Pajot, 2010)

Pajot et al, (2007), estiment que la stimulation des défenses naturelles des plantes à l'aide de composés appelés éliciteurs constitue une nouvelle stratégie de protection des cultures alternative aux pesticides ou aux plantes transgéniques. L'usage de polysaccharides comme éliciteurs est fondé sur leur implication connue dans les interactions plantes/micro-organismes en tant que signaux moléculaires, et sur leur biodégradabilité. Des éliciteurs polysaccharidiques issus d'algues marines sont capables d'induire une large panoplie de réponses de défense chez les plantes, ceci en l'absence de toute infection. L'induction de cette large gamme de réponses antiparasitaires est gage de leur efficacité. Elle leur permet de conférer des résistances suffisantes pour protéger les cultures contre des maladies récurrentes.

La potentialisation des réactions de défense est très documentée, elle peut être induite par des pathogènes (Sticher *et al.*, 1997), par des organismes bénéfiques tels que les rhizobactéries (Pieterse *et al.*, 1996) ou les mycorrhizes (Pozo *et al.*, 2002), par les herbivores ou la blessure (Ton *et al.*, 2007 ; Chassot *et al.*, 2008), par un spectre de composés naturels ou synthétiques comme les LPS (lipopolysaccharides)

(Newman *et al.*, 2002), le SA (Mauch-Mani et Métraux, 1998), l'acide β -aminobutyrique (BABA ; Zimmerli *et al.*, 2000) ou la laminarine sulfatée PS3 (Trouvelot *et al.*, 2008). Les copieux travaux qui se sont intéressés à la potentialisation des réactions de défense des plantes estiment qu'au-delà de la reconnaissance du bioagresseur, la résistance de la plante dépend aussi de la rapidité et de l'intensité de la mise en place des mécanismes de défense. L'accélération et le renforcement des réponses de défense basales confèrent alors à la plante une résistance accrue aux stress biotiques. L'état physiologique dans lequel la plante est capable de mobiliser les réponses de défense plus rapidement et/ou plus intensément est appelé « potentialisation » ou « priming » (Figure 21), par analogie avec un phénomène existant chez les monocytes et macrophages. Lors de ce processus, l'application d'un premier stress permet aux cellules de répondre plus rapidement et plus intensément à un second stress, qu'il soit de nature identique ou non au premier stress appliqué. Par exemple, la reconnaissance d'un lipopolysaccharide (LPS) bactérien par les monocytes et macrophages conduit à la production de cytokines dont l'interféron γ . Cette protéine va jouer un rôle important dans la signalisation de défense puisqu'elle va conférer aux cellules la capacité accrue à répondre à de faibles doses de LPS lors d'une seconde exposition (Hayes *et al.*, 1991).

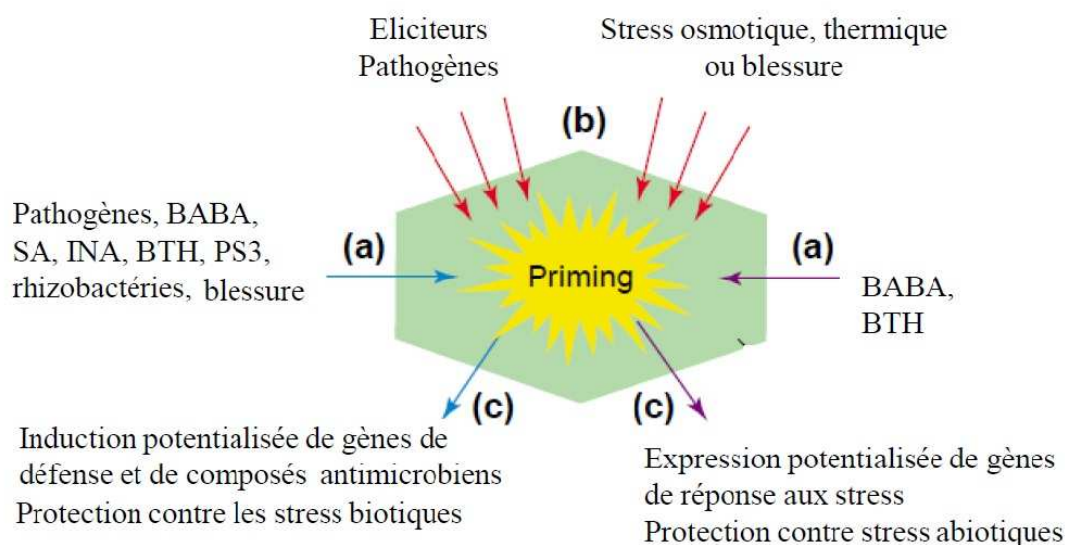


Figure 21 : Principe de protection des plantes contre différents stress par potentialisation des réponses de défense Adaptée de Conrath *et al.* (2002).

L'application préalable d'agents de potentialisation permet à la plante de développer une réponse de défense accrue après un stress de type biotique ou abiotique, conduisant à la résistance. (a) Traitement ou inoculation préalable de la plante par des agents de potentialisation tels que BABA : acide β -aminobutyrique, BTH benzothiadiazole, INA : acide dichloroisonicotinique, SA : acide salicylique, PS3 : laminarine sulfatée, pathogènes, rhizobactéries, blessure. (b) Exposition à un stress biotique ou abiotique. (c) Réponses de défense potentialisées conduisant à la protection de la plante contre le stress appliqué.

Dans un autre contexte, des études antérieures ont également montré que le traitement foliaire des plants avec du lombricompost était associé au développement de certaines réponses défensives dans les tissus des plantes hôtes (Pajot, 2010). Selon Chamel et Gambonnet (1980), l'utilisation du lombricompost par pulvérisation foliaire sur des plants de fèves a conduit à une forte diminution des densités des formes biologiques du puceron noir de la fève *Aphis fabae*, surtout la dilution du 10% , ceci peut être expliqué par certains travaux qui rejoignent nos résultats par la susceptibilité de ces produits d'enrichir la plante dans le, ou les éléments contenus dans leur formule, et il semble bien que les répercussions à en atteindre le métabolisme des ravageurs.

2. Stimulation de l'expansion temporelle des surfaces foliaires

Le résultat des fertilisants étudiés montre une action différente sur l'expansion de la surface foliaire de *Populus nigra* dans le temps les uns par rapport aux autres, c'est le correcteur de carence et l'algasmar qui ont fait augmenter le plus les surfaces des feuilles par rapport au jus de lombricompost et ceci à partir de 15^{ème} jours d'apport. L'agissement du correcteur de carence et l'algasmar sur l'expansion de la surface foliaire du peuplier noir se rapproche entre eux et qui se démarque de l'effet non négligeable du jus de lombricompost. Sur le plan échelle temporelle, les trois molécules montrent un effet stimulateur de la croissance foliaire qui accuse une différence au profit du correcteur de carence et de l'algasmar qu'à partir du 20^{ème} jour d'application. La revue des manifestations des molécules appliquée nous permet d'avancer que les fertilisants aboutissent à une correction de carence et/ou stimulation de la croissance mais ces effets dépendraient de la nature des adjuvants mises en œuvre dans la formulation des produits finis

De nombreux résultats de recherche démontrent clairement les effets positifs de la fertilisation foliaire sur la croissance, le développement et parfois même sur le rendement des cultures (Hannam *et al.* 1984; Chitu *et al.* 2002; Starast *et al.* 2002; Toscano *et al.* 2002; Bly et Woodard, 2003; Silva *et al.* 2003; Williams *et al.* 2004; Yorinori *et al.* 2004),

Mengel (2002), avance que l'efficacité de la fertilisation foliaire est imprévisible. Cependant, son efficacité peut être réelle et palier aux carences en nutriments des plantes par l'étude approfondie des facteurs limitant. L'efficacité de la fertilisation foliaire dépend de l'absorption et de la mobilité des éléments dans la plante entière. Son efficacité peut être optimisée par le jumelage d'agents chélatants, d'activants ou de surfactants autrement dit par le biais de la formulation. Toutefois, ces produits supplémentaires peuvent parfois conduire à un taux de pénétration plus faible ou à des dommages irréversibles.

Selon Leece (1976), l'utilisation de surfactants peut permettre d'améliorer la mouillabilité sur les feuilles en diminuant la tension de surface. Cette diminution de la tension de surface réduit l'angle de contact entre la solution et la surface foliaire. La tension de surface critique permet d'obtenir le maximum de mouillabilité et d'augmenter la pénétration par voie stomatale et cuticulaire (Schönherr et Bukovac, 1972). D'autres part, le ratio hydrophile/lipophile (HLB) peut permettre de déterminer l'efficacité d'un surfactant. Une étude réalisée par Hull *et al.*, (1975) a montré que des valeurs élevées de HLB indiquent habituellement qu'un surfactant peut améliorer l'absorption foliaire des nutriments. Une étude effectuée par Webb *et al.*, (1999) a montré que l'utilisation de certains surfactants réduit le nombre de sauts entre le premier impact des gouttelettes et la rétention et augmente la vitesse de capture suivant cet impact. Schönherr (2001) a montré que la pénétration cuticulaire peut être augmentée par l'ajout d'un surfactant composé d'alkyle polyglucoside. Contrairement aux alcools étholytés, les composés d'alkyle polyglucoside ne sont pas phytotoxiques.

