

République Algérienne Démocratique et Populaire

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ecole Nationale Supérieure Agronomique d'El Harrach

المدرسة الوطنية العليا للفلاحة بالحرش

Département de zoologie agricole et forestière

دائرة علم الحشرات الزراعي و الغابي

**Thèse en vue de l'obtention du diplôme de doctorat d'Etat  
en Sciences Agronomiques**

Spécialité : Entomologie appliquée



**Sujet :**

**Ecophysiologie et perspectives de lutte contre les pucerons du  
peuplier noir dans quelques localités Algériennes :  
Cas de *Chaitophorus leucomelas* (Koch, 1854) et *Phloeomyzus  
passerinii* (Signoret, 1875) (Homoptera, Aphididae)**

**Présenté par : M. DJAZOULI Zahr-Eddine**

**Devant le jury :**

<b>Président</b>	M. Doumandji S.E.	Professeur à l'E.N.S.A. d'El Harrach
<b>Promotrice</b>	Mme Doumandji-Mitiche B.	Professeur à l'E.N.S.A. d'El Harrach
<b>Co-promoteur</b>	M. Petit D.	Maître de Conférence à l'Université de Limoges
<b>Examineurs</b>	M. Bouhraoua T.R.	Professeur à l'Université de Tlemcen
	Mme Allal-Benfekih L.	Maître de Conférence à l'Université de Blida

Soutenue le 15 mars 2010

Année universitaire : 2009-2010

## DEDICACE

*Si je dédie ce travail à mes très chers regrettés parents, je ne ferais que comme la terre qui offre ses fruits au soleil et la lune !*

*En réalité, ce petit fruit devant ces deux créatures géantes ! N'est que le produit de la bienveillance de leurs rayons doux, chauds et lumineux et il n'est de ma part qu'une modeste manière à les remercier et à leurs exprimer mes reconnaissances les plus sincères !*

*Et si je dédie ce travail à ma très chère femme, je ne ferais que comme un pêcheur qui offre un poisson à la mer !! Ou comme un homme du désert qui offre son palmier à une étoile. Cette étoile qui à tout moment lui a montré les chemins les plus sombres avec une étonnante modestie !*

*Je dédie profondément ce travail à Rym et Djinane et je les remercie de leur patience et leur esprit compréhensifs malgré leur jeune âge !*

*A mes chers sœurs et frères et à tous mes amis.....*

*Zahr Eddine*

## REMERCIEMENTS

A l'issue de ce travail de recherche, Je tiens tout d'abord à exprimer mes sincères remerciements à Mme Bahia Doumandji-Mitiche, Professeur à l'Ecole National Supérieur Agronomique d'El Harrach à Alger, et directeur de cette thèse, pour m'avoir conseillé et m'avoir renouvelé sa confiance jusqu'à la fin de la thèse. Sa présence, son écoute et ses conseils avisés m'ont énormément aidé à m'affirmer et à évoluer en tant que jeune chercheur. Je lui adresse ici toute ma reconnaissance et mon admiration.

Je ne sais combien remercier Monsieur Daniel Petit, maître de conférence à la Faculté des Sciences et Techniques de Limoges, pour avoir accepté de co-diriger avec beaucoup d'attention et de soin cette thèse, pour sa disponibilité et son soutien de chaque instant. A chaque étape du travail, il a su me guider avec une grande patience. Il a fait preuve de beaucoup de compréhension dans les moments les plus difficiles et n'a jamais cessé de me soutenir et de m'encourager. Je lui témoigne ici ma profonde gratitude et toute mon amitié.

Qu'il me soit permis d'exprimer ma profonde gratitude à Monsieur Salaheddine Doumandji, Professeur à l'Ecole National Supérieur Agronomique d'El Harrach à Alger, pour m'avoir guidé, conseillé et orienté avec beaucoup de pertinence, chaque fois que cela était nécessaire. Je lui rends hommage pour avoir accepté de présider mon jury.

Je remercie vivement Monsieur Bouhraoua Tarek Rachid, Professeur à l'Université de Tlemcen, et Mme Allal-Benfekih Leila, maître de conférence à l'Université de Blida, d'avoir accepté de faire partie du jury et d'avoir bien voulu être également rapporteur de ce travail.

Je ne pourrais oublier de remercier Monsieur Zamoum M. de l'I.N.R.F. de Bainem, Mme Krimi Z. professeur à l'Université de Blida, Monsieur M. Mateille T., maître de conférence à l'IRD de Montpellier, Monsieur Merah O. maître de conférence à l'Université Paul Sabatier de Toulouse, Madame Nowbahari E. maître de conférence à l'Université Paris 13, Mme Hourrigue N. maître de conférence à l'Université Chet Meriem de Soussa Tunisie, pour leurs conseils, leurs suggestions et leurs encouragements.

Je dis un très grand merci à tous mes collègues enseignants du laboratoire de zoologie du département d'Agronomie de Blida : Messieurs Aroun M.E.F., Mazari G., Bounaceur F. et Abdelhamid D. et Mesdames Nebih D. , Allal L. A. Guendouz et Moumène S. pour m'avoir soutenu moralement et encouragé à tout moment, Madame Amina Djemai, Madame Djamila Fadhil pour leur gentillesse, leur disponibilité ; Madame Florence Vallet du laboratoire de biologie de la Faculté des Sciences et Techniques de Limoges pour leur accueil chaleureux, leur bonté et leur enthousiasme,

Un très grand merci enfin à ma petite famille  
qui m'a accompagné tout au long de ce projet

# SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	14
<b>CHAPITRE I. GENERALITES.....</b>	<b>5</b>
<b>I. Généralités sur les traits biologiques, écologiques et diversité fonctionnelle des communautés.....</b>	<b>5</b>
1. Définitions.....	5
2. Importance des traits biologiques et écologiques comme critère de sélection des groupes fonctionnels.....	5
3. Typologie des traits biologiques et écologiques dans les communautés.....	6
4. Sélection de représentants des groupes : construction d'une batterie de test.....	10
<b>II. Généralités sur les interactions plantes hôtes – bio-agresseurs.....</b>	<b>11</b>
1. Importance de l'alimentation pour les insectes.....	11
2. Réponses de la plante face aux bio-agresseurs.....	13
<b>III. Généralités sur les insectes étudiés.....</b>	<b>18</b>
1. Données bibliographiques sur <i>Chaitophorus leucomelas</i> (Koch, 1854).....	18
2. Données bibliographiques sur <i>Phloeomyzus passerinii</i> (Signoret, 1875).....	23
3. Données bibliographiques sur <i>Phyllocnistis unipunctella</i> (Stephens, 1834).....	25
<b>IV. Généralités sur le concept de stress.....</b>	<b>27</b>
1. Définition du stress et questions sémantiques.....	27
2. Les facteurs de stress.....	27
3. La réponse au stress.....	28
4. Réponses métaboliques au stress chez les invertébrés.....	29
5. Réponses métaboliques au stress chez les plantes.....	35
<b>V. Evaluation du stress et notion du biomarqueur.....</b>	<b>36</b>
1. Définition.....	37
2. Types de biomarqueur.....	37
<b>CHAPITRE II. METHODOLOGIE.....</b>	<b>39</b>
<b>I. Etude de la variation spatio-temporelle des groupes fonctionnels de l'entomocénose de <i>Populus nigra</i> L. dans la plaine de Mitidja.....</b>	<b>39</b>
1. Présentation des sites d'étude.....	39
2. Techniques de prélèvement.....	40
<b>II. Etudes des effets de la composition minérale et protéique des feuilles de <i>Populus nigra</i> et <i>Populus deltoides</i> sur la dynamique des populations de <i>Chaitophorus leucomelas</i> (Koch, 1854) et <i>Phyllocnistis unipunctella</i> (Stephens, 1834) dans la peupleraie naturelle d'El Kala.....</b>	<b>42</b>
1. Présentation des sites d'étude.....	42
2. Matériel végétal, insectes et dispositif expérimental.....	43
3. Prélèvements et dosages.....	43
<b>III. Etude des effets de la variation qualitative de <i>Populus nigra</i> et <i>Populus deltoides</i> sur les traits de vies biochimiques de <i>Chaitophorus leucomelas</i> (Koch, 1854) dans les régions du littoral (Zéralda) et du sublittoral (Soumâa).....</b>	<b>45</b>
1. Présentation des sites d'étude.....	45
2. Matériel végétal, insectes et dispositif expérimental.....	46
3. Technique de prélèvements.....	46
<b>IV. Etude des effets des variations thermiques sur les traits de vies biochimiques et pondéraux de <i>Chaitophorus leucomelas</i> (Koch, 1854).....</b>	<b>50</b>
1. Zonage topographique, bioclimat et climatologie des régions d'étude.....	50
2. Technique de prélèvements.....	53
3. Extraction et dosages.....	53
<b>V. Etude des effets des doses de l'Oxamyle (pesticide) sur les traits de vies biochimiques et pondéraux de <i>Phloeomyzus passerinii</i> (Signoret, 1875).....</b>	<b>55</b>
1. Matériel biologique et produit phytosanitaire.....	55
2. Modèle expérimental et prélèvements.....	55
<b>VI. Effet des matières actives des pesticides sur la biocénose associée à <i>Chaitophorus leucomelas</i> sur <i>Populus nigra</i>.....</b>	<b>56</b>
1. Matériel biologique et produit phytosanitaire.....	56
2. Modèle expérimental et prélèvements.....	56
3. Extraction et dosages.....	Erreur ! Signet non défini.

<b>VII. Analyses statistiques</b> .....	58
1. Analyses de variance (SYSTAT vers. 12, SPSS 2009).....	58
2. Corrélations-régressions (SYSTAT vers. 12, SPSS 2009 et Excel™).....	58
3. Analyses multivariées (PAST vers. 1.37, Hammer et al., 2001).....	58
<b>CHAPITRE III. RESULTATS</b> .....	<b>59</b>
<b>I. Etude de la variation spatio-temporelle des groupes fonctionnels de l'entomocénose de <i>Populus nigra</i> L. dans la plaine de Mitidja</b> .....	<b>59</b>
1. Dimension de l'échantillon et composition taxonomique.....	59
2. Analyse temporelle globale des communautés.....	59
3. Analyse compartiment par compartiment.....	61
<b>II. Etudes des effets de la composition minérale et protéique des feuilles de <i>Populus nigra</i> et <i>Populus deltoides</i> sur la dynamique des populations de <i>Chaitophorus leucomelas</i> (Koch, 1854) et <i>Phyllocnistis unipunctella</i> (Stephens, 1834) dans la peupleraie naturelle d'El Kala</b> .....	<b>65</b>
1. Répartition spatiotemporelle de <i>Chaitophorus leucomelas</i> et de <i>Phyllocnistis unipunctella</i> sur les feuilles de <i>Populus nigra</i> et <i>Populus deltoides</i> .....	65
2. Fluctuation spatiotemporelle des populations de <i>Chaitophorus leucomelas</i> et <i>Phyllocnistis unipunctella</i> en fonction de la composition minérale et protéique des feuilles de <i>Populus nigra</i> et <i>Populus deltoides</i> .....	66
<b>III. Etude des effets de la variation qualitative de <i>Populus nigra</i> et <i>Populus deltoides</i> sur les traits de vies biochimiques de <i>Chaitophorus leucomelas</i> (Koch, 1854) dans les régions du littoral (Zéralda) et du sublittoral (Soumâa)</b> .....	<b>67</b>
1. Variations spatiales des réserves énergétiques de <i>Chaitophorus leucomelas</i> .....	67
2. Évolution spatiales des principes actifs et de la quantité d'eau des <i>Populus</i> .....	68
3. Variations spatio-temporelles des réserves énergétiques disponibles pour <i>Chaitophorus leucomelas</i> .....	69
<b>IV. Etude des effets des variations thermiques sur les traits de vies biochimiques et pondéraux de <i>Chaitophorus leucomelas</i> (Koch, 1854)</b> .....	<b>75</b>
1. Comparaisons des paramètres énergétiques et pondéraux des différentes générations.....	75
2. Réponses pondérales et énergétiques des générations fondatrigenes.....	76
3. Réponses pondérales et énergétiques de la génération sexupare.....	78
<b>V. Etude des effets des doses de l'Oxamyle (pesticide) sur les traits de vies biochimiques et pondéraux de <i>Phloeomyzus passerinii</i> (Signoret, 1875)</b> .....	<b>79</b>
1. Effet de la demi-dose sur les traits de vie biochimiques et pondéraux.....	79
2. Effet de la dose sur les traits de vie biochimiques et pondéraux.....	79
<b>VI. Effet des matières actives des pesticides sur la biocénose associée à <i>Chaitophorus leucomelas</i> sur <i>Populus nigra</i></b> .....	<b>80</b>
1. Variation temporelle de la structure des peuplements dans le bloc témoin.....	80
2. Vérification de l'homogénéité des blocs.....	81
3. Effet des traitements sur les abondances des différents groupes.....	82
<b>CHAPITRE IV. DISCUSSION</b> .....	<b>85</b>
<b>I. Etude de la variation spatio-temporelle des groupes fonctionnels de l'entomocénose de <i>Populus nigra</i> L. dans la plaine de Mitidja</b> .....	<b>85</b>
<b>II. Etudes des effets de la composition minérale et protéique des feuilles de <i>Populus nigra</i> et <i>Populus deltoides</i> sur la dynamique des populations de <i>Chaitophorus leucomelas</i> (Koch, 1854) et <i>Phyllocnistis unipunctella</i> (Stephens, 1834) dans la peupleraie naturelle d'El Kala</b> .....	<b>89</b>
<b>III. Etude des effets de la variation qualitative de <i>Populus nigra</i> et <i>Populus deltoides</i> sur les traits de vies biochimiques de <i>Chaitophorus leucomelas</i> (Koch, 1854) dans les régions du littoral (Zéralda) et du sublittoral (Soumâa)</b> .....	<b>92</b>
<b>IV. Etude des effets des variations thermiques sur les traits de vies biochimiques et pondéraux de <i>Chaitophorus leucomelas</i> (Koch, 1854)</b> .....	<b>95</b>
<b>V. Etude des effets des doses de l'Oxamyle (pesticide) sur les traits de vies biochimiques et pondéraux de <i>Phloeomyzus passerinii</i> (Signoret, 1875)</b> .....	<b>98</b>
<b>VI. Effet des matières actives des pesticides sur la biocénose associée à <i>Chaitophorus leucomelas</i> sur <i>Populus nigra</i></b> .....	<b>101</b>
<b>CONCLUSIONS-PERSPECTIVES</b> .....	<b>103</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	<b>107</b>
<b>ANNEXE</b> .....	<b>1073</b>

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Etapes de construction des groupes fonctionnels et outils statistiques utilisés .....	7
Figure 2 : Les métabolite secondaires produits par la palnte suite à des agréssions biotique et/ou abiotiques .....	15
Figure 3 : Réactions de défense contre un agent pathogène .....	16
Figure 4 : Mécanismes de défense cellulaire contre les ravageurs .....	17
Figure 5 : Description morphologique des différentes générations .....	19
de <i>Chaitophorus leucomelas</i> .....	19
Figure 6 : Cycle biologique de <i>Chaitophorus leucomelas</i> .....	21
Figure 7 : La femelle aptère virginipare de <i>Phloeomyzus passerinii</i> .....	24
Figure 8 : Description morphologique des différentes stades de <i>Phyllocnistis unipunctella</i> .....	26
Figure 9 : Schéma des voies majeures conduisant à la détoxification et la toxification des xénobiotiques organiques chez les animaux .....	33
Figure 10 : Représentation schématique de la répartition de l'énergie dans la théorie DEB (Dynamic Energy Budget) .....	34
Figure 11 : Effets du stress hydrique au niveau cellulaire chez les végétaux .....	35
Figure 12 : les différents niveaux d'évaluation du risque, et leurs relations temporelles .....	37
Figure 13: Relations mettant en évidence l'effet d'un polluant sur un organisme .....	38
Figure 14 : Limite géographique de la Mitidja) .....	39
Figure 15 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson des stations d'études établi sur une période de 10 ans (1993 – 2003) .....	41
Figure 16 : Dispositif expérimental des stations d'étude (Soumâa, Koléa) .....	41
Figure 17 : Situation géographique de la station de prélèvement (Tonga, Taref) .....	42
Figure 18 : Dispositif expérimental de la station d'étude du Lac Tonga .....	43
Figure 19 : Situation géographique des stations de prélèvement (Zéralda et Soumâa) .....	45
Figure 20 : Dispositif expérimental des stations d'étude (Zéralda et Soumâa) .....	46
Figure 21 : Diagramme ombrothermique des régions durant la décennie (1996-2006) .....	52
Figure 22 : Schéma du dispositif expérimental des stations d'étude .....	54
Figure 23 : Schéma du dispositif expérimental de l'effet dose .....	55
Figure 24 : Dispositif expérimental de la station d'étude désignant les blocs de traitements .....	57
Figure 25 : Detrended correspondance Analysis (D.C.A.) des assemblages de <i>Populus nigra</i> prélevés dans les régions de Soumâa et Koléa .....	60
Figure 26 : Ajustement des communautés à la série géométrique du modèle MOTOMURA (logarithme de l'abondance des espèces, Rang) .....	62
Figure 27 : Succession des groupes fonctionnels au niveau des compartiments feuilles et rameaux de <i>Populus nigra</i> .....	64
Figure 28 : Variations mensuelles des densités observées chez <i>P. nigra</i> et <i>P. deltoides</i> .....	65
Figure 29 : Fluctuation spatiotemporelle des populations de <i>Chaitophorus leucomelas</i> , <i>Phyllocnistis unipunctella</i> et taux des éléments minéraux des feuilles de <i>Populus deltoides</i> et de <i>Populus nigra</i> évoluant dans une peupleraie polyclonale naturelle dans la région d'El-Kala (Est Algérien) étudiée durant la période 2003-2004 .....	66
Figure 30 : Distribution quantitative des réserves énergétiques de <i>C. leucomelas</i> sur <i>P. nigra</i> et <i>P. deltoides</i> dans les régions de Soumâa et de Zéralda .....	67
Figure 31 : Distribution quantitative des principes actifs et la quantité d'eau de <i>Populus nigra</i> et de <i>Populus deltoides</i> dans les régions de Soumâa et de Zéralda .....	68
Figure 32 : Distribution quantitative des principes actifs dans la matière sèche de <i>Populus nigra</i> et de <i>Populus deltoides</i> dans les régions de Soumâa et de Zéralda .....	69
Figure 33 : Variations temporelles des valeurs en poids sec obtenus sur <i>Populus nigra</i> et <i>Populus deltoides</i> .....	71
Figure 34 : Plan d'ordination F1-F2, avec les mesures en poids frais .....	73
Figure 35 : Variations pondérales et énergétiques chez les générations fondatrigenes et sexupares .....	76
Figure 36 : Variations pondérales et énergétiques chez les fondatrigenes .....	77
Figure 37 : Variations pondérales et énergétiques chez les sexupares .....	78
Figure 38 : Variations des réserves énergétiques sous l'effet de l'Oxamyle à la dose normale .....	80
Figure 39 : Diagramme rang-fréquences dans le bloc témoin .....	81
Figure 40 : Variation des abondances des différents groupes trophiques selon le traitement et le mois .....	84

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Principales adaptations comportementales et physiologiques durant la réponse au stress chez les vertébrés.....	29
Tableau 2 : Méthode suivie pour l'obtention de la courbe standard de cholestérol .....	47
Tableau 3 : Richesse spécifique des zoocénoses des quatre compartiments .....	59
Tableau 4 : Variations mensuelles des distances euclidiennes entre les projections des 2 stations (calculées à partir des coordonnées des 3 premiers axes) .....	60
Tableau 5 : Comparaisons de pente dans les différents assemblages qui se succèdent dans le temps. ....	61
Tableau 6 : Indices de similarité de Jaccard.....	62
Tableau 7 : Décalage temporel des groupes trophiques .....	63
Tableau 8 : Répartition spatiotemporelle de <i>Chaitophorus leucomelas</i> et de <i>Phyllocnistis unipunctella</i> sur les feuilles de <i>Populus nigra</i> et <i>Populus deltoides</i> .....	66
Tableau 9 : Teneur en éléments minéraux (mg /g M.S.) des feuilles de <i>Populus deltoides</i> et <i>P. nigra</i> .....	65
Tableau 10 : Teneur en protéines (mg/g M.S.) des feuilles de <i>Populus deltoides</i> et <i>Populus nigra</i> . ....	65
Tableau 11 : Corrélations de Pearson entre les densités des populations et les paramètres chimiques et biochimiques des feuilles .....	65
Tableau 12 : Mesures en poids frais des qualités des feuilles de <i>Populus</i> et des pucerons femelles du littoral et sublittoral .....	69
Tableau 13 : Mesures en poids sec des qualités des feuilles de <i>Populus</i> et des pucerons femelles du littoral et sublittoral .....	70
Tableau 14 : Corrélations entre poids frais des principes actifs et mesures pondérales et énergétiques des femelles. ....	72
Tableau 15 : Corrélations entre poids sec des principes actifs et mesures pondérales et énergétiques des femelles .....	74
Tableau 16 : Modèle G.L.M. appliqué aux différentes générations (N=76) .....	75
Tableau 17 : Modèle G.L.M. pour la génération fondatrigenèse (N=28) .....	77
Tableau 18 : Modèle G.L.M. pour la génération sexupare (N=48) .....	78
Tableau 19 : Analyses de variances pour tester l'effet de l'Oxamyle (demi-dose) sur le poids et les réserves en lipides et en glucides (N=20) .....	79
Tableau 20 : Analyses de variances pour tester l'effet de l'Oxamyle (Dose normale) sur le poids et les réserves en lipides et en glucides (N=20).....	79
Tableau 21 : Test de l'homogénéité faunistique des 3 blocs.....	81
Tableau 22 : Variations des abondances des différents groupes trophiques dans les 3 blocs.....	81

## RESUME

Ecophysiologie et perspectives de lutte contre les pucerons du peuplier noir dans quelques localités Algériennes : Cas de *Chaitophorus leucomelas* et *Phloeomyzus passerinii*

Cette thèse présente les résultats relatifs à la composition taxonomique et le fonctionnement des groupes trophiques par rapport aux caractères phénologiques des différents compartiments de *Populus nigra*. De plus, elle met en évidence l'effet des changements phytochimiques des feuilles des peupleraies polyclonales naturelles et artificielles sur la distribution et la proportion des populations des ravageurs potentiels, ainsi que la nature de leurs réponses métaboliques sous l'effet des facteurs abiotiques et anthropiques. Les résultats démontrent que les communautés sont structurellement et fonctionnellement différentes et que la variation de leurs abondances semble être tributaire de la valeur des compartiments (feuilles, rameaux, tronc et galle). L'aspect qualitatif du support nourricier nous permet de constater que la variation des teneurs saisonnières en éléments minéraux dans les feuilles de *Populus nigra* et *P. deltoides* coïncide avec des changements de densités de *Chaitophorus leucomelas* et *Phyllocnistis unipunctella*. Ainsi, le potassium semble favoriser une répartition agrégative alors que l'augmentation de la teneur en calcium serait synchronisée avec une répartition normale. L'allocation des réserves énergétiques (lipides et glucides) et le remaniement des mesures pondérales, dépendent des essences de peuplier, ainsi que des fluctuations thermiques des différentes localités. Les résultats relatifs à la sensibilité des réserves énergétiques de *Phloeomyzus passerinii* suite à son exposition à un aphicide systémique, ont montré une variabilité dans la teneur en lipides et en glucides qui semble dépendre de la concentration du produit et du temps d'exposition. En ce qui concerne la biocénose associée à *Chaitophorus leucomelas*, les résultats obtenus font état d'installation d'un effet choc (Knock Down) pour les pucerons et les fourmis trophobiontes, suivis par les Hyménoptères pollinisateurs. Il en ressort que les applications en mélange de 2 produits ont d'une manière générale plus d'impact sur la variation spatio-temporelle des arthropodes que l'action répétée d'une seule molécule.