Si les résultats exposent une bifurcation d'effets entre les trois fertilisants appliqués, cela suppose que leur distribution au niveau des parenchymes foliaires et en relation avec des facteurs spécifiques à la plante elle-même. Selon Tremblay (1991), les jeunes feuilles se prêtent mieux à l'absorption foliaire que les feuilles plus âgées. L'âge des feuilles a des effets importants sur la composition et la quantité de cire produite (Kirkwood, 1999). Selon une étude réalisée par Hull *et al.* (1975), les feuilles âgées possèdent une plus grande résistance que les feuilles plus jeunes. Cette résistance est reliée au stade de développement des feuilles. Une feuille plus âgée aura atteint son niveau optimal de maturité et développé complètement ses barrières épidermales (cire épicuticulaire, cuticule).

Cependant, en contradiction avec les articles précédents, un article écrit par Mengel (2002) a démontré que des feuilles plus âgées permettent une meilleure absorption des nutriments que les feuilles plus jeunes. Selon ce dernier, les feuilles âgées ont, d'une part, une surface foliaire plus élevée, ce qui permet d'optimiser la surface d'absorption des minéraux. En second lieu, les feuilles plus matures peuvent être partiellement endommagées et contiennent des interstices ayant comme fonction de laisser passer par diffusion les éléments solubles.

Selon une étude faite par Bly et Woodard (2003) à partir de blé, l'efficacité des applications foliaires d'azote est optimisée lorsque ces applications sont effectuées au stade de la postpollinisation. Enfin, la plupart des articles démontrent que le taux de pénétration cuticulaire des fertilisants est plus rapide par les jeunes feuilles (Tremblay, 1991; Kirkwood, 1999), tandis que la translocation de ces éléments est plus efficace dans les feuilles plus âgées (Chamel, 1988).

La rapidité avec laquelle un ou des nutriments sont absorbés par les feuilles diffère d'une espèce végétale à l'autre, et même d'un cultivar à l'autre. Selon Kannan (1986), cette différence est probablement due à la surface foliaire et sa structure différente entre espèces et cultivars. Hesse et Griggs (1950), ont démontrés qu'il existe des différences significatives entre le degré de surface foliaire mouillable chez différentes variétés de la même espèce.

De plus, l'efficacité de la fertilisation foliaire dépend, entre autres, de la mobilité des éléments dans la plante. Le potassium et l'azote sont des exemples de nutriments avec une mobilité élevée. Cette mobilité permettra de distribuer rapidement les éléments à travers l'ensemble de la plante. Le calcium, le soufre et le fer sont, pour leur part, des éléments avec une faible mobilité dans le phloème. L'utilisation d'un agent chélatant, par exemple dans le cas du fer peut augmenter leur mobilité dans la plante (Mengel, 2002).

Cette étude montre l'intérêt potentiel des stimulateurs des défenses naturelles des plantes dans la maîtrise de certains bioagresseurs. Plus largement, son effet sur les systèmes de défense des plantes, associées à son efficacité sur la promotion de la croissance végétale, nous suggèrent son intérêt dans le développement de stratégies alternatives et complémentaires à l'emploi des produits phytopharmaceutiques conventionnels. Des essais sont en cours afin de définir les meilleurs programmes. En cas de résultats convaincants, cela permettrait de diviser par deux les applications des phytos conventionnels, donc de contribuer à l'objectif de réduction d'emploi des intrants de synthèse.

Conclusion et Perspectives

Au terme de ce travail consacré essentiellement à l'étude de l'effet comparé de biofertilisant, de formulation minérale et de fertilisant homologué sur la stimulation des défenses naturelles et sur la stimulation de la croissance foliaire du peuplier noir dans les conditions naturelles, il nous a paru intéressant de dégager les conclusions auxquelles nous avons aboutis.

A partir des résultats obtenus sur la fluctuation des densités globales de *Chaitophorus leucomelas*, il apparaît clairement une nette diminution des densités des différentes formes biologiques sous l'effet des traitements, du jus de lombricompost, le correcteur de carence et le fertilisant à base d'algues marines, une attention particulière quant à l'effet de nos biofertilisants formulés (jus de lombricompost et le correcteur de carence) par rapport au produit homologué.

La densité des différentes formes biologiques montre une vulnérabilité très accusée des larves sous l'effet du jus de lombricompost, le correcteur de carence, et les algues marines ; de leur côté, les adultes expriment une sensibilité très distincte sous l'effet de la solution formulée à base d'oligo-éléments et et le jus de lombricompost, par contre, le fertilisant à base d'algues marines affiche un effet sur la densité des adultes et des larves mais avec une reprise biocénotique.

Les résultats montrent aussi que les populations résiduelles sont réduites sous l'effet des biofertilisants formulés (le correcteur de carence et le jus de lombricompost), ils provoquent le rabaissement et la stabilité des populations résiduelles dans le temps. Quant au fertilisant homologué à base d'algues marines a un effet de choque au début du traitement mais il y a aussitôt une reprise biocénotique des populations résiduelles des pucerons.

Les aboutissements relatifs aux effets des fertilisants sur l'expansion de la surface foliaire sont très satisfaisants pour le correcteur de carence et l'algasmar où on enregistre une augmentation assez distincte des surfaces des feuilles de peuplier noir *Populus nigra* par rapport au jus de lombricompost.

Les résultats des interactions qui pourraient exister entre l'évolution des surfaces foliaires du peuplier noir et l'abondance des différentes formes biologiques de *Chaitophorus leucomelas*, le jus de lombricompost engendre une augmentation de la surface des feuilles avec un amoindrissement de l'abondance larvaire. Par contre l'algasmar augmente la surface des feuilles sans faire pour autant baisser l'abondance des adultes et des larves, quant à l'effet du correcteur carence une absence de corrélation est enregistrée entre l'expansion de la surface foliaire et l'abondance des différentes formes de *Chaitophorus leucomelas*

L'étude de la réaction des essences amendées par le jus de lombricompost face aux infestations par *Chaitophorus leucomelas*, a permis de mettre en évidence l'existence d'éliciteurs de défense naturelle des plantes dans les formulations. Ceci

pourrait offrir une stratégie supplémentaire dans les programmes de la phytoprotection et de la production intégrée.

Enfin, les biofertilisants ont un rôle important à jouer dans les programmes de lutte intégrée, ceux-là même qui tendent à réduire l'utilisation des produits phytosanitaires « classiques », notamment en leur apportant une nouvelle approche, un complément d'efficacité et une plus grande flexibilité.

Face aux nombreuses inconnues liées à l'emploi des SDN et à leur mode d'action complexe, il va de soi que la première perspective d'avenir sur cette thématique est la progression des connaissances scientifiques grâce à une recherche active.

On a pu voir que les mécanismes des défenses naturelles, notamment les cascades de signaux, sont complexes. C'est pourquoi il serait intéressant d'en développer notre compréhension, dans une optique de « recherche fondamentale » mais avec à terme une visée sur l'appliqué. Par exemple, il serait judicieux de travailler à mieux comprendre le mode d'action d'éliciteurs comme le jus de lombricompost et des solutions formulées à base d'oligoéléments ou des solutions formulées à base de bore et de manganèse pour booster les plantes qui demeurent peu connues. Il serait également intéressant d'approcher plus finement la cascade de signaux et en particulier le rôle de l'acide salicylique, et ce sur d'autres espèces végétales que les classiques modèles de laboratoire.

Il reste également beaucoup à faire pour pouvoir utiliser plus judicieusement les SDN au champ, en maîtrisant tous les paramètres. Ainsi, il serait important d'identifier les éliciteurs les mieux adaptés à une plante donnée, même s'il faut garder en tête que la spécificité hôte-agresseur est liée au déterminisme initial de la résistance et non pas aux mécanismes de défense.

Les recherches de formulations doivent également être poursuivies pour améliorer la pénétration des SDN aux sites voulus de la plante, qui comme certains produits classiques peuvent être sujets à des problèmes de lessivage. De plus, le stade optimal d'application reste à définir, même si on sait que les SDN doivent être appliqués préventivement et souvent plusieurs fois. De même, une meilleure connaissance des délais d'activation des SDN ainsi que de leur durée d'action permettrait une meilleure utilisation au champ.

Si la demande des SDN naturelles est encore quasi-inexistante en Algérie, l'offre s'y étioffe si bien que cela ne devrait pas durer, notamment en comparaison des autres pays européens ou outre-Atlantique. Or la stratégie des SDN s'inscrit pleinement dans la nouvelle approche de complémentarité des moyens de lutte. Cette nouvelle approche, dénommée lutte intégrée, constitue une réponse non négligeable aux attentes grandissantes de respect de l'environnement et de la santé humaine, enjeu dont est pleinement consciente l'industrie phytosanitaire.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **Alexander A. and M. Schroeder. (1987).** *Modern trends in foliar fertilization.* Journal of Plant Nutrition 10(9-16): 1391-1399
2. **Allal–Benfekih L. (2006).** Recherches quantitatives sur le criquet migrateur *Locusta migratoria* (Orth. Oedipodinae) dans le Sahara algérien. Perspectives de lutte biologique à l'aide de microorganismes pathogènes et de peptides synthétiques. Thèse. Doct. Sciences agronomiques, INA, Alger, 140 p.
3. **Amborabé, E. Aziz A., Trotel-Aziz P., Quantinet D., Dhuicq L. et Guy V., (2004).** Stimulation des défenses naturelles de la vigne. Essais d'emploi du chitosan contre *Botrytis cinerea*. *Phytoma*, 571:26–29.
4. **Barneoud, C Et P. Bonduelle, J. Dubois., (1983).** Manuel de populiculture, AFOCEL, Paris, 317 p.
5. **Becerra, J.X. (2003).** Synchronous coadaptation in an ancient case of herbivory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100, 12804–12807
6. **Berlocher, S.H., & Feder, J.L. , (2002).** Sympatric speciation in phytophagous insects: Moving beyond controversy? *Annual Review of Entomology*, 47, 773-815.
7. **Bernays, E., & Graham, M. (1988).** On the evolution of host specificity in phytophagous arthropods. *Ecology*, 64, 886-892.
8. **Bessey DE (1904).** The number and weight of cottonwood seeds. *Science* 20:118–119.
9. **Björkman C. et Ahrné K. (2005).** Influence of leaf trichome density on the efficiency of two polyphagous insect predators. *Entomol. Exp. Appl.* 115:11-79.
10. **Blackman R.L. et Eastop V.F., (1994).** *Aphids on the World's Trees. An Identification and Information Guide*, Cab International Eds. Wallingford (UK)
11. **Blackman R.L. et Eastop V.F., (2000).** *Aphids on the World's Trees. An Identification and Information Guide* , Cab International Eds. Wallingford (UK)
12. **Bly A.G. and H.J. Woodard. (2003).** Nitrogen management: foliar nitrogen application timing influence on grain yield and protein concentration of hard red winter and spring wheat. *Agronomy Journal* 95: 335-338.
13. **Boaretto A.E., Boaretto R.M., Muraoka T. Nascimento Filho V.F., Tiritan C.S. and F.A.A. Mourão Filho. (2002).** Foliar micronutrient application effects on citrus fruit yield, soil and leaf Zn concentrations and ⁶⁵Zn mobilization within the plant. *Acta Horticultuae (ISHS)* 594: 203-209.

- 14. Boivin G. et Stewart R.K. (1983).** *Distribution of phytophagous mirids (Hemiptera : Miridae) on apple trees in relation to habitat availability.* Environ. Entomol. 12:1641-45.
- 15. Bonnemain L. Et J.-F. Chollet, (2003) :** L'arsenal phytosanitaire face aux ennemis des plantes.Considérations générales. *C. R. Biologies*, 326:1–7.
- 16. Boukhris-Bouhachem S., Souissi R., Turpeau E., rouze-jouan J., Fahem M., Ben Bonnemain J-L.,Chollet J-F., (2007) –** Biologie et pathologie végétales. L'arsenal phytosanitaire face aux ennemis des plantes. Considérations générales. *C.R.Biologies* 326, pp : 1-7.
- 17. Bradley EB, Smith DG (1986)** Plains cottonwood recruitment and survival on a prairie meandering river floodplain, Milk River, southern Alberta and northern Montana. *Can J Bot* 64:1433–1442.
- 18. Breton, V., (2000):** Évolution de la Populiculture- Période 1996-1999. Rapport national de la France. *Commission Internationale du Peuplier (FAO) XIXè session, septembre, Portland, Oregon*
- 19. Brinkman KA (1974)** *Salix* L. Willow. *In: Seeds of woody plants in the United States.* Agriculture Handbook n°450. Forest Service, US Department of Agriculture, Washington DC. pp 746–750.
- 20. Brown, M. & Welker, W. V. (1992)** Development of the phytophagous arthropod community on apple as affected by orchard management .*Environmental entomology*, 21, 485-492
- 21. Brues C. T. (1946).** *Insect Dietary.* Cambridge, Mass: Harvard Univ. Press to differential foliar absorption. *Australian Journal of Plant Physiology* 3: 833-847.
- 22. Brues, C.T. (1920).** The selection of food-plants by insects, with special reference to lepidopterous larvae. *American Naturalist*, 54,, 313-332.
- 23. Bukovac M.J., Cooper J.A., Whitmoyer R.E. and R.D. Brazee. (2002).** *Spray application plays a determining role in performance of systemic compounds applied to the foliage of fruit plants.* *Acta Horticulturae (ISHS)* 594: 65-75.
- 24. Bush, G.L. (1969).** Sympatric host race formation and speciation in frugivorous flies of the genus *Rhagoletis* (Diptera, Tephritidae). *Evolution*, 23, 237-251.
- 25. Campbell B.C. et Duffey S.S. (1979).** *Tomatine and parasitic wasps: Potential incompatibility of plant antibiosis with biological control.* *Science.* 205:700702.
- 26. Chamel A. (1988).** Foliar uptake of chemicals studied with whole plants and isolated cuticles. Neumann P.M. (ed). *Plant growth and leaf-applied chemicals.* Boca Raton, FL: CRC Press. pp. 27-48.

- 27. Chamel A., Gambonnet B., (1980)** - Foliar penetration of micronutrients: study with isolated pear leaf cuticules of cuticular. Retention and penetration of zinc, in: Mineral Nutrition of fruit trees, 318p.
- 28. Champagnol F., (1980)** - La matière organique des sols de vigne du Midi de la France. Progrès Agricole et Viticole, 8, p : 161-173
- 29. Chardenon, J., (1982):** Le Peuplier Aujourd'hui et Demain, IDF, Paris, 280 p.
- 30. Chassot, C., Buchala, A., Schoonbeek, HJ., Metraux, JP. Et Lamotte, O (2008)** Wounding of Arabidopsis leaves causes a powerful but transient protection against Botrytis infection. *Plant J.* **55** (4): 555-567.
- 31. Chaussod R., Breuil M-C., Nouaim R., Leveque J. Et Andreux F., (1999)** - Des mesures microbiologiques pour évaluer la fertilité des sols viticoles. Revue des Oenologues, 95, p : 19-22.
- 32. Chen J-Q, Martin B, Rahbé Y et Fereres A (1997)** Early intracellular punctures by two aphid species on near-isogenic melon lines with and without the virus aphid transmission (Vat) resistance gene. *Eu J Plant Path* 103: 521-536
- 33. Chien C., Motoyama N. et Dauterman W. C. (1995).** *Separation of multiple forms of acidic glutathione S-transferase isozymes in a susceptible and a resistant strain of house fly, Musca domestica (L.).* Arch. of Insect Biochem. and Physiol. 28:397-406.
- 34. Chitu, V., Coman M., Bulgaru L. and E. Chitu. (2002).** *Effects of “CalMax” and “Nutri Vit” foliar fertilisers on plants growth and strawberry fruit quality.* Acta Horticulturae (ISHS) 594: 475-480
- 35. Comeau A (1992)** La résistance aux pucerons: aspects théoriques et pratiques In: Vincent C et Coderre D, *La lutte biologique* Gaëtan Morin éditeur.
- 36. Conrath, U., Pieterse, CMJ. et Mauch-Mani, B (2002)** Priming in plant-pathogen interactions. *Trends Plant Sci.* **7** (5): 210-216.
- 37. Cortesero A.M., Stapel J.O. et Lewis W.J. (2000).** *Understanding and manipulating plant attributes to enhance biological control.* Biol. Control 17:35–49.
- 38. Cranshaw W.S. et Radcliffe E.B. (1980).** *Effect of defoliation on yield of potatoes.* J. Econ. Entomol. 73:607-608
- 39. Cross, J.V., Malavolta, C. & Jorg, E (editors) (1997)** Guidelines for ingrated production of stone fruits in Europe. IOBC Technical Guidelinell. IOBC/wprs Bulletin, 20(3), pp51 cultures; terre noire; clinique; laitue; terre minérale. Saint-Rémi, Québec. p. 92-95. *cuticular membranes.* Plant Physiology 44(4): 517-521.
- 40. Davies, F. T. He, C.J., Chau, A., Heins, K.M & Cartmill, A.D. (2004)** Fertility affects susceptibility of chrysanthemum to cotton aphids : Influence on plant growth, photosynthesis,

ethylene evolution, and herbivore abundance. *Journal of American Society for Horticultural Science*, 129,344-353

41. De Bruyn, L., Scheirs, J. & Verhagen, R. (2002) Nutrient stress, host plant quality and herbivore performance of a leaf-mining fly on grass. *Oecologia*, 130, 594-599

42. De Oliveira D. (1992). Dans *La lutte biologique*. Vincent et Coderre (eds.) *La lutte biologique contre le doryphore de la pomme de terre*. Chapitre 9 :206-219.

43. Dedryver C.A., (1982) - Qu'est-ce qu'un puceron ? *Journ. étu. inf. les pucerons des cultures*. Paris, 2,3 et 4 Mars 1981 Acta. p. 9-20.