Mots clés : *Populus*, *Chaitophorus leucomelas*, *Phloeomyzus passerinii*, *Phyllocnistis unipunctella*, communautés, groupes fonctionnels, qualité phytochimiques, réserves énergétiques, stress

## ABSTRACT

Ecophysiology of *Populus nigra*'s aphids and strategy for fighting in several Algerian localities : *Chaitophorus leucomelas* and *Phloeomyzus passerinii*

This thesis presents results dealing with the taxonomic composition and the trophic group functions in relation with the phenologic characters of various compartments of *Populus nigra*. Moreover, it highlights the effect of the phytochemical changes of the leaves of natural and artificial polyclonal poplar stands on the distribution and the proportion of populations of potential pest insects, as well as the nature of their metabolic responses under the effect of the abiotic and anthropic factors. The results show that the communities are structurally and functionally different and that the variation of their abundances seems to depend on the properties of the compartments (leaves, branches, trunk and galls). The qualitative aspect of the trophic compartment enables us to note that the variation of the seasonal contents in biogenic salts in the leaves of *Populus nigra* and *P. deltoides* coincides with density changes of *Chaitophorus leucomelas* and *Phyllocnistis unipunctella*. Thus, potassium seems to facilitate an aggregative distribution, whereas an increase in calcium content would favour a more normal distribution. The allocation of energy reserves (lipids and glucids) and the rehandling of ponderal measurements depend on poplar species, as well as on temperature variations in the various localities. The results relative to the sensitivity of the energy reserves of *Phloeomyzus passerinii* as a result of its exposure to a systemic aphicide, showed a variability in the content of lipids and glucids which seems to depend on the concentration of the product and the duration of application. With regard to the biocenosis associated with *Chaitophorus leucomelas*, the results show that it appears a Knock Down effect for the aphids and trophobiont ants, and also on pollinating Hymenoptera. This also reveals that the applications in mixture of 2 products generally have more impact on the spatio-temporal variations of the arthropods than the repeated action of only one molecule.

Key words: *Populus*, *Chaitophorus leucomelas*, *Phloeomyzus passerinii*, *Phyllocnistis unipunctella*, communities, functional groups, phytochemical quality, energetic reserves, stress

## ايكوفيزيولوجيا وآفاق مكافحة من الصفصاف الأسود في بعض المناطق الجزائرية : حالة *Phloeomyzus passerinii* و *Chaitophorus leucomelas*

### ملخص

هذه الأطروحة تعرض النتائج الخاصة بالتكوين التصنيفي و الوظيفي للمجموعات الغذائية في ما يتعلق بلخصائص الفيزيولوجية لمختلف أجزاء الصفصاف. وعلاوة على ذلك ، فإنه يلقي الضوء على تأثير التغيرات الكيميائية لأوراق أشجار الصفصاف الطبيعية والمغروسة على نسبة توزيع الكثافة العددية للأفات المحتملة ، وطبيعة استجاباتها الأيضية تحت تأثير العوامل غير الحيوية والبشرية . وتظهر النتائج عن وجود اختلاف في المجموعات الحيوانية من الناحية الهيكلية والوظيفية المختلفة ، وبأن التغيرات في الكثافة العددية التي طرأت على الوفرة النوعية هي راجعة فيما يبدو إلى القيمة الغذائية لأجزاء الشجرة (الأوراق والفروع والجذع). إن الجانب النوعي للدعائم الغذائية ، سمح لنا بالقول من أن التفاوت الموسمي في مستويات العناصر المعدنية لأوراق أشجار *Populus nigra* و *P. deltoides* يتزامن مع التغيرات في الكثافة العددية *Chaitophorus leucomelas* و *Phyllocnistis unipunctella* . وبالتالي ، يبدو أن البوتاسيوم له اثر على طبيعة التوزيع التجميعي فيما أن زيادة محتوى الكالسيوم يتزامن مع التوزيع العادي للعشائر. اظهرت النتائج أن تخصيص احتياطات الطاقة (الدهون و السكريات) ، وإعادة تنظيم قياسات الوزن يعتمد على النوعية الكيميائية لأوراق أشجار الصفصاف ، فضلا عن التغيرات الحرارية في المواقع المختلفة لنموه . النتائج الخاصة بحساسية المدخرات الطاقوية ل *Phloeomyzus passerinii* عقب تعرضه لمبيد حشري جهازي أظهرت وجود تباين طردي بين تراكيز الدهون والكربوهيدرات و تركيز المبيد وزمن التعرض. فيما يتعلق التجمعات البيولوجية المرتبطة ب *Chaitophorus leucomelas* ، فان النتائج تشير إلى تأثير المبيدات بطريقة الصدمة (صرع) لوح على المن والنمل تليها غشائيات الأجنحة والملقحات. كما أظهرت النتائج أن التطبيقات الصحية باستعمال خليط لمبيدين حشريين له تأثير كبير بصفة عامة على التباين المكاني والزمني للمفصليات مقارنة باستعمال المتكرر للمبيد الحشري بشكل منفرد.

### الكلمات الدالة

المجموعات الحيوانية ، المجموعات الوظيفية ، طبيعة التغيرات الكيميائية لأوراق أشجار الصفصاف ، المدخرات الطاقوية ، *Populus* ، *Chaitophorus leucomelas* ، *Phloeomyzus passerinii* ، *unipunctella* *Phyllocnistis*

# INTRODUCTION

Le bois occupe actuellement une place très importante dans l'économie mondiale ; les quantités consommées en 1980 ont été de 1233 millions de mètres cubes, dont 370 pour les feuillus (FAO, 1982). Pour ces derniers la progression a été très rapide : entre 1980 et 1990, la consommation mondiale est passée de 370 millions à 469 millions de mètres cubes, et pourrait dépasser 585 millions de mètres cubes en l'an 2000 (FAO, 1988).

Afin de répondre à ces besoins en fibres, il faut procéder à une spécialisation des forêts et à une sélection d'individus à haut rendement. Parmi les essences feuillues, les peupliers sont réputés de croissance rapide et d'un rendement élevé, et pourraient satisfaire les besoins des pays en bois tendre à court et moyen terme (Abgrall et Soutrenon, 1991).

Durant cette dernière décennie, l'industrie forestière s'intéresse à une plus grande variété d'essences forestières que par le passé, en partie pour des raisons de rentabilité, mais aussi parce que la demande en produits nouveaux ou de différentes qualités augmente. L'exemple le plus marqué est celui de l'utilisation croissante du peuplier *Populus sp.* par les sylviculteurs. Le potentiel du peuplier provient notamment de sa fibre particulière qui est utilisée dans le secteur de la pâte à papier et du conditionnement ainsi que de sa croissance rapide qui permet des rotations plus courtes (intervalle de coupe) (Fortin *et al.*, 1999).

Les végétaux, du fait de leur incapacité à se mouvoir sont soumis dans leur environnement à une multitude de stress biotiques ou abiotiques. Dans les conditions de culture, les plantes sont soumises à des agressions diverses du milieu qui sont susceptibles de perturber leur développement et d'affecter leurs potentialités agronomiques en terme de rendement. Ces agressions sont de trois types : celles liées au sol lui-même (salinité, pH, métaux lourds...), celles qui sont à l'interface sol-atmosphère (stress hydrique, stress thermique) et enfin, celles qui résultent d'interactions avec d'autres organismes se développant dans le même agro système (insectes, nématodes, champignons, bactéries, virus, mauvaises herbes...) (Deshayes, 1991).

Dans cette optique, Bourdu (1986), estime que les cultures de peupliers sont équiennes et constituées habituellement d'un seul cultivar. Elles sont par conséquent très vulnérables, beaucoup plus que les essences forestières classiques dont les peuplements sont des populations d'individus à matériel génétique variable. De ce fait, les attaques parasitaires peuvent donc être nombreuses, répétées et très dommageables.

Parmi les ravageurs les plus redoutables, les pucerons constituent une véritable menace de par la gravité des nuisances due à plusieurs facteurs parmi eux : leur polyphagie, leur pouvoir d'adaptation rapide et leur grand pouvoir de reproduction (Barbagallo, 1985).

La performance biologique de ces insectes 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 Slansky, 1981).

Les relations plantes-insectes ont fait l'objet d'importantes études et les retombées économiques certaines. Si certains insectes sont particulièrement utiles aux plantes, nombreux sont les nuisibles qui s'alimentent de la plante, provoquant parfois des dégâts irréparables. Face à cette pression, les végétaux possèdent un système de résistance efficace, basé sur des

caractères physiques, chimiques et développementaux, vis-à-vis de ces ravageurs (Louis, 2004). Néanmoins, la plupart des déprédateurs sont généralement incapables de franchir les barrières protectrices externes des plantes, comme la cuticule ou la paroi pecto-cellulosique. A cette résistance passive s'ajoutent des réponses de défense activées par l'agression, qui conduisent autour des sites d'agression à la modification des activités métaboliques, aboutissant à un arsenal chimique qui agit directement sur des paramètres liés à la fitness des phytophages tels que la croissance, le développement, la reproduction ou la longévité (Duffey et Stout, 1996).

Les composés chimiques produits par les plantes, et qui façonnent l'ensemble des adaptations métaboliques des déprédateurs, fluctuent non seulement au niveau du site d'attaque mais également durant la phase d'expansion foliaire. En effet selon la théorie de « l'Optimal Defense » (Zangerl et Bazzaz, 1992), l'expression phytochimique est plus forte au niveau des parties importantes en terme de fitness pour la plante et au niveau des zones présentant de fortes probabilités d'attaques, notamment le méristème floral et les jeunes feuilles et au niveau des vieilles feuilles (Ohnmeiss et Baldwin, 2000). De nombreux auteurs ont montré la présence d'une synchronisation spatiotemporelle entre l'installation primaire des insectes forestiers et le débourrement de leurs hôtes, inhérente à des changements biochimiques ou physiologiques au cours de la croissance des feuilles (Agrawal, 1998 ; Baldwin, 1998). De tels changements seraient d'une importance particulière pour les insectes phytophages qui se nourrissent durant la période printano-estivale (Hunter, 1991).

Il est très difficile de prévoir quelle peut être la conséquence des changements attendus sur la pression globale des ravageurs forestiers. Ceci tient en partie à la forte diversité des stratégies chez ces organismes. Il est clair que les ravageurs face à une augmentation de la fréquence des stress vont réagir d'une complexité remarquable rendant toute prédiction hasardeuse (Chrousos et Gold, 1992).

Afin de faire face aux dégâts causés par ces ravageurs, le recours en premier lieu à l'analyse des divers éléments touchant à la structure spatio-temporelle, à la composition, au fonctionnement des écosystèmes ou bien à la biologie des populations, constituent des indicateurs de tendance qui mettent en relief les causes de régression ou d'évolution de certains taxons dans les écosystèmes forestiers à différents pas de temps (Chararas, 1979 ; Dajoz, 1980). Dajoz *in* Pesson (1974) estime que les interactions entre les facteurs biotiques et abiotiques et leur influence sur la diversité d'insectes, la coexistence d'espèces et leur distribution en milieu forestier ont été bien décrits. À propos du genre *Populus*, le contexte bio-éthro-écologie des insectes associés à ce genre a été abordé par Chararas (1972), Nef et Janssens (1982) et Delplanque (1998), sous l'angle du cycle annuel et de la phénologie. D'autres chercheurs ont tenté de caractériser la succession de générations qui se produisent dans les galles (Pike *et al.*, 2007). A la suite, Hammond *et al.* (2004), se sont tournés vers les variations spatio-temporelles des assemblages des coléoptères sur peuplier.

La synchronisation des insectes phytophages avec le développement de l'essence hôte a particulièrement été étudiée dans le cas du peuplier (Collinge et Louda, 1989; Perala, 1990 ; Maclauchlan et Borden, 1995), du moment qu'elle joue un rôle clé dans la survie et la dynamique de populations de ces derniers (Hunter, 1992). L'influence de la qualité nutritive sur cette synchronisation va au-delà de sa simple disponibilité. En général, au niveau de la canopée, plus la saison de croissance avance, plus la qualité de la ressource diminue (Feeny, 1976; Hunter et Lechowicz, 1992, Hunter et Elkinton, 2000; Lawrence *et al.*, 1997), et c'est ce qui explique le grand nombre d'espèces printanières qui profitent de cette période où la

ressource est riche et correspondrait à une qualité optimale pour la fitness d'une espèce phytophage (Lawrence *et al.* 1997; Hwang et Lindroth, 1998 ; Hunter et Elkinton 2000). De plus, les variations phénologiques au niveau de l'écorce, pourraient affecter le développement de nombreuses espèces d'insectes, puisque Kozlowski *et al.* (1991) et Redmer *et al.* (2001) avancent que le degré de lignification, la quantité d'eau, de sucre, de protéines et de composés secondaires sont des exemples de facteurs qui varient durant la saison et pourraient augmenter ou diminuer la susceptibilité de l'écorce autant que substrat nourricier.

En deuxièmement, l'orientation vers la lutte chimique est la plus connue des méthodes répressives. Elle s'est révélée très efficace et fiable dans un nombre important de cas, d'où leur utilisation systématique et abusive. L'objectif n'est pas d'éliminer totalement le déprédateur, ce qui exercerait une pression sélective trop grande (les insectes ont aussi leurs mécanismes d'évolution), mais de ramener celui-ci à un niveau acceptable pour le populteur (Arzon et Vidano, 1986). Ainsi malgré son efficacité rapide, la lutte chimique n'est pas durable, les ravageurs peuvent souvent développer une résistance au bout d'un certain temps, parfois très court ce qui induit donc à une complication accentuée de la situation (Urban, 1997).

Afin de comprendre les limites d'efficacité des différents moyens de lutte, plusieurs aspects ont été développés afin de déceler la biodynamie des matières actives une fois en contact avec les bioagresseurs. De multiples méthodes de mesure de variables biologiques et écologiques viennent compléter les analyses traditionnelles, il s'agit des biomarqueurs. Ce sont des paramètres qui quantifient un niveau de stress de façon précoce entre l'organisme et le produit phytosanitaire avant que des effets irréversibles n'apparaissent (Amiard *et al.*, 1998). Certains auteurs tels que Mayer *et al.* (1992) ; Engel et Vaughan (1996), ont rappelé les critères de choix d'un biomarqueur destiné à apporter des informations relatives au risque pour les écosystèmes :

- Réponse dépendant simplement de la dose et du temps et qui permet une quantification de l'exposition ou de l'effet à partir de la mesure du biomarqueur.
- Une signification biologique : pouvoir prédictif du biomarqueur quant à des effets à des niveaux biologiques supérieurs (reproduction...).

Lagadic *et al.* (1997) confirment qu'un biomarqueur mesuré au niveau individuel ne trouve sa signification métabolique que lorsqu'il permet de décrire, d'expliquer, voire même de prédire, les effets des perturbations sur les populations et communautés évoluant dans leur environnement naturel. Par ailleurs, Molven et Goksoyr (1993) signalent que les organismes mettent en place différentes moyennes de lutte face à un stress, et qu'il semble a priori que toutes ces réponses coûtent à l'organisme des ressources métaboliques et spécialement en énergie (réserves énergétiques).

Dans un souci d'objectivité de suivi à long terme des écosystèmes naturels et d'évaluation de leur état de conservation, l'objectif convoité par cette approche a été de décrire la composition taxonomique et la structure trophique de la zoocénose confinée au niveau de chaque compartiment de *Populus nigra*, et d'évaluer le fonctionnement des communautés ou groupes trophiques par rapports aux caractères phénologiques de la plante hôte. L'évidence préliminaire suggérait l'évaluation des hypothèses suivantes : (i) Les communautés des feuilles, rameaux, tronc et galles présentent-elles des similarités structurales et fonctionnelles ? (ii) L'expression phénologique saisonnière peut elle gouverner la succession des communautés et leurs variations d'abondances temporelles ? (iii) La structure trophique

des différents groupes trophiques différera-t-elle au sein d'une communautés occupant le même compartiment ? Est-il prévu la présence de communautés autonomes et/ ou interrelationnelles ?

Ensuite, notre objectif a été d'évaluer l'impact des changements phytochimiques notamment les protéines végétales, les composés phénoliques et les éléments minéraux des feuilles des peupleraies polyclonales naturelles et artificielles sur la distribution et la proportion des populations des deux ravageurs *Chaitophorus leucomelas* et *Phyllocnistis unipunctella*. De tels changements seraient-ils d'une importance particulière pour la variation de la fécondité les insectes phytophages ?

Le dernier objectif que nous nous sommes fixé a été de vérifier la nature des réponses métaboliques sous l'effet des variations thermiques et suite à l'effet d'exposition de la biocénose associée aux populations de *Chaitophorus leucomelas* et de *Phloeomyzus passerinii* aux produits phytosanitaires. En définitive, face à une augmentation de la fréquence d'installation des différents stress, peut-on prédire la complexité et la forte diversité des stratégies de réponses chez ces organismes ?

# CHAPITRE I. GENERALITES

## I. Généralités sur les traits biologiques, écologiques et diversité fonctionnelle des communautés

### 1. Définitions

On appelle traits biologiques et écologiques l'ensemble des informations qualitatives et quantitatives associées à la biologie et à l'écologie des organismes. Ces traits correspondent à une adaptation des organismes aux propriétés biotiques et abiotiques de leur habitat, ainsi qu'à sa variabilité spatiale et temporelle (Townsend et Hildrew, 1994). Dans une biocénose, la gamme de traits observée dépend donc de la mosaïque d'habitats composant l'écosystème.

La diversité fonctionnelle d'une communauté peut être définie à partir de l'ensemble des combinaisons de traits rencontrées dans la communauté (Usseglio-Polatera *et al.*, 2000) et impliquées dans la modification des propriétés biotiques et abiotiques de l'habitat (Gerino *et al.*, 2003). Les modifications du milieu par les invertébrés concernent principalement les propriétés des producteurs et le recyclage de la matière organique (via leur activité trophique). A partir de ces deux critères, les invertébrés peuvent être classés en différents groupes (consommateurs primaires, consommateurs secondaires, trophobiontes, successeurs etc.). Ces groupes d'espèces, ayant un rôle ou un comportement similaire pour un processus écologique donné, indépendamment de leur appartenance taxonomique, sont dits « groupes fonctionnels » (Grime, 1979). La répartition des espèces au sein des groupes fonctionnels dépend directement de leurs traits biologiques et écologiques. Ces groupes rassemblent donc les taxa qui présentent les combinaisons de traits les plus similaires (Usseglio-Polatera *et al.*, 2000). Concrètement, la diversité fonctionnelle représente donc une traduction numérique de la diversité des traits biologiques et écologiques observés dans la communauté. Son étude se base sur la répartition des organismes de la communauté en groupes fonctionnels.

### 2. Importance des traits biologiques et écologiques comme critère de sélection des groupes fonctionnels

Il est connu que les traits biologiques et écologiques influencent le niveau d'appréciation et les voies d'installation des organismes, ainsi que leur réponse aux variations nutritionnelles. Ainsi, ces traits déterminent au moins partiellement la réponse biologique des espèces au niveau individuel et populationnel (Vaal *et al.*, 1997, 2000 ; Wogram et Liess, 2001 ; Escher et Hermens, 2002). L'étude des traits biologiques et écologiques constitue donc un moyen pertinent pour obtenir une batterie de tests qui soit au moins partiellement représentative de la gamme de sensibilité des organismes composant cette communauté.

Par ailleurs, les caractéristiques biologiques et écologiques ont servi de base de réflexion pour de nombreux concepts écologiques visant à décrire la structure et le fonctionnement des communautés naturelles.

Tout d'abord, Vannote *et al.* (1980) ont tenté de décrire de façon simple le fonctionnement d'un marais : ce dernier est considéré comme une mosaïque d'habitats offrant un continuum de conditions physiques, chimiques et hydrauliques auquel correspond un continuum des propriétés biotiques des communautés autochtones (continuum concept). Southwood (1988) propose alors l'hypothèse que ce sont les propriétés abiotiques de l'habitat qui déterminent la

valeur des traits biologiques et écologiques des organismes inféodés à cet habitat et guident l'évolution de la valeur de ces traits.

En 1994, la « habitat templet theory » (Townsend et Hildrew) fait le lien entre la variabilité spatio-temporelle d'un habitat et les caractéristiques biologiques et écologiques du peuplement autochtone : la variabilité environnementale, et plus particulièrement la fréquence et l'intensité des perturbations sont considérées comme les facteurs majoritairement responsables de la structure et du fonctionnement des communautés. Cette théorie reliant les traits d'histoire de vie des espèces aux gradients de la variabilité environnementale a été testée (Resh *et al.*, 1994 ; Townsend *et al.*, 1997) et appliquée par de nombreux auteurs pour l'étude de différentes communautés (voir Bornette *et al.*, 1994) pour les communautés de macrophytes (Bournaud, 1994), pour les communautés d'oiseaux (Usseglio-Polatera et Tachet, 1994), pour les communautés d'insectes (Statzner *et al.* 1997), pour les communautés de Coléoptères Richoux (1994), et pour les communautés de Plécoptères et d'Ephéméroptères (Usseglio-Polatera et Tachet, 1994).

Ces études ont permis de mettre en évidence deux résultats importants.

**Premièrement**, les traits biologiques et écologiques des organismes permettent de représenter la structure taxonomique et le fonctionnement d'une communauté dans un habitat donné (Usseglio-Polatera *et al.*, 2000).

**Deuxièmement**, les combinaisons de traits biologiques et écologiques répondent aux perturbations du milieu, dont la pollution fait partie (Charvet *et al.*, 1998 ; Usseglio-Polatera *et al.*, 2000 ; Archaimbault, 2003). Au cours de la thèse, nous supposons donc que la sélection d'organismes sur la base de leurs combinaisons de traits permet probablement d'isoler une palette de taxa représentative de la structure et du fonctionnement d'une communauté dans un habitat donné, ainsi que de la gamme de sensibilité des organismes composant cette communauté.

### *3. Typologie des traits biologiques et écologiques dans les communautés : construction des groupes fonctionnels*

L'étude de la typologie des traits biologiques et écologiques rencontrés dans la communauté théorique repose sur la répartition des taxa qui composent cette communauté en groupes fonctionnels (groupes d'organismes qui présentent des combinaisons de traits biologiques et écologiques similaires) (Usseglio-Polatera *et al.*, 2000). Ces groupes représentent les différents types d'adaptation des invertébrés à la vie des consommateurs, en termes d'utilisation de l'habitat et de stratégie d'histoire de vie.

La construction des groupes fonctionnels repose sur l'analyse statistique des traits biologiques et écologiques des taxa, ainsi que des relations existant entre ces traits. Les différentes étapes de cette analyse, ainsi que les outils statistiques utilisés, sont présentés en figure 1.

	Maximal size (mm)								Feeding habits				
	<2.5	2.5-5	5-10	10-20	20-40	40-80	>80		leg absorber	deposit feeder	shredder	scrappers	ploror
Sparganophilus taraxis	-	-	-	-	-	-	3	-	2	-	-	-	-
Dendrobaena sububicunda	-	-	-	-	-	3	-	1	3	-	-	-	-
Eisenella tetraedra	-	-	-	-	3	-	-	1	3	-	-	-	-
Erichthyraeidae	-	-	3	3	-	-	-	1	3	-	-	-	-
Brachyercus hantzschii	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	2	-	2
Pseudanodonta complanata	-	-	-	-	-	-	3	-	1	-	-	-	3
Anodonta	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-
Unio	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-
Nais	2	3	3	2	-	-	-	-	3	2	-	-	3
Des-Hulophorus	-	3	3	3	3	-	-	-	3	1	-	-	-
Unicris uncinata	-	-	1	3	-	-	-	-	3	1	-	-	-
Rhyssella blandi	-	-	3	3	-	-	-	1	3	1	-	-	-
Vejditsyella	-	-	3	3	-	-	-	-	3	1	-	-	-
Potamothenis mokavensis (SSC)	-	-	-	1	1	3	-	1	3	-	-	-	-
Paranais	-	3	3	2	-	-	-	-	3	1	-	-	-

Matrice 109 taxa × 11 traits biologiques

Matrice 109 taxa 9 traits écologiques

**I. Structuration indépendante des données dans les deux matrices**

Méthode : Analyse Factorielle des Correspondances (Chevenet et al., 1994)

**II. Test de l'existence d'une co-structure entre les deux matrices**

Méthode ; test de permutation (Kazi-Aoual et al., 1995)

**III. Fabrication d'un plan factoriel permettant de séparer les taxa sur la base de leurs combinaisons de traits biologiques et écologiques**

Méthode : Analyse de Co-Inertie (Dolédec et Chessel, 1994)



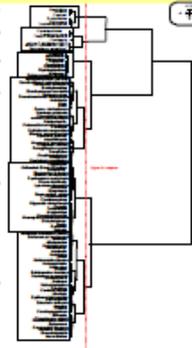
Projection des taxa dans le plan factoriel

**IV. Classification des taxa sur la base de leurs distances euclidiennes**

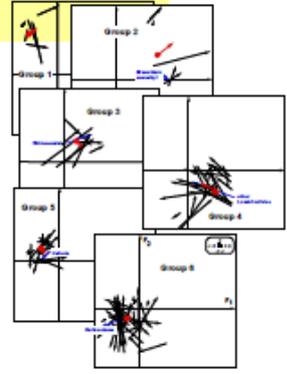
Méthode : Ward (Ward, 1963) / UPGMA (Sokal & Michener, 1958) / Lien complet (Sorensen, 1948)

**V. Choix de la distance de troncature (déterminant le nombre de groupes)**

Méthode « Phenon Line » (Casado et al., 1997)



Dendrogramme



Projection des groupes fonctionnels dans le plan factoriel

Figure 1 : Etapes de construction des groupes fonctionnels et outils statistiques utilisés

Les calculs et les graphiques ont été réalisés grâce à la bibliothèque de programmes PAST (Hammer *et al.*, 2001).

La première étape consiste en l'étude de la diversité des traits biologiques au sein de la communauté théorique, ainsi que des relations entre ces traits. Le problème à résoudre ici est le suivant : comment comparer les valeurs de variables biologiques qualitatives à celles de variables quantitatives, et comment comparer entre elles les valeurs des variables quantitatives caractérisées par des unités différentes ? La solution consiste à construire un plan factoriel à partir de toutes ces variables de natures différentes. Le plan factoriel est composé de deux axes factoriels, qui correspondent à des combinaisons de tous les traits biologiques étudiés. En choisissant les deux axes factoriels qui représentent le mieux la diversité des traits biologiques, nous disposons d'un plan, le premier plan factoriel, qui permet de représenter au mieux les relations statistiques entre ces traits.

Les axes factoriels sont obtenus en procédant à une analyse multivariée de la matrice des traits biologiques. La méthode d'analyse factorielle des correspondances (AFC) a été choisie pour réaliser ce travail car cette technique, très utilisée en écologie, est particulièrement adaptée à l'étude des relations entre une liste d'espèces et les différentes modalités des variables quantitatives et qualitatives caractérisant un habitat (Usseglio-Polatera *et al.*, 2000 ; Chessel *et al.*, 2003). Les principes ainsi que le mode opératoire d'une AFC sur une matrice en codage flou sont détaillés dans Chevenet *et al.* (1994).

Une analyse similaire est réalisée sur la matrice des traits écologiques. A la fin de cette étape, nous disposons donc de 2 plans factoriels différents : l'un représente l'information biologique, et l'autre l'information écologique.

La seconde étape consiste au regroupement des espèces en fonction de leurs similitudes biologiques et écologiques. La difficulté tient ici au fait que la fabrication des groupes fonctionnels implique de prendre en compte simultanément les traits biologiques et écologiques des taxa. Cette exigence soulève deux questions méthodologiques. Les corrélations entre traits biologiques et traits écologiques sont-elles suffisamment robustes pour servir de base statistique au regroupement des taxa ? Par ailleurs, comment regrouper les taxa dans un seul plan factoriel, sachant que les informations concernant les traits biologiques et écologiques des taxa qui servent à ce regroupement sont stockées dans deux matrices différentes (auxquelles correspondent deux plans factoriels différents) ?

La méthode d'analyse de co-inertie est basée sur l'étude des relations entre les caractéristiques biologiques et les caractéristiques écologiques des taxa. Elle permet de tenir compte non seulement de l'ensemble des traits des espèces, mais de leurs relations de compensation et de co-évolution lors de la fabrication des groupes fonctionnels. Concrètement cette méthode permet de construire des plans factoriels basés sur la covariance entre les traits biologiques et écologiques des taxa. Les axes factoriels correspondent donc à des combinaisons des traits biologiques et écologiques covariants. La similitude entre les combinaisons de traits biologiques et écologiques des différents taxa se traduit par leur proximité sur le plan factoriel. Les coordonnées des taxa dans ce plan servent ainsi de base pour construire les groupes fonctionnels.

Le principe ainsi que le mode opératoire d'une analyse de co-inertie sur matrice en codage flou sont détaillés dans Dolédec et Chessel (1994). Nous ne noterons ici que trois remarques méthodologiques importantes.

Premièrement, cette analyse est basée sur l'existence d'une co-structure (mesurée par la covariance) entre la structure des données biologiques et la structure des données écologiques (précédemment déterminées grâce à l'AFC). La significativité de la co-structure est testée grâce à un test de permutations (Kazi-Aoual *et al.*, 1995). Cette significativité est fondamentale puisqu'elle constitue la condition *sine qua non* pour que la projection des traits biologiques et écologiques des taxa dans les plans factoriels issus de l'analyse de co-inertie soit statistiquement fiable.

Deuxièmement, les modalités ne sont pas pondérées lors de l'analyse de co-inertie (alors qu'elles l'étaient pour la construction de la communauté théorique) : chaque modalité des différents traits étudiés a donc un poids statistique équivalent lors de la construction des groupes fonctionnels.

Le niveau de résolution de la séparation des taxa dans le plan factoriel pour un trait donné se mesure par un indice appelé rapport de corrélation (Chevenet *et al.*, 1994). La valeur relative de cet indice pour les différents traits étudiés nous renseigne sur leur pouvoir discriminant, c'est-à-dire leur capacité à différencier les taxa présents dans la communauté. Plus sa valeur est proche de 1, plus le trait étudié est discriminant. Cet indice nous renseigne sur la structure des données utilisées pour construire les groupes fonctionnels, permettant ainsi de détecter les traits pour lesquels les organismes seront le mieux séparés dans ces différents groupes. Notons que cet indice ne correspond pas à un coefficient de corrélation, puisqu'il ne décrit pas la contribution absolue de chaque variable à la fabrication des axes factoriels.

La projection des taxa dans les plans factoriels issus de l'analyse de co-inertie permet de les représenter en tenant compte à la fois de leurs caractéristiques biologiques et écologiques. En effet, chaque taxon est représenté dans ce plan par un vecteur dont l'origine correspond à sa combinaison de traits biologiques et l'extrémité correspond à sa combinaison de traits écologiques. Chaque taxon possède donc 2 couples de coordonnées dans ce plan. Il est possible de repérer visuellement les taxa qui présentent des similarités biologiques et écologiques : ces taxa constituent un regroupement de vecteurs de même orientation, de même norme et localisés dans une même zone du plan factoriel.

Toutefois, l'observation du plan factoriel ne suffit pas à définir la composition taxonomique des groupes fonctionnels. Afin de pouvoir regrouper les taxa de façon rigoureuse, il est nécessaire de quantifier leurs différences en terme de combinaisons de traits biologiques et écologiques. Ces différences correspondent à la distance (euclidienne) entre les taxa dans le plan factoriel, calculée sur la base de leurs coordonnées. Les taxa sont alors regroupés selon leurs distances relatives en utilisant un algorithme de classification hiérarchique, qui identifie pas à pas les paires de taxa les plus proches et les associe.

Plusieurs procédures de classification hiérarchique sont utilisées, et qui diffèrent par leurs règles d'agrégation des taxa : méthode de Ward (Ward, 1958), méthode UPGMA (Sokal et Michener, 1958) et lien complet (Casado *et al.*, 1997). L'utilisation de plusieurs méthodes de classification permet de valider les regroupements obtenus en évaluant leur stabilité et de pouvoir identifier les taxa isolés. Ces derniers sont représentés par des vecteurs qui se situent aux frontières du groupe fonctionnel, et / ou possèdent une orientation différente des autres vecteurs composant le groupe. Ils correspondent à des organismes dont l'appartenance à un groupe fonctionnel varie selon la méthode de classification utilisée. Leur combinaison de traits biologiques et écologiques ne peut donc être représentée de façon pertinente par aucun des groupes fonctionnels obtenus.

Les regroupements obtenus sont représentés graphiquement sous formes de dendrogrammes : schéma en forme d'arbre qui permet de visualiser les degrés de similarité entre taxa après classification en fonction de la similarité de leurs combinaisons de traits biologiques et écologiques. Ces dendrogrammes permettent d'établir le nombre de groupes fonctionnels possibles ainsi que leur composition taxonomique.

Le nombre de groupes fonctionnels possibles est évalué en traçant une ligne verticale dans le dendrogramme à différents niveaux de similarité entre les groupes. Ces niveaux sont définis grâce à une échelle horizontale, sur laquelle 0 détermine la base de l'arbre, c'est-à-dire le niveau d'homogénéité des combinaisons de traits intra-groupes le plus faible (Casado *et al.*, 1997). Plus le niveau de similarité auquel nous plaçons la ligne est élevé, plus le nombre de groupes obtenus est grand, et plus ces groupes sont homogènes en termes d'information biologique et écologique.

Afin de décrire au mieux la typologie de combinaisons de traits rencontrées dans la communauté, il faut maximiser l'homogénéité intra-groupes (maximisation de la variance inter-groupes). Ceci implique de différencier de nombreux groupes fonctionnels et donc d'inclure de nombreuses espèces dans la batterie de tests. Cependant, une batterie de tests n'est pas utilisable en routine si elle comporte trop d'espèces. Ainsi, le choix du niveau de troncature résulte d'un compromis entre la taille de la batterie de tests et la finesse de la représentation de la typologie des combinaisons de traits rencontrés dans la communauté.

En dernier lieu, les caractéristiques moyennes de chaque groupe fonctionnel précédemment défini sont calculées pour chaque trait biologique et écologique. Pour chaque modalité d'un trait, la moyenne des notes d'affinité est calculée en considérant l'ensemble des taxa appartenant au groupe étudié. Le profil moyen du groupe pour le trait en question correspond alors à la distribution des notes d'affinité moyennes calculées pour les différentes modalités du trait. Ces caractéristiques moyennes représentent une synthèse de la diversité des traits biologiques et écologiques contenue dans chaque groupe fonctionnel. Elles sont représentées sur le plan factoriel par un seul vecteur par groupe, dont les coordonnées correspondent à la moyenne des coordonnées des vecteurs représentant les taxa appartenant au groupe étudié. Ce vecteur constitue ainsi le centre de gravité du groupe dans le plan factoriel.

#### *4. Sélection de représentants des groupes : construction d'une batterie de test*

Afin de constituer une batterie de tests, des représentants sont choisis pour chacun des groupes fonctionnels. Lorsque le facteur étudié possède une influence non spécifique, il n'y a pas de relation claire entre la taxonomie des espèces et leur sensibilité à l'échelle de l'individu. Ce critère ne peut donc pas servir de base pour le choix du représentant d'un groupe. En revanche, la sensibilité au niveau individuel et populationnel est liée aux traits biologiques et écologiques qui définissent les voies et les niveaux d'installation des organismes, ainsi que leur stratégie d'histoire de vie. Afin de représenter au mieux ces caractéristiques dans notre batterie de tests, il faut rechercher, au sein de chaque groupe fonctionnel, le taxon dont la combinaison de traits ressemble le plus possible à la combinaison moyenne du groupe.

Ainsi, nous réalisons un classement des taxa par ordre de similarité décroissante avec les caractéristiques moyennes du groupe. Ce degré de similarité est évalué en mesurant la distance entre le vecteur représentant le taxon et le vecteur représentant le groupe dans le plan

factoriel. Le meilleur représentant potentiel étant identifié, il est nécessaire de vérifier à travers la littérature :

- la possibilité de prélever les organismes sur le terrain. La détermination à l'espèce doit être possible. Le taxon doit être présent sur le terrain et suffisamment abondant pour permettre des prélèvements réguliers;

- la possibilité de vérifier que les exigences écologiques de l'espèce sont bien connues et qu'il est possible de les satisfaire en laboratoire ;

- dans le cas où deux taxa présentent des similarités équivalentes aux caractéristiques moyennes d'un même groupe, nous retenons le taxon pour lequel la littérature est la plus abondante.

## **II. Généralités sur les interactions plantes hôtes – bio-agresseurs**

### *1. Importance de l'alimentation pour les insectes*

La qualité nutritionnelle d'un hôte est l'un des principaux facteurs intervenant dans le choix du site d'oviposition, dans la mesure où elle affecte la performance larvaire et les apports en hydrocarbures et en azote d'une plante hôte (Thompson et Pellmyr, 1991; Ohgushi, 1992). Ceci est d'autant plus important que la valeur nutritive de l'hôte peut influencer directement le succès reproducteur des individus en affectant la survie des larves (Awmack et Leather, 2002) mais aussi leurs capacités reproductrices une fois devenues adultes (Carrière, 1992).

Le rôle de la plante hôte s'exerce surtout au niveau des processus de résistance dont deux composantes, la non-préférence et l'antibiose, sont importantes à considérer. La non-préférence s'exerce en particulier lors de la contamination des plantes par les ailés qui choisissent celles sur lesquelles ils vont se reproduire. L'antibiose joue son rôle, en modifiant un grand nombre de facteurs clés de la dynamique des populations, dont en particulier la fécondité des pucerons et leurs espérance de vie. L'antibiose s'exerce à l'échelle de l'espèce végétale, de la variété ou du cultivar et du niveau de la plante en fonction de son évolution physico-phénologique (Bintcliffe et Wratten, 1982).

Tout au long de l'évolution physiologique de la plante, il se produit une redistribution des individus qui se localisent préférentiellement sur les différents étages foliaires en fonction de préférences alimentaires conduisant à des fécondités supérieures et variables selon les espèces de pucerons.

Il est important de garder présent à l'esprit que la plante est, jusqu'à un certain point, un intégrateur des conditions climatiques, susceptibles de ce fait de jouer un rôle indirect sur les aphides par l'intermédiaire des modifications physiologiques de leur source d'alimentation.

Il est toutefois probable que l'évolution à venir du climat et son impact sur l'effort de reproduction et de conditionnement modifie de façon plus ou moins profonde les cortèges parasitaires que l'on connaît actuellement.

Tchaker (2007) a démontré que la qualité nutritive de l'hôte modifie les réserves énergétiques des fondatrigenes de *C. leucomelas* une fois soumise à des variations thermiques modérées au cours de la période printanière. Cette adaptation servira pour maximiser le taux de survie de la progéniture future. Il semble que l'importance des réserves énergétiques et des mesures pondérales des fondatrigenes aptères et ailées est due en partie à la partition de l'effort de reproduction et destinée à la fois à la reproduction et au conditionnement, même si les derniers sont soumis à la pression d'une sécheresse accentuée.

Le processus de sélection chez les insectes avec le monde vivant est guidé en général par plusieurs stimuli visuels où l'olfaction et le goût jouent un rôle vital (Prokopy et Owens, 1983). Les insectes recourent à des signaux chimiques dans la détection de la nourriture, du site d'oviposition, dans l'établissement de relations interindividuelles, sociales et sexuelles, et dans l'appréhension du danger (reconnaissance d'un prédateur, d'une substance toxique), (Picimbon et Leal, 1999).

Les insectes s'adaptent par ailleurs aux conditions environnementales des plantes mais aussi aux constituants chimiques perçus en broutant le feuillage (Mattson et Addy, 1975). La plante hôte, comme source de nourriture, joue un rôle déterminant dans la dynamique des populations avec ses composantes nutritives (protéines, acides aminés, glucides, lipides, vitamines, minéraux, eau, etc.) et ses composantes non-nutritionnelles (composés allélochimiques) (phénols, polyphénols, monoterpènes, glucosinolates, alcaloïdes, etc.) (Ohgusui, 1992).