44. Delfine S., Tognetti R., Desiderio E. and A. Alvino. (2004). *Effect of foliar application of N and humic acids on growth and yield of durum wheat*. *Agronomy for Sustainable Development* 25: 183-191

45. Denno R.F. et McClure M.S. (eds.) (1983). *Variable plants and herbivores in natural and managed systems*. Academic Press, New York

46. Dethier V.G. (1980). *Evolution of receptor sensitivity to secondary plant substances with special reference to deterrents*. *Am. Nat.* 115:45-66. *Développement Durable*

47. Diallo K. (2007). Réponses métaboliques de *Chaitophorus leucomelas* (KOCH, 1854) (Homoptera : Aphididae) à la variation qualitative des *Populus sp.* dans les régions littoral et sublittoral d'Algérie. Thèse. Ing. Sciences agronomiques, Blida, 65 p.

48. Dicke M. (1994). *Local and systemic production of volatile herbivore-induced terpenoids: their role in plant-carnivore mutualism*. *J. Plant Physiol.* 143:465-472.

49. Dixon AFG (1987) Parthenogenetic reproduction and the rate of increase in aphids In: Minks AK et Harrewijn P, *Aphids Their biology, natural enemies and control* Elsevier

50. Djazouli Z.E., (1992)- Inventaire des aphides et fluctuation des populations des *Pemphigidae* sur *Populus nigra* dans la région de Blida. Th. Ing, Agro, I.N.E.S, Blida, Alger, 93 p

51. Douglas AE (1993) The nutritional quality of phloem sap utilized by natural aphid populations. *Ecol Entomol* 18: 31-38.

52. Douglas AE (1998) Nutritional interactions in insect-microbial symbioses: Aphids and their symbiotic bacteria *Buchnera*. *Annu Rev Entomol* 43: 17-37.

53. Douglas, A .E. (2006) Phloem-sap feeding by animals : problems and solutions. *Journal of Experimental Botany*, 57, 747-775.

54. Drès, M., et Mallet, J. (2002). Host races in plant-feeding insects and their importance in sympatric speciation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, 357, 471–492.

- 55. Dun Y, Feng M et Ying S., (2003)** Evaluation for enhanced aphidicidal activity of a novalemulsifiable formulation of *Beauveria bassiana* conidia. *Wei Sheng Wu Xue Bao* **43**: 781- 787.
- 56. Dupre, E., (2004):** Suivi phénologique des peupliers noirs dans la réserve naturelle de St-Pryvé-St-Mesmin. Etude de la floraison, de la fructification et du débourrement végétatif. Maîtrise Biologie des Populations et des Ecosystemes, Université Rennes.
- 57. Ebel J ; Et A. Mithöfer, (1998) :** Early events in the elicitation of plant defence. *Planta*, 206:335–348.
- 58. Edmiten, K.L., C.W. Wood, and C.H. Burmester., (1994).** *Effects of early-season foliar fertilization on cotton growth, yield and nutrient concentration.* Journal of Plant Nutrition 17(4): 683-692
- 59. Ehrlich, P.R., & Raven, P.H., (1964).** Butterflies and plants: a study in coevolution. *Evolution*, 18, 586- 608
- 60. Eichert T., Burkhardt J. and H.E. Goldbach., (2002).** *Some factors controlling stomatal uptake.* Acta Horticulturae (ISHS) 594: 85-90.
- 61. Eigenbrode S.D., (2002).** *Resistance to host-plant resistance.* p.712-714. Dans Pimentel D. (eds.). *Encyclopedia of Pest Management.* Marcel Dekker, Inc. New York. 929p.
- 62. Engstrom A ., (1948)** Growing cottonwood from seeds. *J Forest* 46:130–132. succession on an alaskan floodplain. *Ecology* 67:1243–1253.
- 63. F.A.A. Mourão Filho. , (2002).** Foliar micronutrient application effects on citrus fruit yield,
- 64. FAO., (2004):** Le Peuplier dans le Monde. *Rapport de La 22ème session de la Commission Internationale du Peuplier*
- 65. Farrel, B.D., (1998).** Flowers and insect evolution. Response to B. N. Danforth, J. Ascher, and R.S. Anderson. *Science*, 283, 143a.
- 66. Ferro N. D., (1995).** *Mechanical and physical control of the Colorado potato beetle and aphids.* p.53-68. Dans Duchesne R. M. et Boiteau G. (eds.). *Lutte aux insectes nuisibles de la pomme de terre.* Québec, Canada
- 67. Forrest JMS., (1987)** Galling aphids In: Minks AK et Harrewijn P, *Aphids, their biology, natural enemies and control* Elsevier, Amsterdam.
- 68. Foussadier R., (2003)** Les systèmes racinaires des arbres de la ripisylve : effets des contraintes physiques et exemples. In: Piégay H, Pautou G, Ruffinoni C (eds) Les forêts riveraines des cours d'eau, écologie, fonctions et gestion. Institut pour le Développement Forestier, Paris, France. pp 124–133.

- 69. Fravel D R., (2005)** - Commercialization and implementation of biocontrol. *Annu. Rev. Phytopathol.* 43, p: 337-359.
- 70. Frontier S., (1983)-** *Stratégies d'échantillonnage en écologie*, Masson et les presses de l'Université Laval, Paris. p 494
- 71. Funk, D.J., Filchak, K.E., et Feder, J.L., (2002).** Herbivorous insects: model systems for the comparative study of speciation ecology. *Genetica*, 116, 251-267
- 72., Furuya S. and Y. Umehiya., (2002).** *The influence of chemical forms on foliar-applied nitrogen absorption for peach trees.* *Acta Horticulturae (ISHS)* 594: 97-103.
- 73. Futuyma, D.J., et Slatkin, M., (1983).** *Coevolution.* Sinauer, Sunderland, Massachusetts. impactation and retention of monosize water droplets. *Pesticide Science* 55: 343-389.
- 74. Gaffney T., L. Friedrich, B. Vernooij, D. Negrotto, G. Nye, S. Uknes, E. WARD, H.** to differential foliar absorption. *Australian Journal of Plant Physiology* 3: 833-847.
- 75. Gama, A Et Y. Dumas., (1995):** Application sur Essence Forestière (peuplier) d'un Test de Sélectivité Racinaire Proposé en Arboriculture et Viticulture. *Communication 160 à la 16 ème conférence du COLUMA, journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes, 6-8 décembre, Reims*
- 76. Gaussen, H., Et J-F. Leroy, P. Ozenda, (1982) :** Précis de Botanique Tome 2 Végétaux Supérieurs, Masson, paris, 579 p.
- 77. Giganti H.E., Dapoto G.L. et Delfino M.A., (2004).** *Chaitophorus leucomelas* Koch (Hemiptera, Aphididae) en río negro y Neuquén (Argentina) Características morfológicas y biológicas, *RIA*, 33 (2) : 27-40.
- 78. Girousse c. Moulia, B., Silk, W. & Bonnemain, J. L., (2005)** Aphis infestation causes different changes in carbon and nitrogen allocation in alfalfa stems as well as different inhibition of longitudinal an radial expansion. *Plant physiology*, 137,1474-1484.
- 77. Gooding, M.J. and W.P. Davies., (1992).** *Foliar urea fertilization of cereals, a review.* *Fertilizer Research* 32(2): 209-222. *Grapevines. Journal of Plant Nutrition* 27(11): 1891-1916.
- 78. Grasse P., (1970).** *Zoologie invertébrés*, Masson & Cie Eds. Paris, 935p
- 79. Grasse P., (1957) -** *Traité de zoologie, anatomie, systématique, biologie, insectes supérieurs et Heminoptéroïdes* , Masson & Cie Eds. Paris, 974p.
- 80. Grassé P., Poisson R.A. et Tuzet O., (1970)-** *Zoologie I Invertébrés.* Ed. Masson, Paris. p.935.
- 81. Gumbert A., (2000).** *Color choice by bumble bees (Bombus terrestris): innate preferences and generalization after learning.* *Behav. Ecol. Sociobiol.* 48:36–43.