Il est donc important de bien connaître les besoins alimentaires et l'utilisation de la nourriture par l'insecte afin de mieux comprendre son interaction avec l'écosystème et ainsi être plus apte à contrôler ses populations par l'intervention directe et/ou indirecte lorsque celui-ci entre en conflit avec nos intérêts économiques (Watt *et al.*, 1990).

### *1.1. Eléments nutritifs*

Il existe une forte relation entre les performances de l'insecte et le taux d'azote (Bidon, 1993). Cependant, si la nourriture ne contient pas ou contient en trop faible quantité l'un des dix acides aminés essentiels (l'arginine, l'histidine, l'isoleucine, la leucine, la lysine, la méthionine, la phénylalanine, la thréonine, le tryptophane, la valine) (Durzan et Lopushanski, 1968), le développement larvaire est affecté quel que soit le taux d'azote total (Brodbeck et Strong, 1987).

Le sucre est la principale source d'énergie pour les insectes. Par contre, certaines espèces sont capables de remplacer entièrement les glucides par les lipides ou les protéines. Les acides gras, les phospholipides et les stérols sont des éléments de la membrane cellulaire et peuvent avoir des fonctions spécifiques. Plusieurs insectes ont besoin d'une source d'acides gras polyinsaturés et de stérols indispensables à leur croissance (Dadd, 1985).

Les minéraux comme le potassium, le phosphore et le magnésium sont nécessaires aux fonctions physiologiques de l'insecte de même que pour le fer, le zinc, le manganèse et le cuivre car ils agissent comme catalyseurs de réactions enzymatiques (Mattson et Scriber, 1987). Les insectes n'ont par contre besoin de calcium et de sodium qu'à l'état de trace. Les vitamines semblent être essentielles aux fonctions physiologiques des insectes. Ces vitamines agissent comme coenzymes des réactions métaboliques et proviennent soit de la nourriture, soit des symbiotes (Chapman, 1998).

## *1.2. Balance nutritionnelle*

Les besoins nutritionnels d'un insecte changent avec le temps selon les besoins pour la croissance, la reproduction, la diapause et la migration. Un insecte confronté à un déséquilibre nutritionnel peut essayer de le compenser soit en augmentant son ingestion, soit en changeant la source de nourriture (changement d'hôte, de partie de la plante) ou encore en ajustant son efficacité de conversion de sa nourriture (Simpson et Simpson, 1990). L'étude de la relation entre l'insecte et son hôte à l'aide des paramètres biologiques généraux (temps de développement, poids, survie) est parfois insuffisante pour comprendre le phénomène de balance nutritionnelle. Les indices nutritionnels permettent donc de mieux comprendre les phénomènes impliqués entre l'intrant, la nourriture, et l'extrait, avec les performances de l'insecte (temps de développement, poids, survie) (Montgomery, 1983).

D'après Jayaraj (1966), cité par Chaboussou (1980), des études ont été poursuivies concernant la nature des relations entre la biochimie des plantes cultivées et l'attraction et la multiplication des déprédateurs. Les études ont abordé le déterminisme de la résistance variétale, autrement dit l'incidence des facteurs génétiques. Or, les études ont pu ainsi établir que ce critère de sensibilité ou, ce qui revient au même, de résistance variétale, s'exprime en termes de valeur nutritionnelle, par rapport à l'attaque du déprédateur. En effet, chez les variétés susceptibles ou simplement « tolérantes », on observe l'accumulation d'acides aminés libres et d'amines, par rapport à ce qui se passe chez la variété résistante.

Corrélativement, d'ailleurs, la variété résistante contient davantage de sucres que les variétés susceptibles ou tolérantes. Ainsi ces dernières renferment, respectivement 113,5 % et 42,3 % de plus d'azote total que la variété résistante. Les variétés susceptibles et tolérantes montrent par ailleurs 12 et 7 fois plus d'acides aminés libres que les résistantes.

Le même auteur a estimé que les variétés résistantes ont tendance à repousser les déprédateurs à cause de leur infériorité nutritionnelle, comme l'indique leur bas niveau d'azote total et du contenu en acides aminés et en peptides. C'est donc une carence en éléments nutritionnels qui se trouve à l'origine de la dissuasion de l'agression.

## *2. Réponses de la plante face aux bio-agresseurs*

La réponse des plantes ou la résistance de celles-ci à la pression des insectes phytophages est définie par leur capacité à éviter ou à réduire les dommages causés par ces bio-agresseurs (Kogan, 1975).

Painter (1951), a défini trois catégories de résistance. L'antixénose ou la non-préférence définit une résistance induite par le rejet de la plante comme hôte de l'insecte. Elle peut être due à la présence de caractères morphologiques ou chimiques repoussant l'insecte, ou par l'absence de composés stimulant son alimentation ou son oviposition. Si l'insecte est touché dans sa physiologie par la plante, c'est l'antibiose pour laquelle les caractères physiques et chimiques peuvent aussi être impliqués entraînant une inhibition de croissance, une moindre fécondité, voire la mort de l'insecte. La résistance de la plante peut être enfin caractérisée par une tolérance ou la capacité de la plante à supporter ou se rétablir des dégâts causés par l'herbivore. La résistance des plantes aux bio-agresseurs varie dans le temps, le tissu considéré et les conditions environnementales. Elle est basée sur des caractères physiques, chimiques et développementaux.

### 2.1. *Protections physiques ou mécaniques*

Des épines ou poils peuvent constituer une barrière efficace contre certains herbivores en empêchant l'installation ou l'accès à l'aliment de l'insecte. Les trichomes crochus de *Phaseolus vulgaris* peuvent, par exemple, tuer les nymphes d'*Empoasca fabae* en les empalant (Pillemer et Tingey, 1978).

Les cires de surface qui protègent les feuilles de la dessiccation et des maladies sont également répulsives ou gênent l'adhésion de certains insectes. Toutefois, elles stimulent parfois l'oviposition ou l'alimentation. L'épaisseur des tissus participe également à la résistance de certaines plantes. L'oviposition et l'alimentation des larves de *Chalcodermus aenus* sont en effet limitées par l'épaisseur de la paroi des gousses de certaines variétés de *Vigna unguiculata* (Fery et Cuthbert, 1979).

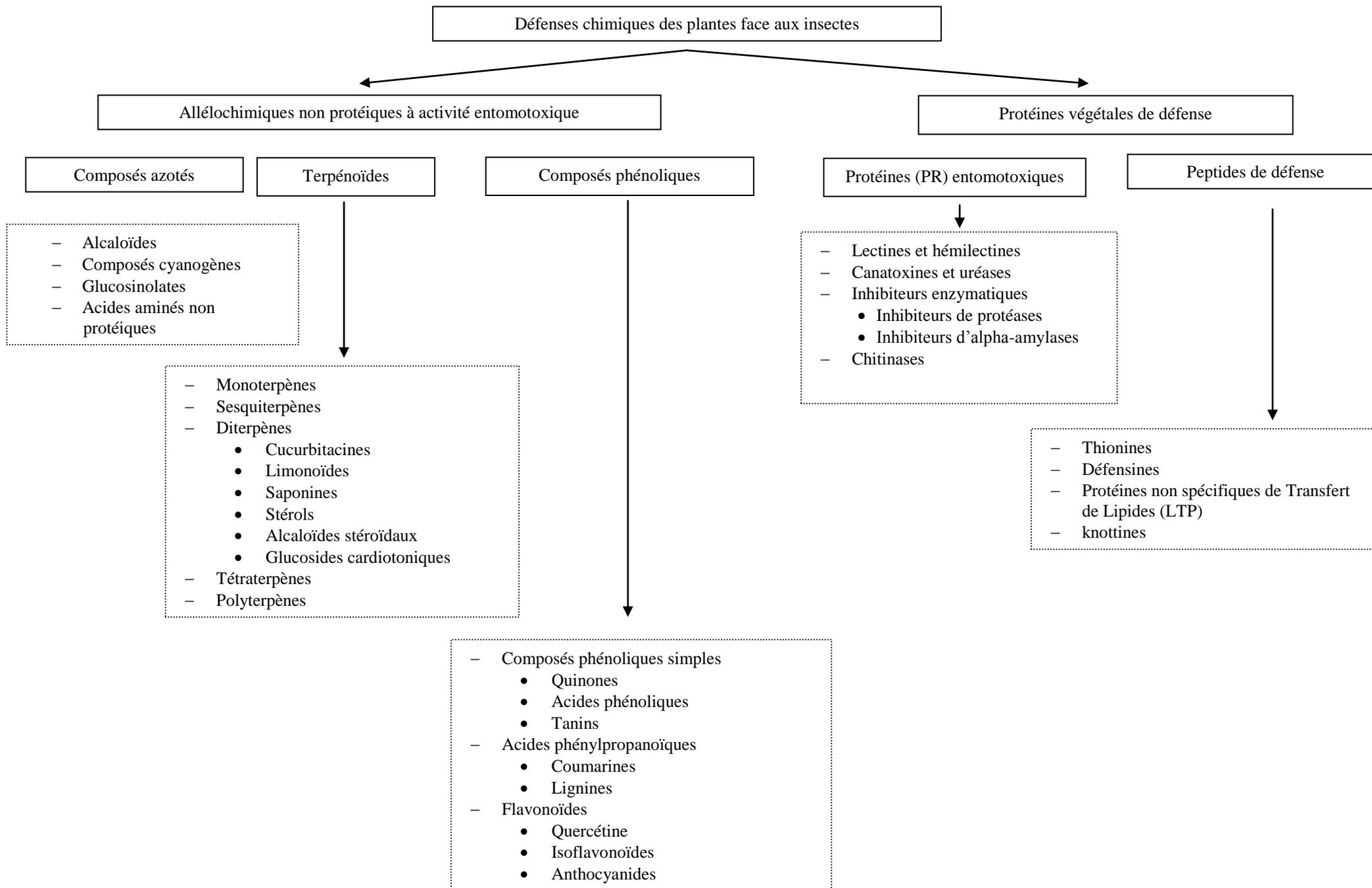
### 2.2. *Défenses chimiques des plantes*

Les composés secondaires sont souvent considérés comme étant un moyen de défense de la plante productrice contre divers organismes comme les pathogènes et les ravageurs (Fraenkel, 1959).

Ces substances tributaires du cycle phénologique représentent probablement le facteur le plus important contrôlant le comportement d'installation primaire des insectes dans la nature (Schultz, 1988). Elles se rencontrent sous forme de composés allélochimiques et/ou certains inhibiteurs de protéases (Auger *et al.*, 2002) et déclenchent chez l'insecte des réponses comportementales. Elles peuvent être attractives, répulsives (antiappétantes) ou toxiques (figure 2) (Kennedy, 1965).

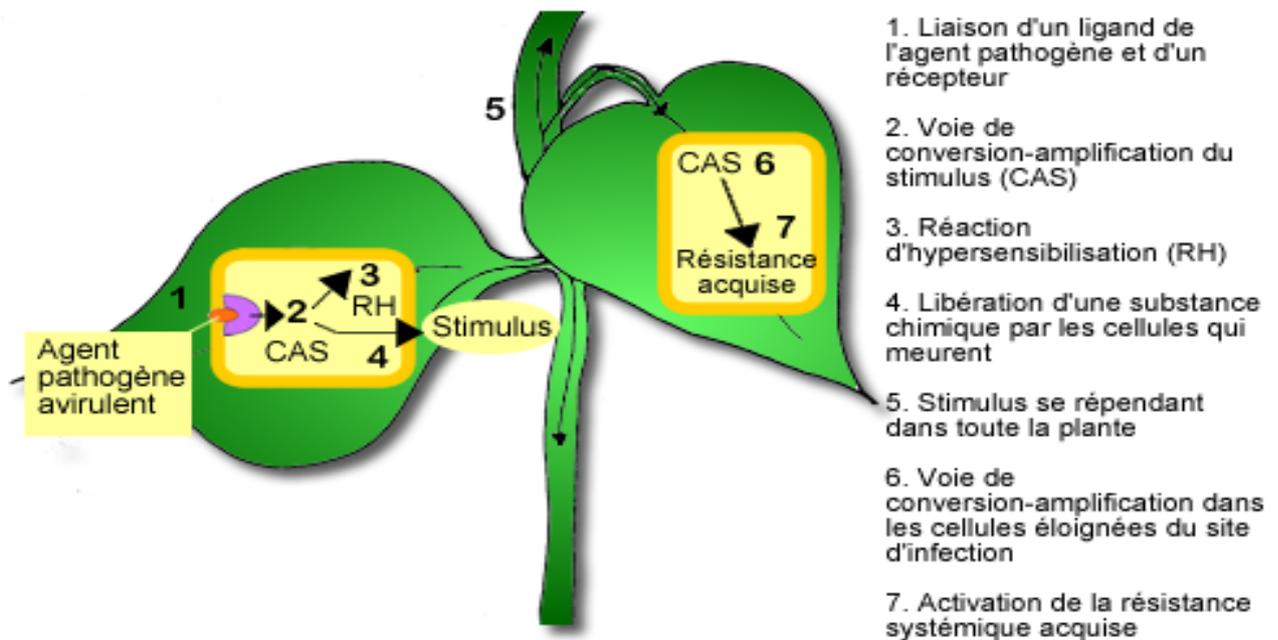
### 2.3. *Mécanismes de réponse des plantes au niveau cellulaire*

Les mécanismes de défense contre les ravageurs sont initiés, chez les plantes résistantes, par la perception de molécules surnommées éliciteurs. L'absence d'éliciteurs chez les ravageurs et/ou l'absence de système de perception chez la plante conduit à l'établissement d'une interaction compatible (symptômes des attaques). La reconnaissance par la cellule hôte d'un éliciteur constitue l'étape préalable et nécessaire à l'activation des gènes spécifiques conduisant à l'expression de la défense directe par la production des métabolites secondaires toxiques ou répulsifs ou indirecte par la synthèse de molécules volatiles (Kessler et Baldwin, 2002).



**Figure 2 : Les métabolites secondaires produits par la plante suite à des agressions biotique et/ou abiotiques (Louis, 2004)**

Les mécanismes de défense induits chez la plante par un éliciteur se manifestent fréquemment par une réaction hypersensible (RH) qui peut mener à une résistance systémique acquise ou induite (Figure 3) (Xu et Heath, 1998).

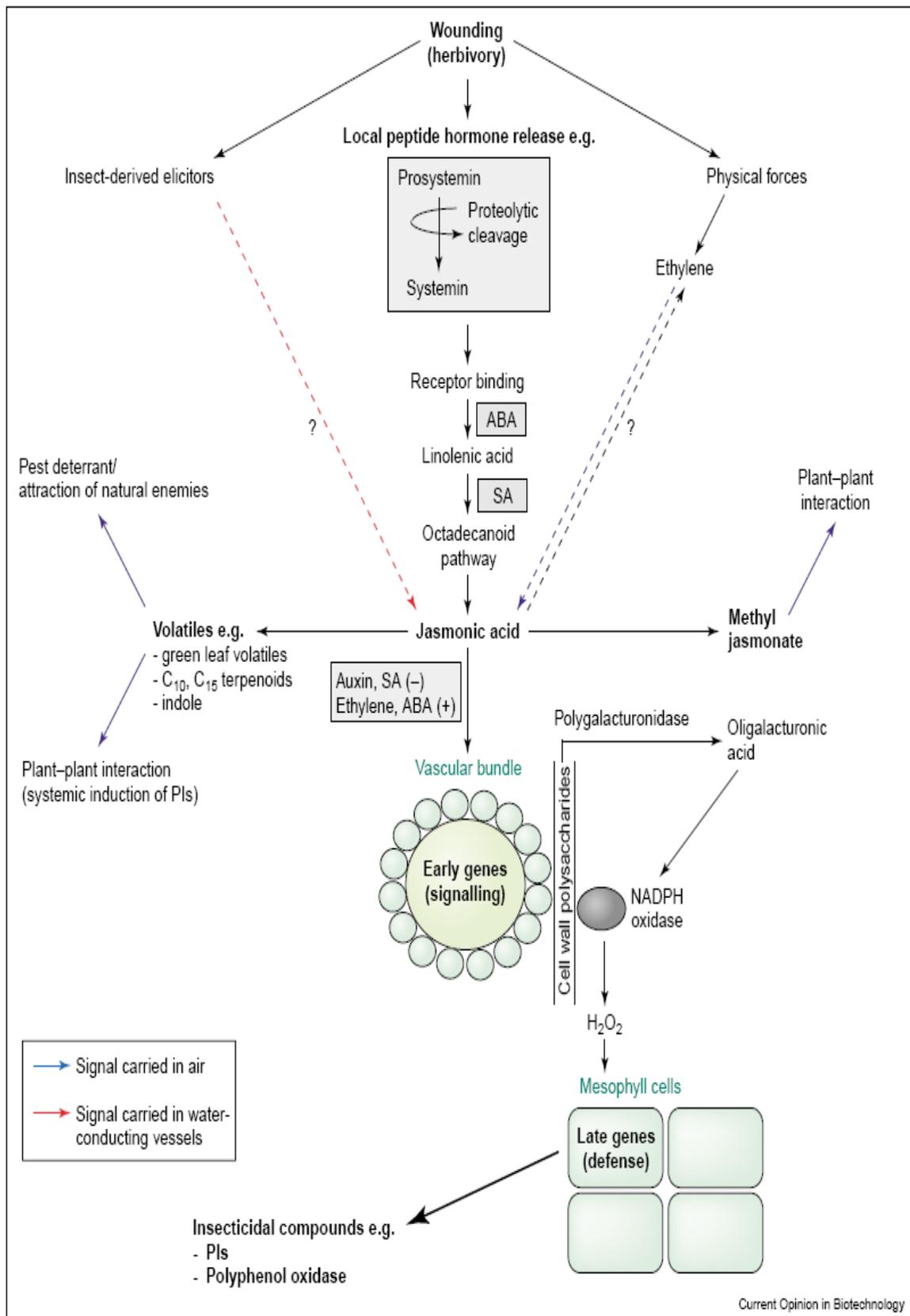


**Figure 3 : Réactions de défense contre un agent pathogène (Métraux, 2001)**

Le phénomène de résistance systémique acquise ou induite est connu depuis de très nombreuses années sous le nom d'immunité physiologique acquise ou résistance induite (Ross, 1966). Ce sont des marqueurs moléculaires appartenant à une famille de protéines, les protéines PR (pathogenesis-related proteins) qui sont corrélés à l'apparition de cette résistance. Au moins 17 familles de protéines PR ont été identifiées chez les plantes (Van Loon et Van Strien, 1999). Leur rôle exact n'est cependant pas toujours bien établi et toutes ne sont pas forcément présentes en même temps dans une plante donnée.

Parmi les protéines impliquées dans la défense contre les insectes, on distingue les inhibiteurs de protéases PR-6 ainsi que les défensines et les thionines qui font partie des familles de protéines PR-12 et 13 respectivement, ainsi que les LTP (protéines de transfert de lipides) ayant même des propriétés antimicrobiennes (Park *et al.*, 2002).

Les voies nécessaires pour l'induction locale et systémique des protéines insecticides sont synthétisées dans la figure 4. Cette figure présente les mécanismes observés lors d'une induction de résistance par le biais d'éliciteurs non spécifiques et ceux régissant la relation hôte-parasite dans le cas d'une résistance spécifique (Fritig *et al.*, 1998).



**Figure 4 : Mécanismes de défense cellulaire contre les ravageurs (Ferry et al., 2004)**

Au cours de la réaction d'hypersensibilité, les plantes et les ravageurs échangent des signaux moléculaires, impliquant la systémine, le jasmonate (acide jasmonique), l'acide salicylique, l'acide oligogalacturonique et le peroxyde d'hydrogène qui jouent un rôle clé dans le phénomène de transduction intercellulaire des signaux qui résultent de l'induction (Sticher *et al.*, 1997). Les molécules de défense ont une activité antibiotique (Bischoff *et al.*, 1996), et sont des dérivés de la voie des phénylpropanoïdes et des protéines PR (figure 4). La première catégorie synthétisée bloque la propagation des agents pathogènes. Elle est représentée par les flavonoïdes, les isoflavonoïdes, les anthocyanines, les coumarines etc. La deuxième catégorie de molécules appelées phytoalexines lipophiles s'accumulent rapidement autour des sites de nécrose foliaire (Smith-Becker *et al.*, 1998).

### III. Généralités sur les insectes étudiés

#### 1. Données bibliographiques sur *Chaitophorus leucomelas* (Koch, 1854)

##### 1.1. Position systématique et synonymie

D'après Grassé (1951) et Grassé *et al.* (1970), cet insecte appartient à la sous-classe des *Ptérygotes*, super-ordre des *Hemipteroïdea*, ordre des *Homoptera*, sous-ordre des *Aphidinea*, super-famille des *Aphidoïdae*, famille des *Aphididae*, sous famille des *Chaitophorinae*, genre *Chaitophorus*, et espèce *leucomelas* (Koch). *C. leucomelas* a connu d'autres appellations : *Chaitophorus versicolor* (Koch, 1854), *Chaitophorus lyratus* (Ferrari, 1872), et *Chaitophorus abnormis* (Theobalde, 1925).

##### 1.2. Description morphologique

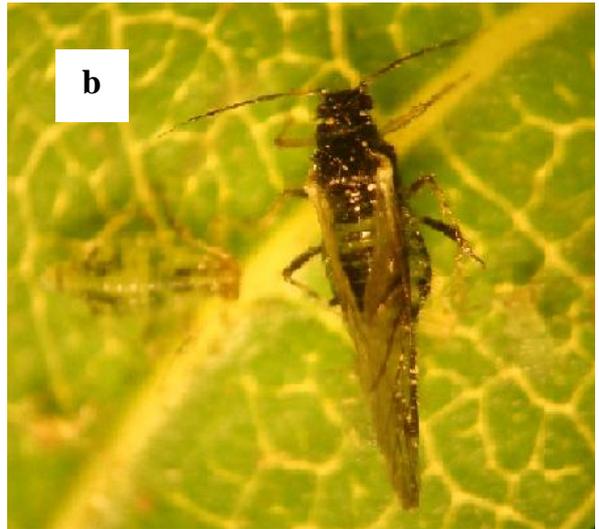
*Chaitophorus leucomelas*, est un insecte holométabole (à métamorphoses complètes) dont le cycle reproducteur comporte les stades suivants :

**L'œuf**, de couleur jaune foncé qui vire vers le marron à maturité. La durée de développement dépend des conditions ambiantes, température et photo-période (Hemptinne *et al.*, 1992).

**La fondatrice**, d'une longueur de 2,27 à 2,60 mm est de couleur vert foncé ou vert jaunâtre, sans pigmentation. L'abdomen est formé de neuf segments dont certains sont fusionnés. Les soies dorsales sont épaisses et courtes (Szelegiewicz, 1961 et Heie Ole, 1982) (figure 5<sub>a</sub>).

**Les fondatrigènes**, sont des femelles vivipares ailées, atteignant une longueur de 1,84 à 2,28 mm, leur abdomen est de couleur vert jaunâtre, avec des bandes pigmentaires transversales et des sclérites marginales sombre de même dimension. La tête, le thorax, les cornicules et les antennes à l'exception de la base du troisième article sont de couleur noire (Szelegiewicz, 1961) (figure 5<sub>b</sub>).

Les antennes mesurent de 1,28 à 1,59 mm et sont formées de six articles. Les sensorias sont au nombre de neufs à quatorze sur le troisième article et de zéro à un sur le quatrième article antennaire. Le sixième article antennaire présente une sensoria primaire associée à six sensorias accessoires (Heie Ole, 1982).



**Figure 5 : Description morphologique des différentes générations de *Chaitophorus leucomelas* (G. 8x10) (Original)**

Fondatrice (a), Fondatrigène (b) Virginogènes (c), Mâle sexué (d), femelle sexuée (e)

**Les virginogènes**, sont des femelles vivipares aptères de forme ovale, recouvert de soies pointues, atteignant une longueur de 1,20 à 1,96 mm ; leur corps est de couleur vert à jaune avec des bandes thoraciques longitudinales, la tête, le thorax, le fémur, le tibia et les extrémités des tarsi sont sombres (Szelegiewicz, 1961) (figure 5c).

Les antennes mesurent de 0,60 à 0,98 mm, sont formées de six articles dont le processus terminalis est plus long que le troisième article antennaire. Ce dernier est muni de 9 à 18 poils (Heie Ole, 1982).

**Les mâles sexués**, se sont des individus ailés mesurant 1.45 à 1.66 mm de long. La tête et le thorax sont marron sombre, tandis que l'abdomen est plus clair. Les sept premiers tergites abdominaux ont une pigmentation transversale sombre. Les antennes sont longues, de couleur marron sombre, formées de 6 articles. Le nombre de sensorias secondaires est de 29 à 52 sur le troisième article, 23 à 27 sur le quatrième article et 6 à 27 sur le cinquième article (Szelegiewicz, 1961) (figure 5d).

**Les femelles sexuées** sont des ovipares aptères atteignant 2,30 à 2,55 mm de long, de couleur jaune à jaune sale avec un abdomen présentant une sculpture pigmentaire sombre sur sa partie dorsale. Les tibias postérieurs sont larges criblées de nombreux pseudo-sensorias (Szelegiewicz, 1961) (figure 5e).

### 1.3. Cycle de vie

Les pucerons ont une capacité de reproduction considérable, ce qui conduit à la prolifération de nombreuses générations. Leur cycle évolutif est hétérogonique, caractérisé par l'alternance entre une génération amphisexuelle 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 (Grassé *et al.*, 1970).

En Mitidja, vers la fin de février début mars, les fondatrices émergent des œufs d'hiver, au moment où les jeunes feuilles du peuplier commencent à apparaître. Le premier stade de la fondatrice se fixe sur les pétioles, les feuilles et les bourgeons pour s'alimenter, constituant ainsi la source des invasions d'été.

Ces femelles dites «fondatrices» atteignent l'état adulte vers le début du mois d'avril, donnent une première génération de virginipares évoluant en individus ailés. Ces derniers assureront la dissémination de l'espèce.

La succession des générations des virginogènes se poursuit durant tout l'été. A la fin de l'automne, au début du mois de novembre, apparaissent des femelles parthénogénétiques appelées sexupares, qui donneront naissance à des mâles et à des femelles ovipares. Les mâles sont ailés et les femelles ovipares sont aptères. Une fois fécondée, celle-ci pond ses œufs sur les parties lignifiées de sa plante hôte.

Les œufs pondus sont observés du mois de novembre jusqu'au mois d'avril dans les écorchures de l'écorce, au niveau des plaies de taille, et plus particulièrement à l'intérieur des galles abandonnées de *Pemphigus immunis*. Au printemps, ces œufs éclosent et donnent des femelles « fondatrices » (figure 6) (Djazouli, 1992).

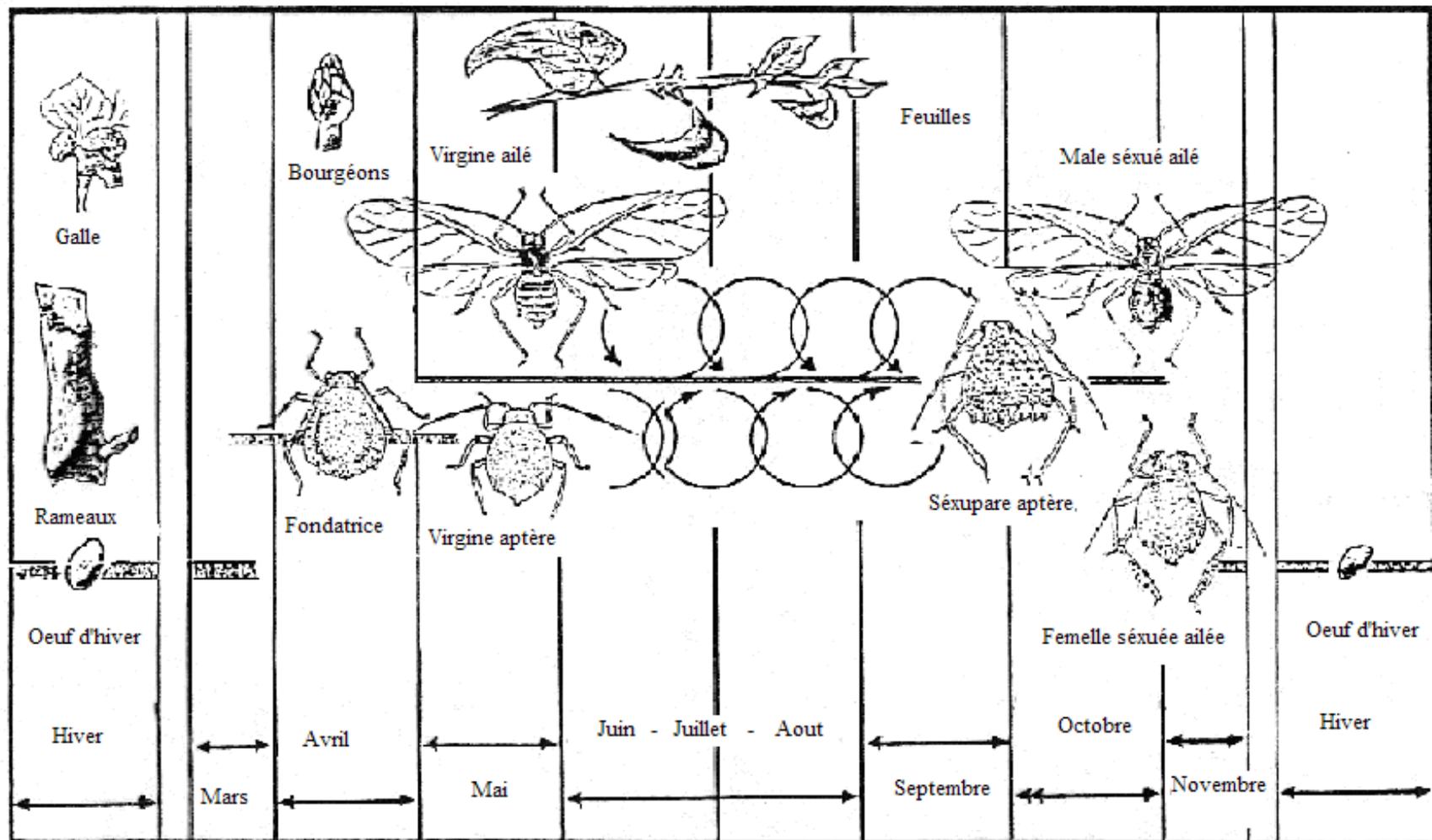


Figure 6 : Cycle biologique de *Chaitophorus leucomelas* Koch (Djazouli, 1992)

#### 1.4. Dégâts

Les insectes peuvent occasionner aux peupliers des dégâts de type fort variable (Nef et Janssens, 1982).

Chararas (1972) estime que les dégâts restent toujours liés aux conditions écologiques et édaphiques ; l'évolution des insectes peut revêtir un caractère épidémique et contribuer à la destruction massive des peuplements une fois que les facteurs abiotiques deviennent défavorables.

De tous les pucerons, le plus dangereux demeure *Chaitophorus leucomelas*. Le puceron attaque les feuilles, les pétioles et les bourgeons en absorbant des quantités importantes de sève et en injectant en même temps une salive toxique. Les arbres attaqués présentent une réduction de croissance en raison de défoliation successive. En cas de surpopulation, les arbres accusent des perturbations métaboliques qui entraînent une production de bois de quantité moindre ou de qualité inférieure (Nef et Janssens, 1982 ; Delplanque, 1998).

Dajoz (1980) avance que les attaques sur les essences jeunes peuvent entraîner la mort du sujet et gêner la régénération naturelle.

Les pucerons prélèvent directement dans la sève phloémienne une partie des produits de la photosynthèse, dont les acides aminés essentiels à la plante, ces prélèvements lors d'infestations massives par les pucerons pouvant provoquer un arrêt de la croissance de la plante (Miles, 1989).

Les produits non assimilés ou transformés par l'insecte forment le miellat rejeté par l'anus sur la plante. Sur ce dernier se développent des champignons agents de fumagine qui entravent la respiration de la plante hôte et son assimilation chlorophyllienne (Hulle *et al.*, 1998).

Ce miellat, non toxique en lui-même, peut soit agir directement en occultant les stomates, soit lorsqu'il est trop abondant, provoquer à la surface des feuilles un effet osmotique de nature à créer un appel d'eau à travers la membrane semi perméable constituée par l'épiderme de la feuille ; l'eau ainsi soutirée de la plante s'évapore très facilement et le miellat agit alors comme un drain dessiccateur très actif, rapidement mortel dans des conditions favorisant l'évaporation (Comeau, 1992).

Les pucerons peuvent favoriser la prolifération de maladies fongiques, soit en transportant des spores (Huang *et al.*, 1981), soit en occasionnant une plus forte capture de spores lorsque la plante devient gluante de miellat (Comeau, 1992).

#### 1.5. Plantes hôtes

*Chaitophorus leucomelas* est inféodée au peuplier noir et son cycle s'accomplit normalement sur la même hôte. Aujourd'hui, sa présence sur des plantes hôte autres que le peuplier noir est très peu documentée tant les peupleraies sont importantes. Notre connaissance de la gamme des plantes hôtes de cet insecte repose principalement sur des observations rapportées dans l'ancienne littérature (Bodenheimer et Swirski, 1957 ; Higuchi, 1972 ; Stroyan, 1977 ; Heie Ole, 1982 ; Nef et Janssens, 1982 ; Pintara, 1987 ; Djazouli, 1996). Des études récentes confirmant cette gamme de plantes hôtes sont rares.

## 1.6. Moyens de lutte

La lutte contre les pucerons ne présente généralement pas de grande difficulté car de nombreux produits permettent d'obtenir de bons résultats. Sous forme de pulvérisation, les esters phosphoriques assurent une mortalité de 95% en 60 heures ; cette mortalité peut même atteindre 100% si l'on prend la précaution de pulvériser l'insecticide sur les deux faces de la feuille. Cette efficacité peut se trouver controversée dans la mesure où les pucerons sécrètent une substance cireuse pratiquement imperméable aux produits insecticides (Chararas, 1972).

Actuellement, les produits à base de lambda-cyhalothrine, sont utilisés contre les pucerons des feuillus en traitement des parties aériennes. Maugard (2002) avance que les premiers traitements opérationnels ont été réalisés en 2003 dans de nombreuses peupleraies de la vallée de la Garonne ; les observations réalisées à l'issue de certains de ces traitements ont permis de confirmer les contraintes liées à l'application d'insecticide, notamment les difficultés à atteindre la partie haute des colonies dans les peuplements les plus vieux. Ces suivis ont également permis de mettre en évidence les fortes potentialités de recolonisation de l'insecte, qui est capable en trois à quatre semaines de reconstituer des colonies identiques à ce qu'elles étaient avant le traitement.

Il n'existe aucune méthode de lutte biologique applicable aux *Chaitophoridae*. Les seuls ennemis naturels qui ont été signalés à savoir : *Ascomycetes*, *Mesiodiopsis sp.*, *Oenopia doubleri*, *Adalia decimpunctata*, et *Coccinella algerica*, peuvent jouer un rôle en tant que facteur de limitation des populations d'insectes ravageurs des peupliers (Dajoz, 1980 et 1998 ; Djazouli, 1996).

Quelques efforts ont été fait afin d'utiliser *Aphelinus mali* Hald comme agent de lutte contre les pucerons des arbres forestiers. Si les résultats sont promoteurs, cela est dû principalement à une synchronisation entre le développement des deux espèces (Chararas, 1972).

## 2. Données bibliographiques sur *Phloeomyzus passerinii* (Signoret, 1875)

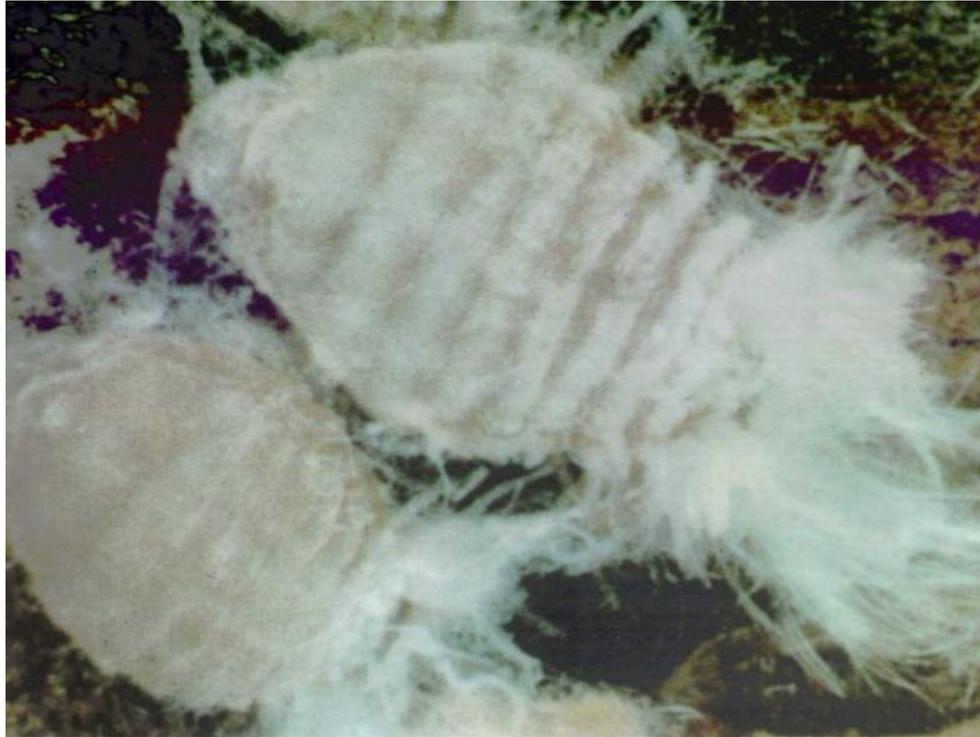
### 2.1. Position systématique et synonymie

D'après Grassé (1951) et Chararas (1962), cet insecte appartient à la sous-classe des *Ptérygotes*, super-ordre des *Hemipteroïdea*, ordre des *Homoptera*, sous-ordre des *Aphidinea*, super-famille des *Aphidoïdae*, famille des *Aphididae*, sous-famille des *Phloeomyzinae*, genre *Phloeomyzus*, et espèce *passerinii* (Signoret, 1875).

### 2.2. Description morphologique

La femelle aptère virginipare, longue de 1,30 mm possède un corps de couleur vert jaunâtre, recouvert par une sécrétion cireuse blanche répartie essentiellement sur la partie postérieure du corps (figure 7).

La virgine néonate, mesure 0,75 mm de long, possède un corps allongé à segmentation bien distincte de couleur vert clair un peu jaunâtre.



**Figure 7 : La femelle aptère virginipare de *Phloeomyzus passerinii* (G. 8x10) (Original)**

### 2.3. Cycle de vie

D'après Roberti (1939) et Chararas (1962), l'hibernation de *P. passerinii* a lieu sous forme aptère, représentée par quelques individus répartis dans les craquelures les plus profondes de l'écorce, remplies de cire, ou bien sur les parties souterraines du tronc, en sol argileux, à une profondeur qui atteint presque 70 cm. Au printemps, la période d'hibernation terminée, cette femelle reprend sa nutrition et se multiplie par parthénogenèse, donnant naissance à un grand nombre de larves (à raison de 220 larves par femelle durant toute sa vie qui ne dépasse pas un mois). Les colonies ainsi constituées se localisent sur l'écorce et dans les anfractuosités corticales où apparaissent des sécrétions cireuses blanches. Les conditions climatiques de la fin du printemps, caractérisées par des températures élevées, une forte hygrométrie et l'absence de lumière directe (Maugard, 1996), sont les plus favorables à la prolifération de cet insecte où il peut développer jusqu'à dix générations. En été, les populations diminuent fortement et les larves s'enfoncent dans les tiges où elles demeurent en diapause pendant tout l'hiver.

### 2.4. Dégâts

Le puceron attaque les tissus lignifiés, se nourrissant des tissus parenchymateux de l'écorce en injectant en même temps une salive toxique qui causera la nécrose de la portion d'écorce colonisée. Suite aux piqûres dans l'écorce, le peuplier réagit par des déchirements en offrant une meilleure superficie propre au développement de l'insecte, pouvant entraîner ainsi le dépérissement des sujets attaqués (Chararas, 1962 ; Barbagallo, 1985). Les arbres attaqués ont un tronc rougeâtre et boursoufflé. En cas de surpopulation, de grandes portions d'écorce peuvent mourir, causant la mort du bois sous-jacent. Si la circulation de sève est complètement interrompue, l'arbre peut périr (Delplanque, 1998).

## 2.5. Plantes hôtes

Cet aphide qui vit sur plusieurs espèces de *Populus*, notamment *P. alba*, *P. nigra* et *P. canadensis*, a été observé dans plusieurs pays de la zone méditerranéenne ; il existe également en Angleterre, en Russie, en Amérique du Sud mais surtout en Italie (Borner, 1952 ; Roberti, 1939).

## 2.6. Moyens de lutte

La lutte contre *P. passerinii* doit toujours être précédée d'observations biologiques indispensables pour pratiquer les traitements aux époques les plus propices. Ceci précisé, il est possible de schématiser comme suit les principaux points d'un programme de lutte contre cet insecte. Dans les conditions particulières à la zone méditerranéenne, les adultes apparaissent début juin, et les traitements réalisés autour du 15 juin doivent donner des résultats satisfaisants. Si on veut obtenir des résultats efficaces sur la seconde génération qui apparaît au début du mois d'août, époque à laquelle les larves se localisent encore dans le parenchyme foliaire, il est indispensable d'entreprendre la lutte dans le courant du mois d'août, avant la pénétration des larves dans les tiges (De Tillesse *et al.*, 1999).

## 3. Données bibliographiques sur *Phyllocnistis unipunctella* (Stephens, 1834)

### 3.1. Position systématique et synonymie

D'après Nef (1988) et (De Tillesse *et al.*, 1999) cet insecte appartient à la sous-classe des *Ptérygotes*, ordre des *Lepidoptera*, famille des *Gracilariidae*, sous-famille des *Phyllocnistinae*, genre *Phyllocnistis*, et espèce *unipunctella* (Stephens, 1934). *P. unipunctella* a connu d'autres appellations : *Phyllocnistis labyrinthella* (Bjerkander, 1790) et *Phyllocnistis populiella* (Chambers, 1875).

### 3.2. Description morphologique

L'adulte est un petit papillon de 7 à 8 mm d'envergure aux ailes antérieures étroites et frangées, blanchâtres avec les extrémités ocre. Les ailes postérieures sont encore plus étroites et bordées d'une large frange. La larve est blanc jaunâtre, de petite taille et très aplatie. Elle est dépourvue de pattes thoraciques ou abdominales mais possède des protubérances latérales aidant dans les déplacements à l'intérieur des mines qui sont confectionnées suite à leur développement (figure 8<sub>a</sub>, b et c).