- 82. Hammer Ø. Harper D.A.T. et Ryan P.D., (2001)-** PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis, *Palaeont. Electron.* 4 (1): 9, http://palaeoelectronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm
- 83. Hannam R.J., Davies W.J., Graham R.D. and J.L. Riggs., (1984).** The effect of soil- and foliar-applied manganese in preventing the onset of manganese deficiency in *Lupinus angustifolium*. *Australian Journal of Agricultural Research* 35: 529-538.
- 84. Haq M.U. and A.P. Mallarino. , (2005).** *Response of soybean grain oil and protein concentrations to foliar and soil fertilization.* *Agronomy Journal* 97: 910-918.
- 85. Hare J.D., (2002).** *Plant genetic variation in tritrophic interactions. Multitrophic Level Interactions.* T. Tschamntke et Hawkins B.A. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- 86. Harvey J. A., van Dam N. M. et Gols R., (2003).** *Interactions over four trophic levels foodplant quality affects development of a hyperparasitoid as mediated through a herbivore and its primary parasitoid.* *J. Anim. Ecol.* 72:520–531
- 87. Hassan H S A., Sarrwy S M A., Mostafa E A M., (2010) -** Effect of foliar spraying with liquid organic fertilizer, some micronutrients, and gibberellins on leaf mineral content, fruit set, yield, and fruit quality of “Hollywood” plum trees. *Agriculture And Biology Journal Of North America.* Issn Print: 2151-7517, ISSN Online: 2151-7525. Dokki, Giza, Egypt
- 88. Hawkins, C.D.B., Whitercross, M.I. & Aston, M.J., (1987)** The effect of short-tern aphid feeding on the partitioning of CO₂ photoassimilate in three legume species .*Canadian Journal of Botany*, 65,666-672.
- 89. Hayes, MP., Enterline, JC., Gerrard, TL. and Zoon, KC., (1991)** Regulation of interferon production by human monocytes: requirements for priming for lipopolysaccharide-induced production. *J Leukoc Biol.* **50** (2): 176-181.
- 90., Heie O.E., (1982) -** The Aphidoidea (Hemiptera) of Fennoscandia and Denmark. II.The family Drepanosiphidae, *Fauna ent.scand.* 2 : 1-174.
- 91. Heiling A.M., Herberstein M.E. et Chittka L., (2003).** *Pollinator attraction: crab-spiders manipulate flower signals.* *Nature* 421:334
- 92. Heller R., 1969 -** *Biologie végétale .II. Nutrition et Métabolisme*, Ed. Masson, Paris, 413p.
- 93. Hesse C.O. and W.H. Griggs., (1950).** The effect of gland type on the wettability and water retention of peach leaves. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* 56: 173.
- 94. Horsfall JL., (1924)** Life history studies of *Myzus persicae* Sulzer. *Pennsylvania Agric Exp Stn Bull* **185**: 1-16.

- 95. Huang H.C., Harper A.M., Kokko E.C. et Howard R.J., (1981).** Aphids Transmission of *Verticillium alba-atrum*. *Can. J. Plant Pathol.* 5: 141-147
- 96. Hull H.M., Morton H.L. and J.R. Wharrie., (1975).** Environmental influences on cuticle development and resultant foliar penetration. *Botanical Review* 41: 421-451.
- 97. Inbar M., Doodstar H, Sonoda R.M, Leibee G.L. et Mayer R.T., (1998).** *Elicitors of plant defensive systems reduce insect densities and disease incidence.* *J. Chem. Ecol.* 24:135-149
- 98. Inbar M., Doostdar, H. & Mayer, R. T., (2001)** Suitability of stressed and vigorous plants to various ,
- 99. Jansson, R. K. & Smilowitz, Z., (1986)** Influence of nitrogen on population parameters of potato insects :abundance, population growth, and within-plant distribution of the green peach aphid , *Myzus persicae*(Homoptera :Aphididae). *Environmental entomology* , 15, 49-55.
- 100. Janzen, D.H., (1980).** When is it coevolution? *Evolution*, 34, 611-612.
- 101. Jermy, T., (1984).** Evolution of insect/host plant relationships. *American Naturalist*, 124, 609-630.
- 102. Jiggins, C.D., et Mallet, J., (2001).** Bimodal hybrid zones and speciation. *Trends in Ecology and Evolution*, 15, 250-255.
- 103. Johnson, S. N., Elston, D. A. & Hartley, S. E., (2003)** Influence of host plant heterogeneity on the distribution of a birch aphid . *Ecological Entomology*, 28, 533-541. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 167(3): 357-362.
- 104. Kaloshian I, Lange WH et Williamson VM., (1995)** An aphid-resistance locus is tightly linked to the nematode-resistance gene, *Mi*, in tomato. *Proc Natl Acad Sci USA* **92**: 622-625.
- 105. Kannan S., (1986).** Foliar absorption and transport of inorganic nutrients. *Critical Reviews in Plant Sciences* 4(4): 341-375.
- 106. Kannan S., (1969).** *Penetration of iron and some organic substances through isolated*
- 107. Karban, R. et Baldwin I.T., (1997).** *Induced responses to herbivory.* The University of Chicago Press. Chicago, IL.
- 108. Karley AJ, Douglas AE et Parker WE., (2002)** Amino acid composition and nutritional quality of potato leaf phloem sap for aphids. *J Exp Biol* **205**: 3009-3018.
- 109. Kauffmann. S., S. Dorey Et B. Fritig., (2001):** Les stratégies de défense. *Pour la Science*, p. 116–121.

- 110. Kessmann Et J. Ryals., (1993)** : Requirement of salicylic acid for the induction of systemic acquired resistance. *Science*, 261:754–756.
- 111. Kirkwood R.C., (1999).** *Recent developments in our understanding of the plant cuticle as a barrier to foliar uptake of pesticides.* *Pesticide Science* 55: 69-77
- 112. Klarzynski O. Et B. Fritig., (2001).** Stimulation des défenses naturelles des plantes. *C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la vie*, 324:953–963.
- 113. Klein K.C. et Waterhouse D.E., (2000).** Distribution and Importance of Arthropods Associated with Agriculture and Forestry in Chile, ACIAR Monograph Eds. 68, Canberra, Australia, 231p
- 114. Koch M., (1984).**The identification of butterflies, Neumann Verlag Eds. Leipzig, Germany
- 115. Kogan, M. et Paxton J., (1983).** *Natural inducers of plant resistance to insects.* p.153-171. Dans P.A.Hedin (eds.), *Plant Resistance to insects. ACS symposium Series.* American Chemical Society, Washington, DC.
- 116. Korocheva, J., Larsson, S. et Haukioja, E., (1998).** Insect performance on experimentally stressed woody plants : A meta-analysis . *Annual Review of Entomology*, 43, 195-216.
- 117. Lamb R.J., (1980).** *Hairs protect pods of mustard (Brassica hirta) from flea beetle feeding damage.* *Can. J. Plant Sci.* 60:1439-40.
- 118. Landolt P.J. et Phillips T.W., (1997).** *Host plant influences on sex pheromone behavior of phytophagous insects.* *Ann. Rev. Entomol.* 42:371-391
- 119. Le Roux V, Campan EDM, Dubois F, Vincent C et Giordanengo P., (2007).** Screening for resistance against *Myzus persicae* and *Macrosiphum euphorbiae* among wild *Solanum*. *Ann Appl Biol (sous presse)*.
- 120. Leece D.R., (1976).** Composition and ultrastructure of leaf cuticles from fruit trees, relative
- 121. Legionnet, A., P. Faivre Rampant, M. Villar, F. Lefèvre., (1997):** Sexual and asexual reproduction in natural Stands of *Populus nigra*. *Botanica Acta*, pp 257-263.
- 122. Ling F. and M. Silberbush., (2002).** *Response of maize to foliar vs. soil application of nitrogen-phosphorus-potassium fertilizers.* *Journal of Plant Nutrition* 25(11): 2333-2342.
- 123. Lizzi Y., Coulomb C., Polian C, Coulomb J P Et Coulomb P O., (1998)** . La Défense des Végétaux, N°508, PHYTOMA, p : 29-30.
- 124. Loucif Z. et Bonafonte P., (1977).** Observation des populations du pou de San José dans la Mitidja. *Rev. Fruits* 32(4): 253-261.

- 125. Louda S.M., R.W. Pemberton, M.T. Johnson et P.A. Follett.,(2003).** *Nontarget effects – The Achilles' hell of Biological control? Retrospective Analyses to Reduce Risk Associated with Biocontrol.* Annu. Rev. Entomol. 48:365–96.
- 126. Magali, C., (2009).** Lutte intégrée en serres florales et en verger de pomme. Revue éditée dans le cadre du Programme National Agriculture et développement durable.
- 127. Malamy J. P. Carr, D. Klessig Et I. Raskin., (1990)** .Salicylic acid : a likely endogenous signal in the resistance response of tobacco to viral infection. *Science*, 250:1002–1004.
- 128. Marschner H., (1995).** *Uptake and release of mineral elements by leaves and other aerial plant.* In mineral nutrition of higher plants. 2nd edition Academic Press. pp.116-130.
- 129. Mattson W.J. et Addy N.D., (1975).** *Phytophagous insects as regulators of forest primary production.* Science 190:515-522.
- 130. Mauch-Mani, B. and Métraux, J-P ., (1998).** Salicylic acid and systemic acquired resistance to pathogen attack. *Ann Bot.* **82** (5): 535-540.
- 131. Mc Bride JR, Strahan J., (1984).** Establishment and survival of woody riparian species on gravel bars on an intermittent stream. *Am Midl Nat* 112:235–245.
- 132. McCall P. J., Turlings T. C. J., Lewis W. J. et Tumlinson J. H., (1993).** *Role of plant volatiles in host location by the specialist parasitoid Microplitis croceipes Cresson (Braconidae:Hymenoptera).* J. Ins. Behav. 6:625-639.
- 133. Mengel K., (2002).** *Alternative or complementary role of foliar supply in mineral nutrition.* Acta Horticulturae (ISHS) 594: 33-47.
- 134. Menken, S.B.J., (1996).** Pattern and process in the evolution of insect–plant associations: *Yponomeuta* as an example. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, **80**, 297–305
- 135. Métraux J-P., H. Signer, J. Ryals, E. Ward, M. Wyss-Benz, J. Gaudin, K. Raschdorf, E. Schmid, W. Blum Et B. Inverardi., (1990).** Increase in salicylic acid at the onset of systemic acquired resistance in cucumber. *Science*, 250:1004–1006.
- 136. Michener, C.D., & Grimaldi, D.A., (1988).** The oldest fossil bee: apoid history, evolutionary stasis, and antiquity of social behavior. *Proceedings of the National Academy of Sciences, U.S.A.*, **85**, 6424-6426.
- 137. Miles PW., (1968).** Insect secretions in plants. *Annu Rev Phytopathol* **6**: 137-164.
- 138. Miles PW (1989).** Aphid saliva. *Biological Review* **74**: 41-85.

- 139. Miyazacki M., (1987).** Forms and morphs of aphids In: Minks AK et Harrewijn P, *Aphids, their biology, natural enemies and control* Elsevier, Amsterdam. soil and leaf Zn concentrations and ⁶⁵Zn mobilization within the plant. *Acta Horticultuae*
- 140. Moraes De C. M., W. J. Lewis, P. W. Paré, H. T. Alborn et J. H. Tumlinson., (1998).** *Herbivore-infested plants selectively attract parasitoids.* *Nature* 393: 570–573.
- 141. Morel R., (1989) -** Les sols cultivés. Editions Tec & Doc, Lavoisier, 373 p.
- 142. Moreno A. et Paoletti M G., (2002).** *Andiorhinus kurun.* sp., one giant earthworm (Oligochaeta: Glossoscolecidae) food resource for Makiritare Indians of the alto rio Padamo, Amazonas, Venezuela. Presented at the Seventh International Symposium on Earthworm Ecology, Cardiff, p: 6–12
- 143. Mourão Filho., (2002).** *Foliar micronutrient application effects on citrus fruit yield, soil and leaf Zn concentrations and ⁶⁵Zn mobilization within the plant.* *Acta Horticultuae (ISHS)* 594: 203-209.
- 144. Muñoz R. et Beéche M., (1995).** Antecedentes sobre dos especies de reciente identificación para Chile (Homoptera: Aleyrodidae, Aphididae) ,*Rev.Chilena Ent.*, 22 : 89-91.p.125.
- 145. Nason, J.D., Heard, S.B., & Williams, F.R., (2002).** Host-associated genetic differentiation in the goldenrod elliptical-gall moth, *Gnorimoschema gallaesolidaginis* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Evolution*, 56, 1475–1488
- 146. Newman, MA., von Roepenack-Lahaye, E., Parr, A., Daniels, MJ. and Dow, JM., (2002).** Prior exposure to lipopolysaccharide potentiates expression of plant defenses in response to bacteria. *Plant J.* 29 (4): 487-495.
- 147. Niber B A., (1994).** The ability of powders and slurries from ten plant species to protect stored grain from attack by *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera : Bostrychidae) and *Sitophilus oryzae* L. (Coleoptera: Curculionidae).*J. Stored Prod. Res.* 30, pp: 297-301.
- 148. Noble MG., (1979).** The origin of *Populus deltoides* and *Salix* interior zones on point bars along the Minnesota River. *Am Midl Nat* 102:59–67.
- 149. Pajot E., (2010) .** «Les Stimulateurs des Défenses Naturelles en Production Végétale : Mythe ou Réalité ? », XVI Rencontres Professionnelles. EP Valinov-VEGEPOLYS. Rittmo. Colmar
- 150. Pajot; E, Maurice S, Guerrand J, Chirapongsatunkul N, Ruffray P, ;Maxant F et Méric H, (2007).** TTF5, fertilisant pouvant stimuler des défenses naturelles de plantes contre des pathogènes Sur tabac, fraise et vigne, travaux sur un mélange PHYTOMA • La Défense des Végétaux N°603 Avril 2007 p 38-41

- 151. Paoletti M G., Dufour D L., Cerda H., Torres F., Pizzoferrato L., & Pimentel D.,(2000)** .The importance of leaf- and litter-feeding invertebrates as sources of animal protein for the Amazonian Amerindians. *Proc. R. Soc. Lond. B* 267, p: 2247–2252
- 152. Pautot V. , C. Rabaglia Et J.-C. Pernollet, (1999).** La résistance des plantes aux agents pathogènes. *Phytoma*, 521:10–15
- 153. Pegadaraju, V., Knepper, C., Reese,J. et Shah, J., (2005).** Premature leaf senescence modulated by the Arabidopsis PHYTOALEXIN DEFICIENT4 gene is associated with defence against the phloem-feeding peach aphid .*plant Physiology*, 139, 1927-1934
- 154. Pellmyr, O., (2003).** Yuccas, yucca moths and coevolution: a review. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 90, 35–55.
- 155. Pieterse, CMJ., Van Wees, SCM., Hoffland, E., Van Pelt, JA. and Van Loon, LC., (1996).** Systemic resistance in Arabidopsis induced by biocontrol bacteria is independent of salicylic acid accumulation and pathogenesis-related gene expression. *Plant Cell*. **8** (8): 1225-1237. Polyphénoloxydase-Polyphénols. *Acta. Oecologia.*, 2 (3) : 199-212.
- 156. Pozo, MJ., Cordier, C., Dumas-Gaudot, E., Gianinazzi, S., Barea, JM. and Azcon-Aguilar, C., (2002).** Localized versus systemic effect of arbuscular mycorrhizal fungi on defence responses to Phytophthora infection in tomato plants. *J Exp Bot*. **53** (368): 525-534.
- 157. Price P. W., (1984).** *Insect ecology*. Wiley, New York, New York, USA. 607p.
- 158. Price P.W., Bouton C.E., Gross P., McPheron B.A., Thompson J.N. et Weis A.E., (1980).** Interactions among three trophic levels: influence of plant on interactions between insect herbivores and natural enemies. *Annual Rev. Ecol. Syst.* 11:41-65.
- 159. Price, P.W. ,(1991).** The plant vigor hypothesis and herbivore attack. *Oikos*, 62,244-251
- 160. Radcliffe EB et Lauer FI. , (1971).** Resistance to green peach aphid and potato aphid in introductions of wild tuber-bearing *Solanum* species. *J. Econ. Entomol.* **64**: 1260-1266.
- 161. Radcliffe EB, Lauer FI, Lee M-H et Robinson DP., (1981).** Evaluation of the United States potato collection for resistance to green peach aphid and potato aphid. *Minnesota Agricultural Experiment Station Technical Bulletin* **331**: 3-41.
- 162. Rathmacher G, Niggemann M, Kohnen M, Ziegenhagen B, Bialozyt R., (2010).** Short-distance gene flow in *Populus nigra* L. accounts for small-scale spatial genetic structures: implications for *in situ* conservation measures. *Conserv Genet* 11:1327–1338
- 163. Rees R., And Castle K., (2002)** .Nitrogen recovery in soils amended with organic manures combined with inorganic fertilisers. *Agronomie*, 22, p: 739-746.

- 164. Richards W.R., (1972).** The Chaitophorinae of Canada (Homoptera: Aphididae), Memoirs of the Entomological Society of Canada Eds. 87, Canada, N 87, 109p.
- 165. Rodrigues S, Bréhéret J-G, Macaire J-J, Greulich S, Villar M., (2007).** In-channel woody vegetation controls on sedimentary processes and the sedimentary record within alluvial environments: a modern example of an anabranch of the River Loire, France. *Sedimentology* 54:223–242.
- 166. Ruffinoni C, Tremolières M, Sanchez-Pérez JM., (2003).** Végétation alluviale et flux de nutriments: des liens interactifs. *In*: Piégay H, Pautou G, Ruffinoni C (eds) Les forêts riveraines des cours d'eau, écologie, fonctions et gestion. Institut pour le Développement Forestier, Paris, France. pp 134–154.
- 167. Ryser, J.P., (1991).** *Fumure foliaire en grandes cultures*. Station fédérale de recherches agronomiques de Changins 23(6): 317-320.
- 168. Sabelis M.W., Janssen A. et Kant M.R., (2001).** *Ecology: the enemy of my enemy is my ally*. Science. 291:21042105
- 169. Saguez J., Hainez R., Cherqui A., Van Wuytswinkel O., Jeanpierre H., Lebon G., Noiraud N., Beaujean A., Jouanin L., Laberche J.C., Vincent C. et Giordanengo P. (2005).** *Unexpected effects of chitinases on the peach-potato aphid (Myzus persicae Sulzer) when delivered via transgenic potato plants (Solanum tuberosum Linné) and in vitro*. Trans. Res. 14:57-67
- 170. Sandstrom, J., (2000).** Nutritional quality of phloem sap in relation to plant-alternation in the bird cherry-oat aphid. *Chemoecology*, 10, 17-24.
- 171. Santos Oliveira J F., Passos De Carvalho J., Bruno De Sousa R F X, & Madalena Simao M., (1976) .** The nutritional value of four species of insects consumed in Angola. *Ecol. Food Nutr.* 5, p : 91–97
- 172. Scheffer, S.J., & Wiegmann, B.M., (2000).** Molecular phylogenetics of the holly leafminers (Diptera: Agromyzidae: *Phytomyza*): species limits, speciation, and dietary specialization. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 17, 244–255
- 173. Schlegel T.K. and J. Schönherr., (2002).** *Selective permeability of cuticles over stomata and trichomes to calcium chloride*. *Acta Horticulturae (ISHS)* 594: 91-96.
- 174. Schlegel T.K. and J. Schönherr., (2004).** *Mixing calcium chloride with commercial fungicide formulations results in very slow penetration of calcium into apple fruits*.
- 175. Schönherr J. and M.J. Bukovac., (1972).** Penetration of stomata by liquids. Dependence on surface tension, wettability and stomatal morphology. *Plant Physiology* 49(5): 813-819.
- 176. Schönherr J. and R. Hüber., (1977).** *Plant cuticles are polyelectrolytes with isoelectric points around three*. *Plant Physiology* 59(2): 145-150.