### 3.3. Cycle de vie

D'après (De Tillesse *et al.*, 1999) ce papillon peut avoir jusqu'à trois générations par an. La première génération apparaît au tout début de l'été. Les oeufs, de couleur gris verdâtre, sont pondus individuellement sur la face inférieure des feuilles. Les chenilles éclosent après 6 à 9 jours. La jeune chenille pénètre dans l'épiderme et creuse une galerie très sinueuse de 6 à 10 cm. Elle se nourrit de la sève qu'elle trouve dans les cellules pendant environ deux mois avant de se nymphoser dans un cocon blanc à l'extrémité de la galerie. L'épiderme de la feuille où s'effectue la nutrition prend une couleur blanchâtre et prend l'aspect d'une trace de limace. Assez souvent la mine suit une nervure importante ou le bord de la feuille.



**Figure 8 : Description morphologique des différents stades de *Phyllocnistis unipunctella* (De Tillesse et al., 1999)**

Adulte (a), Mines (b), Larve (c)

### 3.4. Dégâts

Des arbres de tous les âges peuvent être attaqués mais ce sont les variétés des groupes *P. nigra* et *P. deltoides* x *P. nigra* qui sont préférés tandis que celles des groupes *P. trichocarpa* et *P. trichocarpa* x *P. deltoides* sont moins attaquées (Delplanque, 1998).

### 3.5. Moyens de lutte

L'utilisation de plantations monoclonales est probablement une cause majeure de la prolifération de dégâts d'insectes dans la région euro-méditerranéenne et en Chine. Il est donc urgent de promouvoir l'utilisation de plantations mélangées. De plus, les facteurs stationnels et l'entretien jouent un grand rôle dans la limitation des dégâts. Dans beaucoup de cas, les terrains favorables à la croissance du peuplier (bonne aération, bonnes réserves hydriques, pH (pH KCl de 5,5 à 7), sont défavorables aux attaques d'insectes. En outre, les arbres subissant différents stress physiologiques (sécheresse, stations impropres, mauvaises techniques de plantation) résistent moins bien, ou peuvent même être tués par les attaques. Nombre d'exemples sont cités pour les dégâts de chenilles défoliatrices. Entre autre des expériences

comparatives ont montré que *Phyllocnistis unipunctella* était moins abondant sur sols sableux que sur sols limoneux et humides : il est supposé que ceux-ci modifient la composition chimique des feuilles (et surtout celle des tannins) et ainsi la mortalité des insectes (Nef, 1988 ; De Tillesse *et al.*, 1999).

#### **IV. Généralités sur le concept de stress**

Le concept de stress a été formulé au cours de la première moitié du 20<sup>ème</sup> siècle par Cannon (sous le terme "fight or flight response") et Selye (sous le terme de "general adaptation syndrome"). Les psychologues furent pratiquement les seuls scientifiques intéressés par les travaux de Selye jusqu'à ce que, relativement récemment, l'avancée des découvertes en neuroendocrinologie et en immunologie (découverte des cytokines, notamment) permît de décrire l'état de stress en termes physiologiques et d'aborder ses mécanismes par des méthodes expérimentales.

Au cours des deux dernières décennies, le nombre d'études portant sur la physiologie du stress chez les animaux a augmenté de manière considérable. Ceci est lié, d'une part, au fait qu'un nombre croissant de disciplines s'intéressent au stress (psychologie, physiologie, immunologie, endocrinologie, neurobiologie, pathologie, éthologie, écologie, toxicologie) et, d'autre part, au fait que le concept de stress peut être appliqué à tous les niveaux d'organisation, depuis l'écosystème jusqu'à la molécule (Pacak *et al.*, 1998) .

##### *1. Définition du stress et questions sémantiques*

La survie de tout organisme nécessite qu'un état d'équilibre physiologique soit maintenu en toutes circonstances. Cette notion d'état d'équilibre physiologique fut établie par Claude Bernard au 19<sup>ème</sup> siècle (Bernard, 1865). Au début du 20<sup>e</sup> siècle, Walter Cannon (1935) introduisit le terme "homéostasie".

Cet état d'équilibre est sans cesse menacé par diverses perturbations intrinsèques à l'organisme ou provenant de son environnement. Empruntant aux physiciens, Selye (1936) introduisit le terme "stress" pour désigner l'état dans lequel se trouve un organisme lorsqu'il fait face à des forces menaçant son intégrité. Ce terme s'avéra cependant ambigu puisqu'il peut désigner à la fois les stimuli s'appliquant à un organisme et la réponse de l'organisme à ces stimuli. En 1973, Selye créa alors le néologisme "stressor" (ce terme sera traduit ici par "facteur de stress") qui désigne les perturbations appliquées à un organisme, et il introduisit la notion de "réponse au stress" ("stress response"), qui désigne un vaste ensemble de réactions comportementales ou physiologiques visant à maintenir l'homéostasie. *Le stress est donc aujourd'hui considéré comme un état de déséquilibre physiologique provoqué par un facteur de stress et déclenchant une réponse au stress.*

Bien que, dans certaines conditions, la frontière entre ces trois notions demeure assez floue, nous essaierons, dans la suite de ce document, de rester cohérents avec ces définitions.

##### *2. Les facteurs de stress*

On considère aujourd'hui que les facteurs de stress se répartissent en deux groupes : le groupe des "*stimuli cognitifs*" et celui des "*stimuli non-cognitifs*".

Les *stimuli cognitifs* sont des facteurs de stress perceptibles par les organes des sens. Ils sont de nature abiotique (qualité de l'air ou de l'eau : température, quantité d'oxygène, salinité, présence de polluants, pratiques agricoles ou aquacoles) ou biotique (quantité ou qualité de nourriture, compétition, présence de prédateurs, surpopulation).

La notion de *stimulus non-cognitif* a été introduite par Blalock en 1984. Cet auteur souligne que le système immunitaire et le système neuroendocrine sécrètent un ensemble de molécules identiques et répondent à des messagers communs (neuropeptides, catécholamines et cytokines notamment). Blalock propose que le système immunitaire peut assurer une fonction d'organe sensoriel réagissant à des facteurs de stress qui ne sont pas perçus par les organes des sens classiques. En effet, les cellules immunitaires reconnaissent divers antigènes (virus, bactéries, protozoaires) qui menacent l'intégrité de l'organisme mais ne sont pas détectés par les organes des sens ou le système nerveux. Cette information est alors transmise au système neuroendocrine via des messagers hormonaux sécrétés par les cellules immunitaires, ce qui déclenche une réponse au stress.

### 3. La réponse au stress

Selye (1936) fut le premier à proposer une véritable théorie concernant le stress et ses effets sur l'organisme. Il remarqua que des perturbations différentes provoquaient un certain nombre de réponses similaires chez les animaux. D'après lui, ces réponses constituaient la base de ce qu'il appela le Syndrome Général d'Adaptation (General Adaptation Syndrome ou GAS, Selye, 1950). Le GAS comprend trois étapes. Une phase d'alarme ou phase initiale de la réponse, suivie par une phase de résistance au cours de laquelle l'organisme essaie de s'adapter à la perturbation et de rétablir l'homéostasie. Si l'organisme ne parvient pas à rétablir un équilibre, il entre dans une phase d'épuisement, qui peut conduire à l'apparition de diverses pathologies ou à la mort (Selye, 1973). La théorie du GAS considère que la réponse au stress est non-spécifique et ne dépend pas de la nature du facteur de stress. Ceci fut l'objet de nombreuses critiques (Mason, 1971; Pacak *et al.*, 1998) et bien que certains aspects de cette théorie constituent encore aujourd'hui une base permettant d'aborder le concept de stress, elle est considérée comme obsolète.

Sous le terme de "réponse au stress", on désigne aujourd'hui un ensemble de réactions comportementales et physiologiques (tableau 1) permettant de maintenir l'homéostasie de l'organisme face à une situation défavorable (Chrousos et Gold, 1992). Les réactions comportementales ont pour but de stimuler l'attention, la vigilance, voire l'agressivité de l'animal. Les réactions physiologiques servent à rediriger l'énergie vers le système nerveux central, certains muscles et les parties éventuellement lésées de l'organisme de façon à faciliter son adaptation.

Au cours de la réponse au stress, on assiste notamment à une augmentation de la fréquence cardiaque, de la fréquence respiratoire, de la pression sanguine, de la lipolyse, de la glycolyse et de la gluconéogenèse de façon à augmenter les quantités circulantes de substrats vitaux (oxygène et glucose notamment). Les fonctions physiologiques qui ne sont pas immédiatement nécessaires (croissance, reproduction, certaines fonctions immunitaires) sont inhibées (Chrousos et Gold, 1992; Wendelaar-Bonga, 1997; Perry et Gilmour, 1999; Steffens et De Boer, 1999; Pottinger, 1999).

La capacité d'un organisme à s'adapter à une perturbation ne dépend pas uniquement de la rapidité et de l'efficacité avec lesquelles il met en place une réponse de stress. Elle dépend aussi en grande partie de sa capacité à générer une contre-réaction qui le protège d'une réponse au stress disproportionnée.

**Tableau 1 : Principales adaptations comportementales et physiologiques durant la réponse au stress chez les vertébrés (modifié d'après Chrousos et Gold, 1992)**

---

### **Adaptations comportementales**

**Activation des comportements adaptatifs:**

Etat d'excitation et/ou d'agressivité accru  
Vigilance accrue  
Attention focalisée sur le facteur de stress

**Inhibition des comportements non-immédiatement nécessaires**

Suppression des comportements liés à la prise de nourriture  
Suppression des comportements liés à la reproduction

---

### **Adaptations physiologiques**

**Réponse neuroendocrine**

Sécrétion de neuropeptides, de corticostéroïdes et de catécholamines

**Redirection des substrats vitaux:**

Acheminement de l'oxygène et des nutriments vers le système nerveux central, certains muscles et les parties lésées de l'organisme  
Augmentation de la fréquence cardiaque  
Augmentation de la fréquence respiratoire  
Stimulation de la glycogénolyse, de la gluconéogenèse et de la lipolyse  
Inhibition du système reproducteur  
Inhibition de la croissance

---

En absence de contre-réaction, la réponse au stress perd ses propriétés adaptatives et contribue à l'apparition de troubles pathologiques. Il a été démontré que la réponse physiologique au stress débute par une activation du système neuroendocrine (sécrétion de neuropeptides, catécholamines et glucocorticoïdes) qui influence diverses fonctions physiologiques à l'échelle de l'organisme entier (Chrousos et Gold, 1992).

#### *4. Réponses métaboliques au stress chez les invertébrés*

##### *4.1. Réponse hormonale*

Des réactions comportementales au stress existent chez les invertébrés (Akberali, 1985) et la réponse au stress est un processus indispensable au maintien de l'homéostasie de tout organisme. Ceci laisse supposer que certaines formes de réponses neuroendocrines au stress sont présentes chez les invertébrés mais elles demeurent encore mal connues (Ottaviani et Franceschi, 1996).

Quelques études ont montré que certaines structures nerveuses des prochordés pourraient constituer des homologues ou des précurseurs du complexe hypothalamo-hypophysaire des vertébrés (Gorbman, 1995; Henderson, 1997). Par exemple, Gorbman (1995) a avancé l'hypothèse que l'hypophyse des vertébrés aurait évolué à partir d'une structure olfactive (chimiosensible) présente chez les prochordés : le complexe "organe de Hatschek-glande neurale". L'organe de Hatschek, une petite invagination de la paroi buccale, et la glande neurale sont en contact avec l'eau environnante et réguleraient les fonctions reproductrices grâce à des substances semblables aux hormones hypophysaires de vertébrés (la GnRH "gonadotropin-releasing hormone" et la LH "luteinizing hormone") afin que la période de reproduction coïncide avec la saison la plus favorable au développement des larves. Gorbman (1995) propose qu'au cours de l'évolution, les fonctions endocrines auraient été conservées au sein de l'adénohypophyse des vertébrés et les fonctions sensorielles auraient été transférées vers les centres nerveux adjacents. Il est important de signaler que ces hypothèses n'ont pas encore été confirmées et il semble qu'elles fassent encore l'objet de débats.

De nombreux travaux indiquent aussi que les principaux acteurs hormonaux de la réponse au stress des vertébrés sont présents chez pratiquement tous les invertébrés (Ottaviani et Franceschi, 1996; Stefano et Salzet, 1999). Cependant, très peu d'informations sont disponibles concernant l'organisation de la réponse neuroendocrine au stress chez ces animaux.

Dans les paragraphes suivants, nous passons en revue les informations concernant la présence de CRH "corticotropin releasing hormone"; d'ACTH "adrenocorticotropic hormone", de corticostéroïdes et de catécholamines chez les invertébrés. Un nombre croissant d'études d'immunohistochimie et immunocytochimie montrent que des substances **CRH-like** sont présentes chez les invertébrés.

Le système nerveux des annélides *Dendrobaena subrubicunda* (Rémy *et al.*, 1982) et *Nereis diversicolor* (Dhainaut-Courtois *et al.*, 1985), du mollusque *Planorbarius corneus* (Sonetti *et al.*, 1986) et de divers insectes (Verhaert *et al.*, 1984; Schols *et al.*, 1987; Te Brugge *et al.*, 1999) contiennent des molécules CRH-like. L'hémolymphe et les hémocytes de mollusques *Planorbarius corneus*, *Viviparus ater*, *Lymnea stagnalis* et *Mytilus galloprovincialis* contiennent aussi des substances CRH-like (Ottaviani *et al.*, 1994, 1998). De plus, les hémocytes de moule expriment des ARN messagers codant des récepteurs de CRH (Malagoli *et al.*, 2000).

Le rôle de la CRH chez les invertébrés est mal connu. Chez les mollusques, cette hormone semble impliquée dans des processus immunorégulateurs (Ottaviani et Franceschi, 1996). Chez les insectes, des hormones diurétiques (dites hormones diurétiques CRH-like) présentent une forte homologie de séquence avec des peptides de la famille CRH/sauvagine/urotensine I/urocortine des vertébrés, une famille de peptides qui stimulent notamment la libération d'ACTH et la diurèse chez les vertébrés (Landau *et al.*, 1997; Furuya *et al.*, 2000). Ceci suggère que la CRH d'invertébrés pourrait remplir des fonctions similaires à celles de la CRH de vertébrés.

Des substances **ACTH-like** ont été détectées chez le nématode *Goodeyus ulmi* (Leach *et al.*, 1987) et le trématode *Schistosoma mansoni* (Duvaux-Miret et Capron, 1992). Elles sont aussi présentes dans le système nerveux des mollusques (Leung *et al.*, 1990) et des insectes (Hansen *et al.*, 1986 ; Schols *et al.*, 1987) ainsi que dans les gonades du prochordé *Styela plicata* (Pestarino et Facchinetti, 1995). L'hémolymphe et les cellules immunitaires des

mollusques (Ottaviani *et al.*, 1994 ; Stefano et Salzet, 1999), des annélides *Eisina foetida* (Cooper *et al.*, 1995) et *Theromyzon tessulatum* (Salzet *et al.*, 1997) et des insectes *Leucophaea maderae* (Smith *et al.*, 1998) et *Calliphora vomitoria* (Franchini *et al.*, 1996) contiennent eux aussi des molécules ACTH-like.

Un peptide similaire à la POMC de mammifères et six peptides dérivés (incluant la MSH et l'ACTH) ont été purifiés à partir d'hémolymphes et d'hémocytes de sangsue *T. tessulatum* (Salzet *et al.*, 1997) et de moule *Mytilus edulis* (Stefano *et al.*, 1999). Il semble que les séquences en acides aminés de ces peptides aient été très conservées au cours de l'évolution. En effet chez la moule, la MSH et l'ACTH présentent respectivement 90 % (85 % chez la sangsue) et 74 % (70 % chez la sangsue) d'identité avec la MSH et l'ACTH de mammifères (Stefano et Salzet, 1999).

L'ACTH possède des propriétés immunorégulatrices chez les mollusques (Ottaviani et Franceschi, 1996). D'autres opioïdes tels que la méthionine enképhaline sont capables de moduler l'activité des neurones dopaminergiques chez la moule (Stefano et Salzet, 1999).

A ce jour, les hormones **stéroïdes** décrites chez les invertébrés sont principalement des hormones reproductives (oestrogènes ou androgènes) et des hormones de mue (cas des arthropodes). Peu d'informations sont disponibles concernant la présence de cortisol ou de corticostérone chez les invertébrés. Il semble que la mouche *Calliphora vicina* possède des sites de fixation pour la corticostérone (Bidmon et Stumpf, 1991).

Ottaviani *et al.* (1998) par une approche immunocytochimique ont récemment détecté des molécules cortisol-like dans les hémocytes des gastéropodes *Planorbarius corneus*, *Viviparus contectus* et *Lymnea stagnalis* et dans les hémocytes de moule *Mytilus edulis*, mais le rôle de ces substances chez les invertébrés demeure inconnu.

De la noradrénaline et de la dopamine ont été détectées dans les fibres nerveuses des coelentérés (Pani et Anctil, 1994), des annélides (Anctil *et al.*, 1990), des plathelminthes (Gustafsson et Eriksson, 1991), des arthropodes (Shimizu *et al.*, 1991) et des mollusques (Pani et Croll, 1998). Les hémocytes et les gonades de mollusques contiennent aussi des catécholamines (Ottaviani et Franceschi, 1996). Il semble que l'adrénaline soit absente chez de nombreux invertébrés.

Chez les crustacés, la noradrénaline et la dopamine sont impliquées dans les mécanismes d'osmorégulation (Zatta, 1987) et dans la dispersion ou la concentration des pigments rétinien. De plus, la dopamine a un effet hyperglycémiant chez le homard. Chez les plathelminthes, ces catécholamines contrôlent les processus de régénération tissulaire (Landau *et al.*, 1997).

Chez les mollusques, les **catécholamines** modulent les fonctions respiratoires (Syed et Winlow, 1991), la reproduction (Martínez et Rivera, 1994), la métamorphose (Pires *et al.*, 1997) et elles influent sur les fonctions de locomotion (Sakharov et Salanski, 1982). Des récepteurs adrénergiques sont présents chez les mollusques (Coon et Bonar, 1987; Pertseva *et al.*, 1992) et un récepteur de dopamine de type D1 a été découvert chez la sangsue *T. tessulatum* (Salzet *et al.*, 1997).

Plusieurs études suggèrent que des catécholamines pourraient être impliquées dans une forme de réponse neuroendocrine au stress chez les invertébrés. Stefano et De Boer (1999) ont

montré qu'un stress thermique influe sur les concentrations en dopamine et en noradrénaline dans les ganglions de mollusques.

Récemment, deux études ont établi que la présence de dopamine est nécessaire à l'apparition de comportements de fuite ou d'agressivité chez le criquet *Gryllus bimaculatus* (Stevenson *et al.*, 2000) et le crabe *Carcinus maenas* (Sneddon *et al.*, 2000). Ces auteurs montrent aussi que l'octopamine, une autre amine biogène (David et Coulon, 1985), est nécessaire à l'apparition de comportements de fuite ou d'agressivité chez le criquet et le crabe. Des amines biogènes autres que les catécholamines sont donc vraisemblablement impliquées dans la réponse neuroendocrine au stress des invertébrés.

Les hémocytes de bivalves et de gastéropodes sécrètent des catécholamines lorsqu'ils sont maintenus *in vitro* en présence d'ACTH et ils libèrent de l'ACTH en présence de CRH (Ottaviani et Franceschi, 1996). Il est possible que cette cascade hormonale participe uniquement à des mécanismes immunorégulateurs et non à une réponse neuroendocrine permettant à l'ensemble de l'organisme de faire face à un stress.