- 177. Schönherr, J., (2001).** *Cuticular penetration of calcium salts: effects of humidity, anions, and adjuvants.* Journal of Nutrition and Soil Science 164: 225-231.
- 178. Schönherr, J., (2002).** *Foliar nutrition using inorganic salts: laws of cuticular penetration.* Acta Horticulturae (ISHS) 594: 77-84.
- 179. Scriber, J. M. et F. Slansky Jr., (1981).** The nutritional ecology of immature insects. *Annual Review of Entomology* 26: 183–211.
- 180. Scriber, J.M. ? (2002).** The evolution of insect-plant relationships: chemical constraints, coadaptation and concordance of insect/plant traits. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 104, 217-235.
- 181. Shafroth PB, Auble GT, Stromberg JC, Patten DT., (1998).** *Establishment of woody riparian vegetation in relation to annual pattern of streamflow, Bill Williams river, Arizona.* Wetlands 18:577–590.
- 182. Silva A.P., Rosa E. and S.H. Haneklaus., (2003).** Influence of foliar boron application on fruit set and yield of hazelnut. *Journal of Plant Nutrition* 26(3): 561-569.
- 183. Simberloff D. et Stiling P., (1996).** *How risky is biological control?* Ecology 77:196574
- 184. Singer M.S. et Stireman J.O. III., (2003).** *Does anti-parasitoid defense explain host-plant selection by a polyphagous caterpillar?* Oikos 100:554–562.
- 185. Starast M., Karp K. and M. Noormets., (2002).** *The effect of foliar fertilization on the growth and yield of Lowbush blueberry in Estonia.* Acta Horticulturae (ISHS) 594: 679- 684.
- 186. Sticher, L., Mauch-Mani, B. and Metraux, JP., (1997).** Systemic acquired resistance. *Annu Rev Phytopathol.* 35: 235-270.
- 187. Strong, D.R., Lawton, J.H., & Southwood, R., (1984).** *Insects on Plants.* Cambridge: Harvard University Press.
- 188. Sumerford, D.V., Abrahamson, W.G. et Weis, A.E., (2000).** *The effects of drought on the Solidago altissima-Eurosta solidaginis-natural enemy complex: population dynamics, local extirpations, and measures of selection intensity on gall size.* Oecologia 122:240248
- 189. Swietlik D. and M. Faust., (1984).** *Chapter 8: Foliar Nutrition of fruit Crops.* Horticultural Reviews 6: 287-353.
- 190. Tchaker F/Z., (2011).** évaluation des effets des extraits aqueux d'*inula viscosa* en combinaison avec un bio-adjuvant sur la qualité phytochimique, la densité des sexupares de *Chaitophorus leucomelas* (homoptera: aphididae) et sur la reprise biocénétique Thèse .magistère. Sciences agronomiques, Blida, 241P

- 191. Teder, T. & Tammaru, T., (2002).** Cascading effects of variation in plant vigour on the relative performance of insect herbivores and their parasitoids . *Ecological Entomology*, 27, 94-104
- 192. Ter Braak, C. J. F. et Prentice I. C., (1988).** A theory of gradient analysis. *Advances in ecological research* 18: 271-317.
- 193. Thuries L., Arrufat A., Dubois M., Feller C., Herrmann P., Larre-Larrouy M-C., Martin C., Pansu M., Remy J-C. Et Viel M., (2000)** . Influence d'une fertilisation organique et de la solarisation sur la productivité maraîchère et les propriétés d'un sol sableux sous abri. *Etude et Gestion des Sols*, 7, 1, pp: 73-88.
- 194. Tojnko S., Ternar T. and Z. Cmelik., (2002).** *Effect of foliar application and fertigation with some nutrients on fruit mineral content of young "Golden delicious" apple trees.* *Acta Horticulturae (ISHS)* 594: 185-189
- 195. Ton, J., D'Alessandro, M., Jourdie, V., Jakab, G., Karlen, D., Held, M., Mauch-Mani, B. and Turlings, T.C.J., (2007).** Priming by airborne signals boosts direct and indirect resistance in maize. *Plant J.* 49 (1): 16-26.
- 196. Torres M.D., Farré J.M. and J.M. Hermoso., (2002).** *Foliar B, Cu and Zn applications to hass avocado trees: penetration, translocation and effects on tree growth and cropping.* *Acta Horticulturae (ISHS)* 594: 105-111
- 197. Toscano P., Godino G., Belfiore T. and C. Bricolli-Bati., (2002).** *Foliar fertilisation: a valid alternative for olive cultivar.* *Acta Horticulturae (ISHS)* 594: 191-195.
- 198. Tremblay N., (1991).** *Fertilisation foliaire.* Journées horticoles provinciales : protection des cultures; terre noire; clinique; laitue; terre minérale. Saint-Rémi, Québec. p. 92-95.
- 199. Tremolieres M Et Carbiener R., (1981).** Aspect de l'impact des litières sur les écosystèmes aquatiques. I. L'effet désoxygénant de système
- 200. Tremolieres M Et Carbiener R., (1982).** Aspect de l'impact des litières forestières. II. Evolution à moyen et à long terme de l'activité de désoxygénation de quelques propriétés des phytomélanines formées. *Acta. Oecologia.*, 2 : 241-257.
- 201. Trouvelot, S., Varnier, AL., Allegre, M., Mercier, L., Baillieul, F., Arnould, C., Gianinazzi-Pearson, V., Klarzynski, O., Joubert, JM., Pugin, A. and Daire, X., (2008).** A beta-1,3 glucan sulfate induces resistance in grapevine against *Plasmopara viticola* through priming of defense responses, including HR-like cell death. *Mol Plant-Microbe Interact.* 21 (2): 232-243.
- 202. Turelli, M., Barton, N.H., & Coyne, J.A., (2001).** Theory and speciation. *Trends in Ecology and Evolution*, 16, 330-343.
- 203. Turlings, T.C.J. et Benrey, B., (1998).** *Effects of plant metabolites on the behavior and development of parasitic wasps.* *Ecoscience* 5 :321-333

- 204. Van Splunder I, Coops H, Voeselek LACJ, Blom CWPM., (1995).** Establishment of alluvial forest species in floodplains: the role of dispersal timing, germination characteristics and water level fluctuations. *Acta Bot Neerl* 44:269–278.
- 205. Veen, B.W., (1985).** Photosynthesis and assimilate transport in potato with top-roll disorder caused by the aphid *Macrosiphum euphorbiae*. *Annals of Applied Biology*,107 ,319-323
- 206. Virginillo M, Mahoney JM, Rood SB., (1991).** Establishment and survival of poplar seedlings along the Oldman River, Southern Alberta. *In: Rood SB, Mahoney JM (eds) The biology and management of Southern Alberta's cottonwoods. Proc. of the University of Lethbridge Conference, May 4-6 1990. pp 55-61.*
- 207. Walker LR, Zasada JC, Chapin FS., (1986).** The role of history processes in primary
- 208. Walworth J.L., Pond A.P. and G.J. Sower., (2006).** *Fall-applied foliar zinc for pecans.* *Hortscience* 41(1): 275-276.
- 209. Webb D.A., Holloway P.J. and N.M. Western., (1999).** Effects of some surfactants on foliar *impaction and retention of monosize water droplets.* *Pesticide Science* 55: 343-389.
- 210. Whitaker, P. M., Mahr, D. L ; & Clayton, M., (2006).** Verification and extension of a sampling plant for apple aphid , *Aphis pomi* DeGreer (*Hemiptera : Aphididae*). *Environmental entomology*, 35, 488-496.
- 211. Wiebes, J.T., (1979).** Co-evolution of figs and their insect pollinator. *Annual Review of Ecology and Systematic*, 10, 1-12.
- 212. Wiegmann, B.M., Mitter, C., & Farrell, B., (1993).** Diversification of carnivorous parasitic insects— Extraordinary radiation or specialized dead end? *American Naturalist*, 142, 737–754.
- 213. Wilkinson, T.L. & Douglas, A.E., (2003)** phloem amino acids and the host plant range of the polyphagous aphid, *Aphis fabae* . *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 106,103-113
- 214. Williams C.M.J., Maier N.A. and L. Bartlett., (2004).** *Effect of Molybdenum foliar sprays on yield, berry size, seed formation, and petiolar nutrient composition of “Merlot” grapevines.* *Journal of Plant Nutrition* 27(11): 1891-1916.
- 215. Wood, T.K., Tilmon, K.J., Shantz, A.B., Harris, C.K., & Pesek, J., (1999).** The role of host-plant fidelity in initiating insect race formation. *Evolutionary Ecology Research*, 1, 317–332.
- 216. Wurtz A., (1955).** Action des feuilles de peuplier dans les petits bassins de piscicultures. *Bulletin Français de pisciculture*. 179 : 41-52.