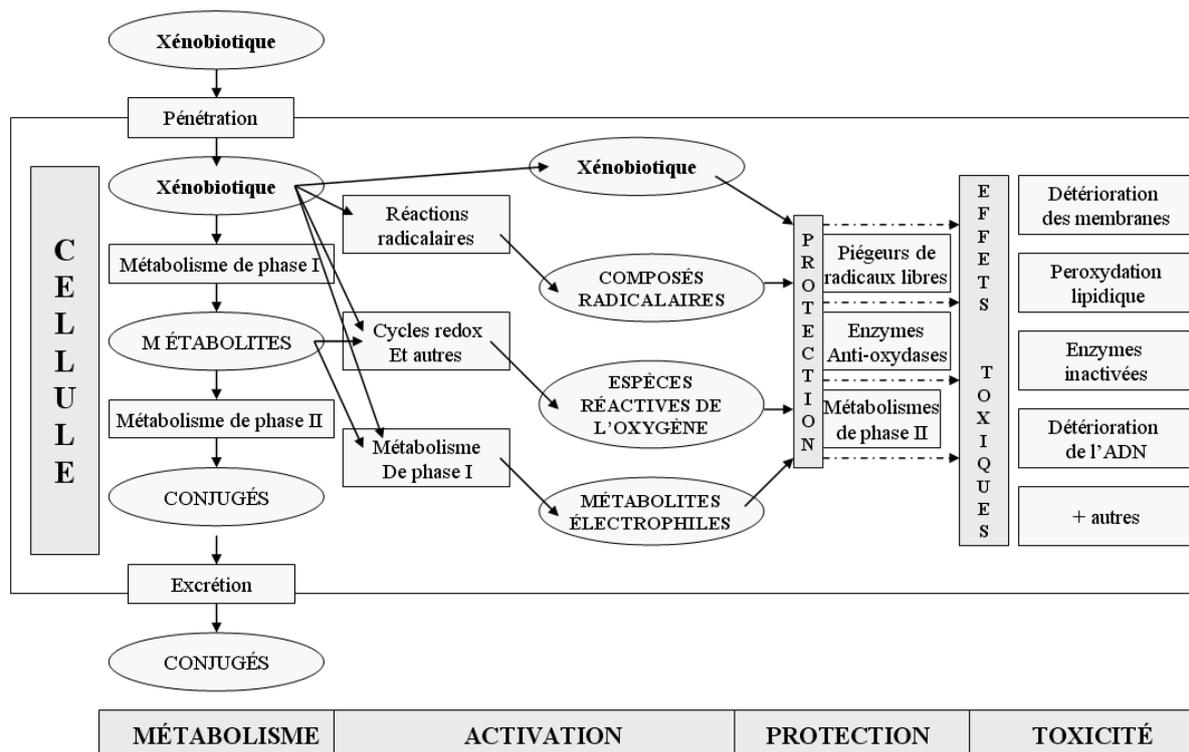
Cependant, chez la moule, une injection intra-cardiaque de certains peptides opioïdes tels que la méthionine-enképhaline entraîne une augmentation de la concentration en dopamine dans les ganglions nerveux (Stefano, 1982). Il semble donc que chez les mollusques, il existe des cascades hormonales semblables à celles qui constituent la réponse neuroendocrine au stress des vertébrés et il est possible que ces cascades hormonales prennent part à une réponse neuroendocrine au stress chez certains invertébrés (Ottaviani et Franceschi, 1996 ; Stefano et Salzet, 1999).

#### 4.2. Réponse enzymatique

Les paramètres métaboliques révèlent une importance capitale par suite de leur implication dans les réponses à un stress (Buet *et al.*, 1998). Ils couvrent une diversité assez marquée en passant par des paramètres biométriques (indices de condition), métaboliques (constitution tissulaire, réserve énergétique, activités ATPasiques), d'activités enzymatiques hépatiques de détoxification (système multienzymatique cytochrome P450 dépendant), de l'activité d'enzymes impliquées dans le métabolisme de l'oxygène au niveau hépatique et sanguin et de l'activité de l'acétylcholinestérase (AChE) cérébrale et musculaire.

La biotransformation des xénobiotiques organiques lipophiles au sein des différents organes consiste en la production de métabolites plus hydrosolubles que la molécule initiale (phase I) et en dérivés conjugués (phase II) afin de faciliter leur élimination (figure 9). La mesure des activités enzymatiques associées à ces transformations, en particulier les activités cytochrome P450 dépendantes, a été développée comme biomarqueur. L'inductibilité de ces enzymes par les xénobiotiques a fait l'objet de nombreuses recherches. Chez les poissons, l'utilisation de l'activité éthoxyrésorufine-*O*-dééthylase (EROD) hépatique, et dans une moindre mesure des activités glutathion *S*-transférase (GST) et uridine diphosphoglucuronyl transférase (UDPGT), en tant que biomarqueurs de pollution sont désormais classiques (Stegeman et Hahn, 1994 ; Flammarion *et al.*, 2000).

L'usage de ces biomarqueurs implique la connaissance précise des conditions écologiques auxquelles les individus sont exposés car il est bien établi qu'un grand nombre de facteurs comme la température du milieu (Pacheco et Santos, 2001), l'âge et le sexe des individus (Forlin et Haux, 1990) ou l'alimentation (Grasman *et al.*, 2000) influent sur ces activités.

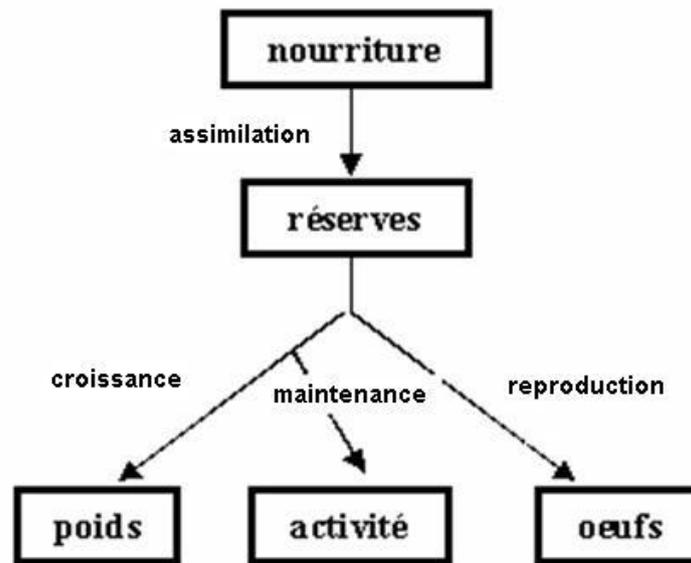


**Figure 9 : Schéma des voies majeures conduisant à la détoxification et la toxification des xénobiotiques organiques chez les animaux (Lagadic et al., 1997)**

Lors des processus métaboliques endogènes ou exogènes, des dérivés de l'oxygène extrêmement réactifs, les radicaux libres, sont libérés. Cette formation d'oxyradicaux est contrôlée par des systèmes antioxydants. Les organismes aérobies possèdent des mécanismes de défense de nature enzymatique qui leur permet de réguler la concentration en radicaux libres ; ce sont essentiellement deux grandes catégories d'enzymes : les superoxydes dismutases (SOD) et les peroxydases dont les glutathion peroxydases (GPx et Se-GPx) et les catalases. Chez les poissons, de nombreux travaux ont validé la mesure de leur activité, tant au niveau sanguin qu'au niveau hépatique en tant que biomarqueurs aspécifiques. La mesure des activités hépatiques et érythrocytaires antioxydantes, qui sont également largement modulées par les facteurs abiotiques, font l'objet de plusieurs investigations (Roche et Bogé, 1996, 2000).

#### 4.3. Réponse énergétique

Chez les animaux, les principales formes de stockage de l'énergie sont représentées par le glycogène (et autres polysaccharides de structures voisines) ainsi que les lipides (triglycérides : 90% lipides neutres) (Gilbert et O'Connor, 1970). Leur disponibilité semble être le résultat d'une balance entre la prise de nourriture et les demandes de réserves par des processus tels que la reproduction, la maintenance et la croissance (Convey, 1992) (figure 10) ou à la suite d'un stress. En cas de stress sévère, les protéines peuvent aussi être utilisées comme source d'énergie; ce phénomène s'opère cependant au détriment de leur rôle structural ou fonctionnel puisque ces biomolécules ne sont pas synthétisées et stockées dans le but de fournir de l'énergie (Le Gal et al., 1997)



**Figure 10 : Représentation schématique de la répartition de l'énergie dans la théorie DEB (Dynamic Energy Budget) (Kooijman, 2000)**

Les substrats énergétiques subissent de forts remaniements en fonction de la saison et du cycle de reproduction ; parmi eux, le glycogène constitue une forme rapidement mobilisable. Son taux musculaire et hépatique reflète l'état des réserves énergétiques d'un organisme et traduit l'altération éventuelle des processus de glycolyse ou de néoglucogénèse (Gimeno *et al.*, 1995 ; The *et al.*, 1997). Les lipides neutres représentent une forme de réserve à plus long terme et les lipides polaires sont les composants principaux des membranes cellulaires. Ainsi, au-delà du simple aspect énergétique, la teneur lipidique du muscle et du foie conditionne largement la bioaccumulation des polluants lipophiles. Le muscle, par son imprégnation, est un élément déterminant du phénomène de bioamplification (transmission de la contamination au long de la chaîne alimentaire) et le tissu hépatique est impliqué dans la plupart des processus métaboliques, notamment dans les mécanismes de détoxification. Les taux de protéines, de glycogène et de lipides ont donc été évalués dans les tissus hépatique et musculaire.

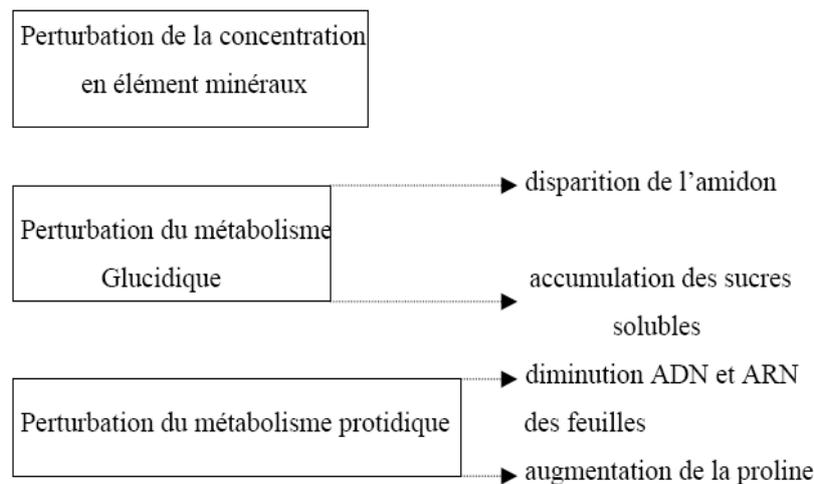
La ressource investie dans les fonctions physiologiques va ainsi entrer en conflit avec le maintien de l'homéostasie. En effet, selon le principe d'allocation de Williams (1966) et Levins (1968), tout investissement supplémentaire dans un aspect quelconque de la vie d'un organisme ne pourra se faire qu'au dépend d'un autre aspect. Le fait que les ressources soient généralement limitantes et que les organismes doivent investir l'énergie dans des voies concurrentielles est à la base de la notion de compromis ou "trade-off" entre les traits d'histoire de vie. Ainsi, la valeur physiologique totale d'un organisme peut être considérée comme la somme entre le succès dans le maintien de l'homéostasie, cet effort optimal sera donc déterminée par un équilibre entre les bénéfices attendus et les coûts pour les fonctions futures. L'existence d'un conflit entre le succès des traits physiologiques donnée et la valeur résiduelle d'un organisme est une proposition clé, à la base du concept de "coût des fonctions physiologiques" formulé par Williams (1966).

## 5. Réponses métaboliques au stress chez les plantes

Le stress conduit la plupart des plantes à diminuer leur potentiel osmotique par accumulation d'osmolytes (Mattson et Hack, 1987), et à une perturbation du métabolisme de l'azote (Bergmann *et al.*, 1997), qui se caractérise par l'hydrolyse des protéines, de sorte que les concentrations en protéines diminuent tandis que celles en acides aminés augmentent, notamment la proline. Le métabolisme du carbone est également perturbé et l'hydrolyse de l'amidon entraîne une augmentation des concentrations en sucres solubles, de même la quantité des composés de défense, tels que les glycosides cyanogéniques, les glucosinolates et autres composés sulfurés, les alcaloïdes et les terpénoïdes auraient tendance à augmenter (Gershenzon, 1984).

Le stress peut limiter ainsi la croissance des végétaux, en modifiant le bilan entre la disponibilité et les besoins au niveau de la balance hormonale (figure 11) ainsi qu'une diminution de la pression de turgescence de la plante qui se traduit par une perte d'eau du contenu cellulaire (Gate, 1995).

L'augmentation de la concentration des acides aminés, en particulier la proline, a été observée chez plusieurs espèces de plantes soumises à une contrainte hydrique (sécheresse par exemple), (Ramanjulu *et al.*, 1997) : chez l'orge (Stewart, 1978), chez l'eucalyptus (Chunyang et Kaiyun., 2003), chez les blés durs et les blés tendres (Monneveux et Nemmar, 1986).



**Figure 11 : Effets du stress hydrique au niveau cellulaire chez les végétaux (Brinis, 1995)**

### 5.1. Accumulation de la proline

Cette augmentation induit le maintien d'une pression osmotique interne élevée. La synthèse de proline constitue un stock d'azote utilisable par la plante postérieurement à la période de souffrance hydrique (Dib *et al.*, 1992) et peut être incluse dans la régulation du pH cytoplasmique. Par conséquent, elle aide dans la stabilisation des protéines membranaires et des protéines libres à travers les chloroplastes, les mitochondries et le cytosol. La synthèse des protéines associées avec le catabolisme des sucres, pourrait jouer un rôle majeur dans la mobilisation de l'énergie métabolique requise durant le stress pour une compartimentation ionique et synthèse des osmolytes (Bellinger et Larher, 1987).

D'autres facteurs influent sur l'accumulation de la proline tels que l'inhibition de l'oxydation due à un effet mitochondrial, et à la réduction du taux de translocation de l'acide aminé à travers le phloème (Carceller, 1995).

### 5.2. Accumulation des sucres solubles

Les principaux sucres solubles qui sont à la base des différents processus contrôlant la vie d'une plante et accumulés sous stress sont : le glucose, le fructose et le saccharose (Hare *et al.*, 1998). Depuis longtemps, il est connu que le taux de ces sucres augmente considérablement chez des plantes soumises aux différents types de stress (Noiraud *et al.*, 2000). L'un des effets majeurs du déficit hydrique est qu'il affecte le métabolisme des hydrates de carbone (Ildiko et Galiba, 1995) en relation directe avec plusieurs processus physiologiques tels que la photosynthèse, la translocation et la respiration (Kameli et Lösel, 1995).

Par ailleurs, il a été observé que sous stress hydrique, les réserves amyliques sont progressivement utilisées suite à leur conversion rapide en saccharose, qui pourrait être associé à une inhibition de la synthèse de l'amidon (Geigenberger *et al.*, 1997). Le saccharose et les autres monosaccharides confèrent chez les différentes plantes une tolérance vis à vis du stress (Kim *et al.*, 2000).

### 5.3. Réduction des besoins nutritionnels

La contrainte hydrique réduit la disponibilité des éléments nutritifs dans le sol et affecte les processus photosynthétiques à savoir la synthèse, l'accumulation et le transfert des assimilants. Certaines plantes possèdent un mécanisme plus tolérant que d'autres au déficit alimentaire. Cela pourrait être une des causes du succès des plantes succulentes, sous conditions extrêmes de déshydratation. En raison de leur teneur en matière sèche et de leur métabolisme réduit, leurs besoins en carbohydrates sont faibles. Suite à un stress hydrique chez *Casuarina*, il se produit une réduction de la biomasse sèche totale et une allocation de biomasse vers les racines des jeunes plants (Levitt, 1980).

## V. Evaluation du stress et notion du biomarqueur

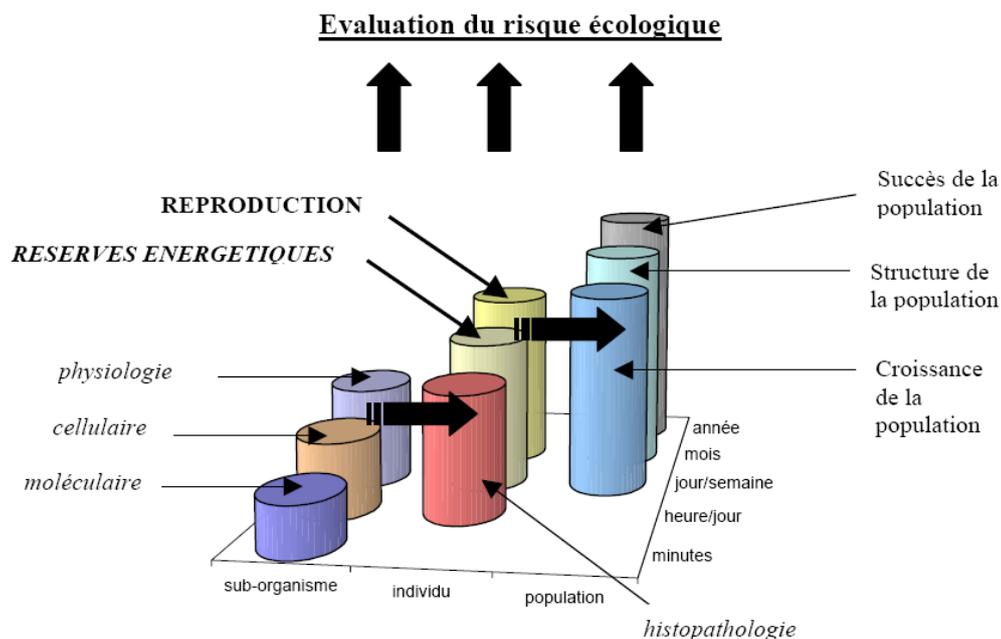
L'évaluation des conséquences écophysiological résultant de l'exposition d'un organisme vivant à un stress environnemental implique une évaluation aussi précise que possible des causes et des modalités de la perturbation. En outre, elle nécessite la connaissance des domaines de variations des valeurs normales des paramètres écophysiological dans la ou les populations exposées de l'espèce considérée. Les causes naturelles de variations sont communes à la totalité des espèces propres à un habitat donné : elles sont liées à des facteurs écologiques majeurs, extrinsèques ou intrinsèques comme la saison, les caractéristiques physico-chimiques propres au biotope, le sexe, la maturité, etc. (Ramade, 1992). Néanmoins, leur importance relative dépend de l'espèce considérée. Elles tiennent également au fait que les données biologiques sont susceptibles de fluctuer selon la provenance des animaux, leurs conditions de vie (habitat, nutrition, etc.) sans omettre le fait qu'un biais lié au stress plus ou moins important que peut générer leur mode de capture peut apparaître. L'impérieuse nécessité d'identifier des organismes-tests et des biomarqueurs permettant d'évaluer de façon aussi précoce que possible l'impact potentiel d'un stress, s'est accompagnée d'un développement croissant des recherches par l'analyse de paramètres biométriques (indices de condition), métaboliques (constitution tissulaire, réserve énergétique, activités ATPasiques),

d'activités enzymatiques de détoxication (système multienzymatique cytochrome P450 dépendant), de l'activité d'enzymes impliquées dans le métabolisme de l'oxygène et de l'activité de l'acétylcholinestérase (AChE) cérébrale et musculaire.

### 1. Définition

Selon Van Gestel et Van Brummelen (1996), un biomarqueur se définit comme «toute réponse biologique à un produit environnemental constatée à un niveau inférieur à celui de l'individu». Cette réponse doit être mesurée dans un organisme ou dans ses produits et indiquer un changement par rapport à l'état normal. Cette réponse ne peut être détectée chez un organisme sain. Ainsi, les biomarqueurs servent donc de traceurs (observable et/ou mesurable) pour des réactions qui se produisent à divers niveaux d'organisation biologique (Eggen, 2001).

Ce sont des changements moléculaires, biochimiques, physiologiques histologiques et morphologiques spécifiques dans des populations d'animaux et de plantes, suite à un stress de nature physique, biologique ou chimique (Lagadic *et al.*, 1997). La figure 12 représente la situation des biomarqueurs par rapport aux différents niveaux d'évaluation du risque engendré par une substance toxique.



**Figure 12 : les différents niveaux d'évaluation du risque, et leurs relations temporelles (Margand, 2001)**

Les différentes modifications mesurables dans le temps à l'échelle sub-organismique auront un effet direct sur les individus et l'ensemble de la population. Elles vont donc se répercuter sur le potentiel biotique dont les réserves énergétiques des organismes. Un biomarqueur représente une signature biologique de l'impact ou de la présence d'un déséquilibre dans l'organisme, et non la mise en évidence directe de celui-ci.

## 2. Types de biomarqueur

Margand (2001), distingue trois types de biomarqueurs à savoir :

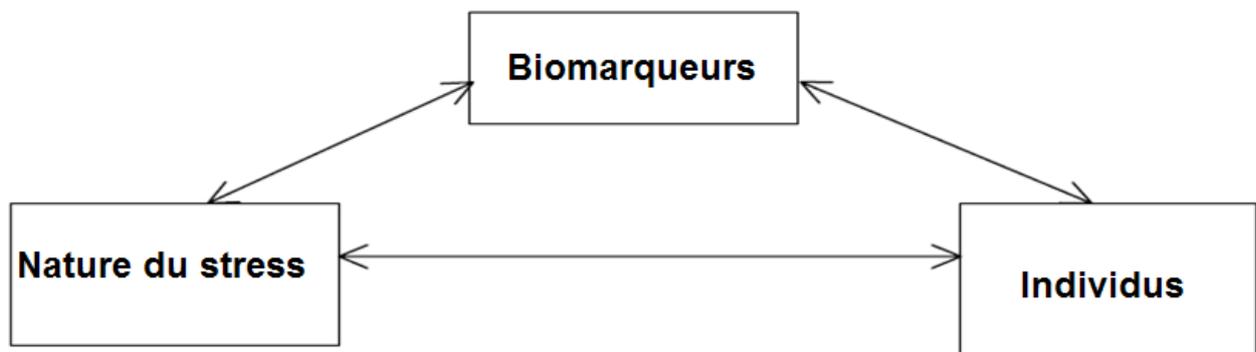
**Les biomarqueurs d'exposition**, concernent la réponse à une interaction entre un agent xénobiotique et une molécule ou cellule cible. Cette réponse rend compte de la pénétration du polluant dans l'organisme, telle que l'induction des protéines de stress.

**Les biomarqueurs d'effet**, qui donnent des informations sur l'état de santé de l'organisme, telles que les réserves énergétiques.