- 217. Ying S, Feng M, Xu S et Ma Z., (2003).** Field efficacy of emulsifiable suspensions of *Beauveria bassiana* conidia for control of *Myzus persicae* population on cabbage. *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao* **14**: 545-548.
- 218. Yorinori M.A., Klingelfuss L.D., Paccola-Meirelles L.D. and J.T. Yorinori., (2004).** Effect of time of spraying of fungicide and foliar nutrient on soybean powdery mildew. *Journal of Phytopathology* **152**: 129-132.
- 219. Zahraoui M.A., (2010).** Effet des Variations Biogéographiques sur les Réponses Métaboliques et la Structuration Populationnelle de *Chaitophorus leucomelas* (KOCH, 1854) (*HOMOPTERA* : *APHIDIDAE*), sur le Peuplier noir (*Populus nigra*), Dans La Région De Médéa (Atlas Tellien) Et Zéralda (Littoral) , Thèse Ingénieur d'Etat en Agronomie, Faculté d'Agronomie, Université Saad Dahleb, Blida, Algérie, 76p.
- 220. Zamora M.A. and R. Fernández-Escobar., (2002).** The effect of foliar vs. Soil application of urea to olive trees. *Acta Horticulturae (ISHS)* **594**: 675-678.
- 221. Zimmerli, L., Jakab, G., Metraux, J-P. and Mauch-Mani, B., (2000).** Potentiation of pathogen-specific defense mechanisms in Arabidopsis by beta-aminobutyric acid. *Proc Natl Acad Sci USA*. **97** (23): 12920-12925.
- 222. Zsuffa L., (1974).** The genetics of *Populus nigra* L. *Ann For* **6**:29–49.

Annexe

Calendrier des sorties et prélèvements

1 ^{er} prélèvement (sortie)	(S1)	14/06/2012
2emeprélèvement (sortie)	(S2)	17/06/2012
3eme prélèvement (sortie)	(S3)	21/06/2012
4eme prélèvement (sortie)	(S4)	24/06/2012
5eme prélèvement (sortie)	(S5)	28/06/2012
6eme prélèvement (sortie)	(S6)	01/07/2012
7eme prélèvement (sortie)	(S7)	04/07/2012
8eme prélèvement (sortie)	(S8)	08/07/2012

Les densités moyennes des larves

	DLATem	DLAcoocar	DLAbiofer	DLAalgas
S1	0,368	0,021	0,174	0,139
S2	0,330	0,388	0,452	0,544
S3	0,697	0,577	0,396	0,326
S4	0,668	0,582	0,427	0,532
S5	0,771	0,461	0,488	0,638
S6	0,795	0,169	0,113	0,402
S7	0,757	0,187	0,118	0,456
S8	0,667	0,093	0,138	0,481

Les surfaces moyennes des feuilles

	Stem	Scocar	Sbiofer	Salgas
S1	6,162125	5,972625	7,338	6,020375
S2	5,94575	6,65075	6,35209375	4,546625
S3	4,774625	5,73475	5,8275	5,583
S4	5,91275	6,52825	4,860125	7,036
S5	4,774625	5,73475	5,8275	5,583
S6	6,6085	8,486375	6,75575	9,7625
S7	6,27025	9,404875	6,81575	11,6865
S8	6,27025	10,755875	7,045	10,780875

Abondances moyennes des adultes

	Adtem	Adcocar	Adbiofer	Adalgas
S1	0,05	0	0	0
S2	0,075	0,3	0,45	0,05
S3	0,025	0,325	0,1	0
S4	0,6	0,35	0,125	0,275
S5	0,025	0,325	0,1	0
S6	0,075	0,175	0,125	0,325
S7	0,075	0,175	0,225	0,325
S8	0,375	0,125	0,2	0,275

Abondances moyennes des larves

	Latem	Lacocar	Labiofer	Laalgas
S1	2,075	0,15	1,2	0,675
S2	2,2	2,225	2,65	2,2
S3	3,2	2,725	2,4	1,45
S4	3,575	3,95	2,25	2,975
S5	3,2	2,725	2,4	1,45
S6	3,475	1,05	1,475	3,575
S7	3,15	1	1,6	3,55
S8	2,9	0,775	1,275	2,925

Variations mensuelles des températures et de la pluviométrie à SOUMAA (période 1995-2010)

Moi	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
T ^{min}	4.49	4.4	5.2	8.8	11.07	17.07	20.54	22.01	16.53	13.53	8.23	5.18
T ^{max}	20.3	22.5	26.1	27.3	31.99	36.20	37.2	37.00	34.66	32.05	25.73	21.40
T ^{moy}	12.4	12.4	15.5	16.1	21.42	25.74	28.53	29.34	25.08	21.92	16.25	13.20
P (mm)	87.7	62.9	68.0	73.2	63.84	3.62	2.69	7.24	37.16	54.32	102.5	107.4
E (mm)	65.0	68.6	89.9	114.4	157.2	178.0	199.5	189.1	115.3	95.35	91.69	66.34
V (Km/h)	3.42	3.4	3.9	3.3	3.07	3.44	3.28	3.58	3.39	2.83	3.45	3.41

Variations mensuelles des températures et de la pluviométrie à SOUMAA de l'année 2010

Moi	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
T _{moy}	12,3	13,8	14,4	14,17	24,05	27,11	33,2	30	22,5	19,6	13,5	11
P (mm)	67,2	92,1	122,8	99,32	27,84	1,6	3,2	1,6	11	118	114,7	97,2

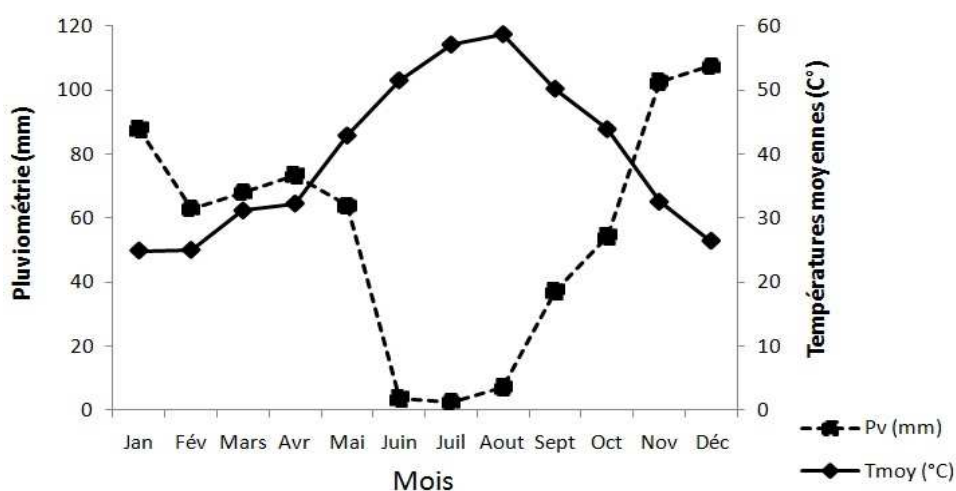


Diagramme Ombrothermique de la région de SOUMAA (période 1995-2010)

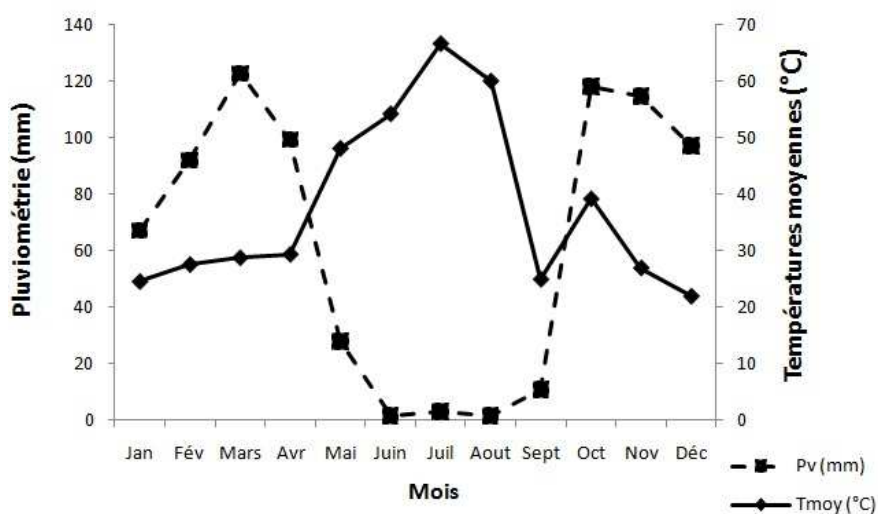


Diagramme Ombrothermique de la région de SOUMAA de l'Année 2010