**Les biomarqueurs de sensibilité**, ce type de biomarqueurs indique que l'organisme a déjà été soumis au même polluant et qu'il s'y est adapté. On peut citer par exemple la résistance à un insecticide chez les insectes. Il s'agit surtout de modifications génétiques.

Ces trois types de biomarqueurs peuvent être soit non-spécifiques, soit spécifiques à un type de stress (par exemple à une exposition à des métaux ou des pesticides organohalogénés).

Le même auteur estime que pour pouvoir prédire les conséquences d'un stress sur l'organisme ou la population, à partir d'un effet sur un biomarqueur, il est nécessaire de mettre en relation trois paramètres (figure 13) :



**Figure 13: Relations mettant en évidence l'effet d'un polluant sur un organisme (Margand, 2001)**

## CHAPITRE II. METHODOLOGIE

### I. Etude de la variation spatio-temporelle des groupes fonctionnels de l'entomocénose de *Populus nigra* L. dans la plaine de Mitidja

#### 1. Présentation des sites d'étude

L'étude a été menée sur une peupleraie monoclonale naturelle dans la plaine de la Mitidja (Nord de l'Algérie). C'est la plus vaste plaine sub-littorale d'Algérie, sa superficie est d'environ 140 000 hectares, elle s'étend sur une longueur d'environ 100 Km, pour une largeur variant entre 5 et 20 Km. Au nord, elle est isolée de la mer par la ride du Sahel, au sud, elle prend appui sur la chaîne montagneuse de l'Atlas Blidéen (figure 14) (Loucif et Bonafonte, 1977).

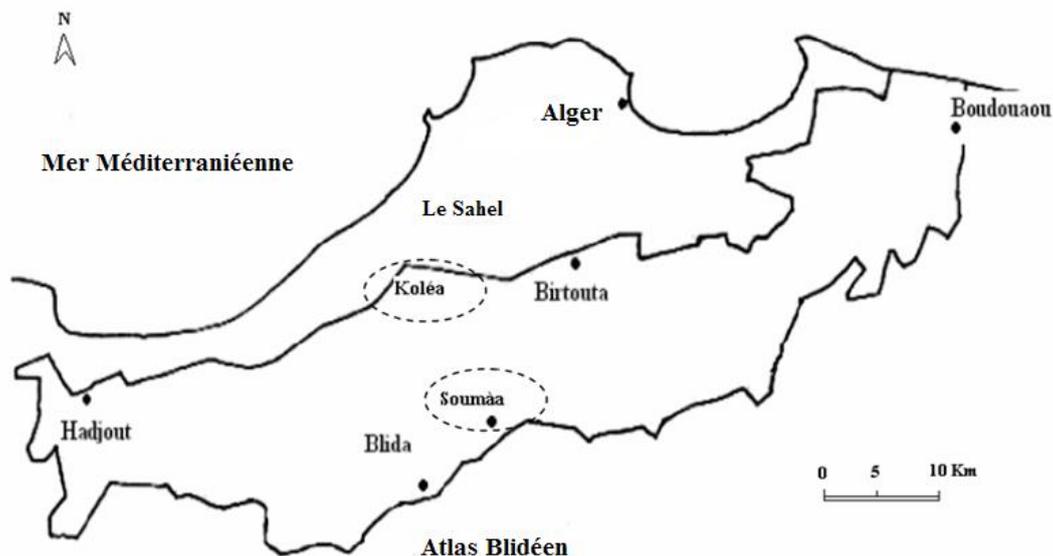


Figure 14 : Limite géographique de la Mitidja (Mutin, 1977)

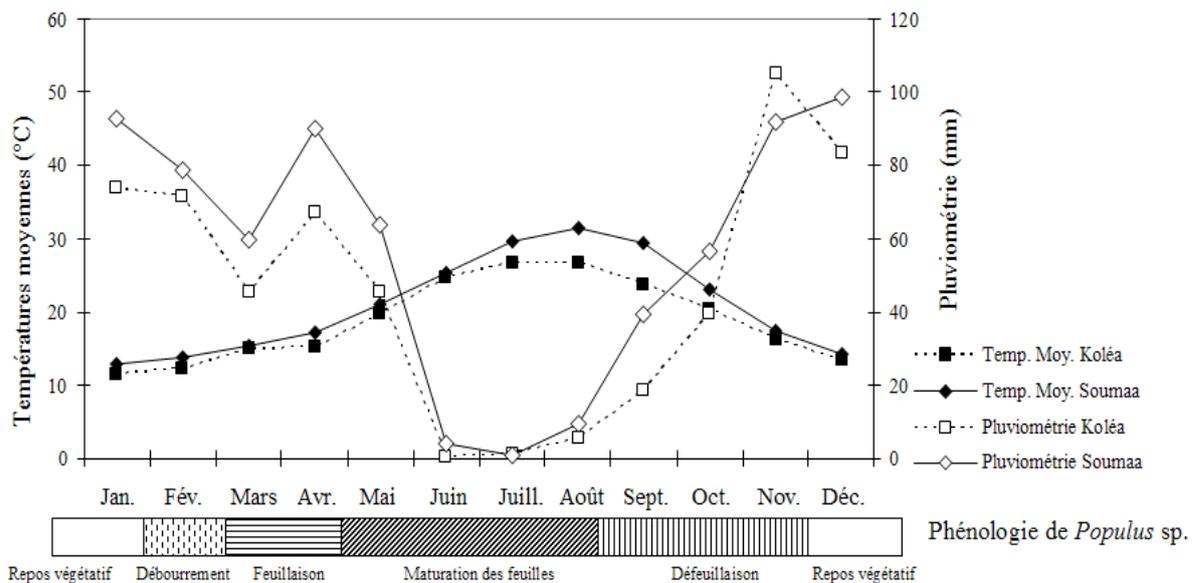
(Le cercle noir indique la position de la station de prélèvement)

Deux stations ont été retenues : la station de Soumâa adossée au piedmont de l'Atlas Blidéen est à une altitude de 200 m et d'exposition sud. Elle s'étale sur 4 ha, c'est une formation semi-ouverte à ouverte où la strate arbustive domine. Les principales espèces végétales qui la caractérisent sont : *Acacia mimosa*, *Eucalyptus globulus*, *Pinus halepensis* et *Ceratonia siliqua*. On note aussi la présence d'*Avena alba*, *Calendula arvensis*, *Torilis nodosa*, *Biscutella didyma*, *Sinapis alba*, *Euphorbia helioscopia*, *Heliotropium europaeum* et *Borrago officinalis*. La station de Koléa est implantée sur une surface plane sur le versant sud du Sahel à une altitude de 250 m et d'exposition sud. Elle s'étend sur 6 ha, c'est une formation ouverte dominée par une strate herbacée, caractérisée par les espèces suivantes : *Cyperus rotundus*, *Centaurea calcitrapa*, *Dittrichia viscosa*, *Oenanthe fistulosa*, *Andryala integrifolia* et *Sonchus oleraceus*.

Ces écosystèmes bénéficient d'un climat méditerranéen à tendance continentale (étage humide à hiver frais). Les précipitations, majoritairement hivernales et printanières, sont caractérisées par une grande irrégularité inter annuelle et inter-mensuelle.

Le mois le plus froid est janvier (température moyenne minimale 4 C°, température moyenne maximale 8,92 C° à Soumâa et température moyenne minimale 5,1 C°, température moyenne maximale 6,66 C° à Koléa). Les mois les plus chauds sont juillet et août avec des températures moyennes minimales de 26,5C° et 24,8C° et moyennes maximales de 34,8C° et 32,3C° respectivement pour Soumâa et Koléa (figure 15).

La campagne d'étude (2002-2003) est caractérisée par un volume des précipitations de 806,2 mm à Soumâa et 764,4 mm à Koléa ce qui dépasse de près de 120 mm et 102 mm la moyenne des 10 dernières années respectivement pour Soumâa et Koléa. Par ailleurs, la répartition de ces précipitations est irrégulière, car plus de 79 % de pluies sont tombées entre novembre 2002 et février 2003. Les faibles précipitations observées entre juin et octobre, conjointes à l'augmentation des températures et du rayonnement, correspondent à une forte demande évaporative (Gausсен, 1954).



**Figure 15 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен des stations d'études établi sur une période de 10 ans (1993 – 2003)**

## 2. Techniques de prélèvement

L'échantillonnage du peuplement faunistique occupant l'unité de surface définie par la peupleraie a été entamé en septembre 2002 pour s'achever en août 2003, soit une durée de douze mois. L'étude de la dynamique de la zoocénose nous a conduit à retenir un dispositif linéaire (transects). Pour obtenir une collection ordonnée et assez complète dans l'espace et dans le temps, nous avons installé 3 transects d'une centaine de mètres de longueur dans chaque station (figure 16<sub>a</sub> et <sub>b</sub>), chaque 10 m étant défini comme plateau d'observation (Frontier, 1983). A raison d'une sortie tous les 15 jours, nous avons examiné soigneusement

les organes du peuplier (écorce, rameaux, feuilles et galles) appartenant à une catégorie déterminée par la saison et le type d'observation à pratiquer. Au niveau des feuilles et rameaux de chaque arbre échantillonné, nous avons collecté de manière destructive une branche de 20 cm de long, par direction cardinale, et portant une vingtaine de feuille, à une hauteur d'environ 1,80 m. Ainsi, 4 sous-échantillons ont été considérés par arbre.

Nous avons complété ces examens directs par la mise en place de pièges jaunes à eau (à raison d'un piège de 11 x 13cm par arbre, soit 14 assiettes par station placées à 1,50 m du sol) et l'utilisation du filet fauchoir (dont nous avons retenu 5 min comme unité d'effort par arbre, soit près de 4 h d'investigation au total). Tous les prélèvements et observations ont été réalisés à hauteur d'homme, puisque des échantillonnages par strates effectués par Atger, ont montré la bonne représentativité de cette zone de l'arbre (Armande, 1989).

Les spécimens ainsi collectés sont mis dans des flacons contenant du formol à 33%, sont ensuite transférés au laboratoire pour être déterminés et dénombrés. Les diptères n'ont pas été pris en compte à cause des difficultés de l'identification. L'attribution de chaque espèce récoltée à un ou plusieurs compartiments a été décidée selon l'habitat spécifique déterminé visuellement. Par exemple, les spécimens de *Tapinoma nigerrimum* ont été assignés au compartiment feuilles car ils étaient mobiles sur le tronc mais stationnaires sur les feuilles.

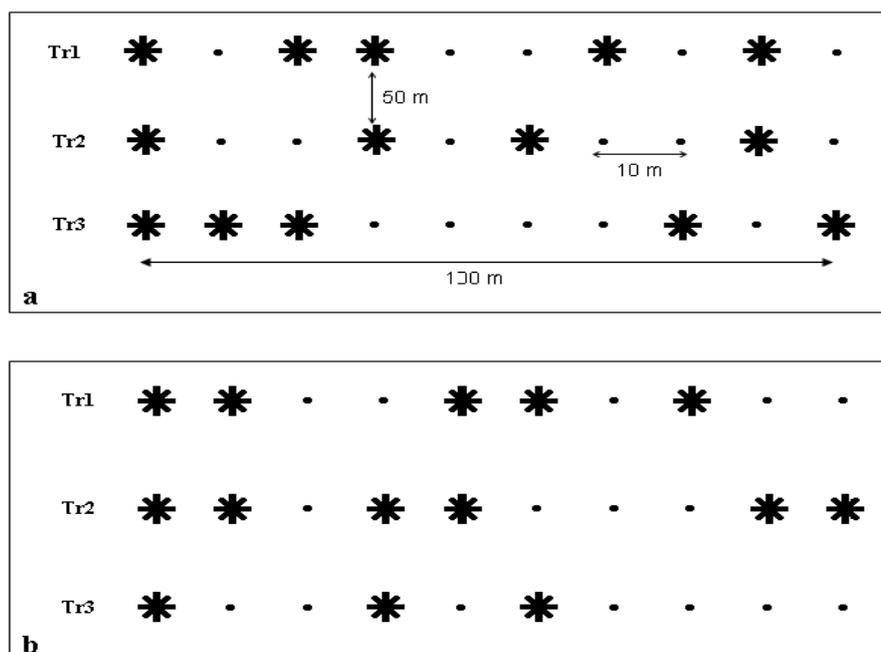


Figure 16 : Dispositif expérimental des stations d'étude (a : Soumâa, b : Koléa)

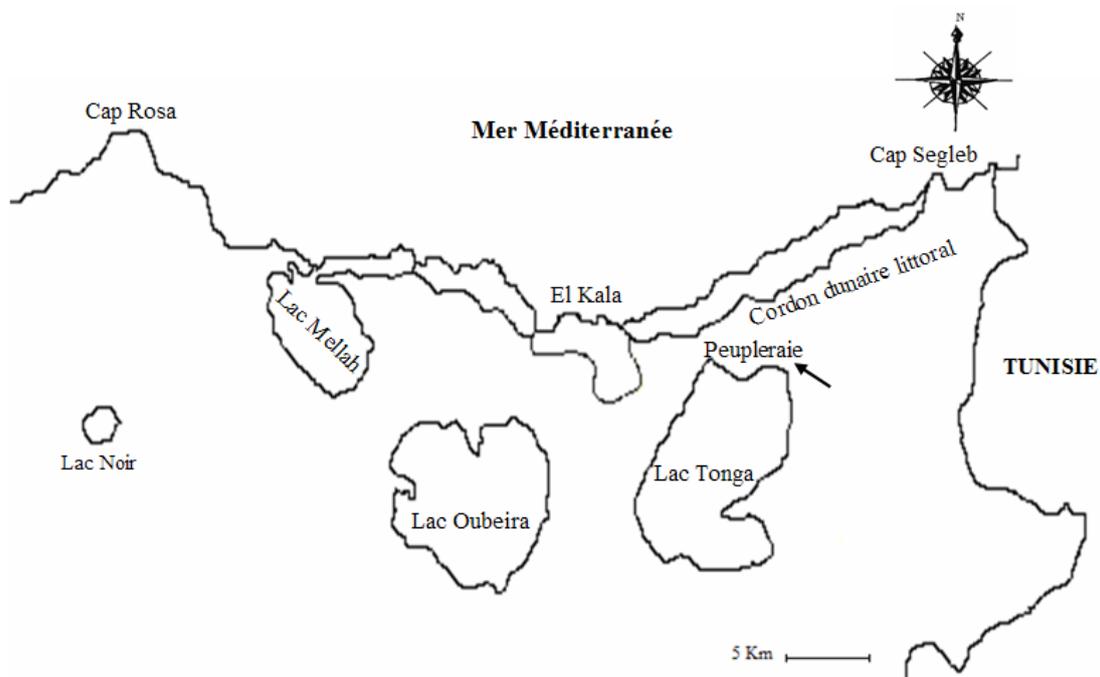
\* : plante hôte de *Populus nigra*, • : places d'observation, Tr : transects

## II. Etudes des effets de la composition minérale et protéique des feuilles de *Populus nigra* et *Populus deltoides* sur la dynamique des populations de *Chaitophorus leucomelas* (Koch, 1854) et *Phyllocnistis unipunctella* (Stephens, 1834) dans la peupleraie naturelle d'El Kala

### 1. Présentation des sites d'étude

L'étude a été menée sur une peupleraie polyclonale naturelle dans le Parc National d'El Kala (Est de l'Algérie). La peupleraie se situe à 22 m au dessus du niveau de la mer à 36° 53' N et 8° 31' E. Elle est limitée par le cordon dunaire littoral et le Lac Tanga qui en recevant, en hiver les eaux des bassins versant de Oued El Hout et Oued El Aroug, transforme cette peupleraie en zone marécageuse (figure 17). Cet écosystème de 32 ha bénéficie d'un climat méditerranéen à tendance sub-continentale (étage sub-humide à hiver frais). Les précipitations, majoritairement hivernales et printanières, sont caractérisées par une grande irrégularité inter-annuelle et inter-mensuelle. Le mois le plus froid est janvier (température moyenne minimale 7,8 C°, température moyenne maximale 15,4C°). Les mois les plus chauds sont juillet et août avec des températures moyennes minimales de 21C° et 22,2C° et moyennes maximales de 30,8C° et 30,3C°.

La campagne d'étude (2003-2004) est caractérisée par un volume des précipitations de 945,8 mm ce qui dépasse de près de 200 mm la moyenne des 10 dernières années. Par ailleurs, la répartition de ces précipitations n'est pas régulière. En effet plus de 82% de pluies sont tombées entre Septembre 2003 et Février 2004. La baisse des précipitations, par la suite, coïncide avec une forte demande évaporative due principalement à l'augmentation des températures et du rayonnement.



**Figure 17 : Situation géographique de la station de prélèvement (Tonga, Taref)**

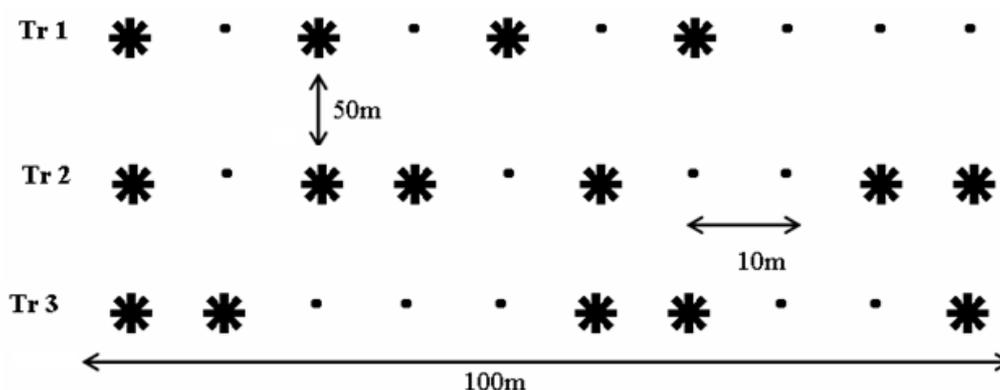
(La flèche noire indique la position de la station de prélèvement)

## 2. Matériel végétal, insectes et dispositif expérimental

Le matériel végétal utilisé au cours de notre expérimentation appartient à deux espèces de peuplier : *Populus nigra* var. *italica* et *Populus deltoïdes*.

Afin d'avoir une collection ordonnée et assez complète dans l'espace et dans le temps, nous avons installé 3 transects dans la station d'étude, selon la méthode des placeaux d'observation (Frontier, 1983). Le dispositif expérimental est présenté dans la figure 18. A partir des 15 arbres retenus dans les placeaux d'observation, nous avons prélevé deux feuilles de chaque point cardinal à un intervalle de 30 jours durant la période d'investigation qui s'est étalée d'août 2003 à juillet 2004.

A partir des feuilles échantillonnées, nous avons dénombré les individus des deux espèces selon leur stade d'évolution. Pour cela, nous avons fait des regroupements de stades larvaires 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> d'une part et 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> d'autre part. En plus de ces formes d'évolution, nous nous sommes intéressés aussi aux œufs, nymphes, chrysalides, ailes et enfin aux adultes



**Figure 18 : Dispositif expérimental de la station d'étude du Lac Tonga**

\* : plante hôte de *Populus* sp., • : placeaux d'observation, Tr : transects

## 3. Prélèvements et dosages

Le matériel végétal prélevé a été réparti en deux lots. Le premier a servi aux dosages des minéraux et le second pour le dosage de plusieurs fractions protéiques.

Pour le dosage de la fraction minérale, une prise d'essai de 2 g de feuilles finement broyées est disposée dans un four à mouffles (Heraeus, Hanau, Germany), à une température de 450°C pendant 4 heures. Les cendres obtenues sont humectées par un mélange eau distillée : acide chlorhydrique (3:1), puis chauffées jusqu'à apparition des premières vapeurs. Après filtration, le papier filtre et son contenu sont incinérés pendant 30 min à 550°C puis repris par 5 ml d'acide fluorhydrique. Le mélange est séché et repris par 1 ml d'acide chlorhydrique concentré puis amené à 100 ml par de l'eau tiède distillée (Martin-Prevel *et al.*, 1984). La solution obtenue est utilisée pour le dosage du Na et K par spectrophotométrie d'émission de flamme, du Ca et Mg par spectrophotométrie d'absorption atomique et le P par colorimétrie.

Deux méthodes ont été utilisées pour l'analyse de la fraction organique, la méthode proposée par Bradford (1976) pour le dosage des protéines solubles et celle de Ammar *et al.* (1995), pour le dosage des protéines hydrosolubles. Ainsi, 3g de matière fraîche foliaire préalablement broyée sont mis dans 5 ml de tampon phosphate (pH=7) contenant du polyvinylpyrrolidone. La précipitation est facilitée par une centrifugation pendant 15 min à 4500 tr/min à -4°C. Le surnageant contenant les protéines pariétales est récupéré dans un autre tube et le culot est dissout dans 5 ml d'eau distillée et à nouveau centrifugé pour éliminer les résidus du tampon phosphate. Le culot est récupéré et redissout dans une solution de tampon phosphate + KCl (pH=7) et à nouveau centrifugé. Le surnageant résultant contenant les protéines cytoplasmiques est récupéré pour le dosage de ces dernières.

Les densités optiques obtenues par le biais d'un spectrophotomètre ( $\lambda=595$  nm) permettent ensuite de calculer la concentration initiale de protéines contenues dans les échantillons au moyen d'une courbe standard effectuée avec une protéine de référence (Ovalbumine) de manière à réaliser une série de dilutions afin d'obtenir les concentrations suivantes de protéines : 0,5 ; 0,25 ; 0,12 ; 0,062 ; 0,031 ; 0,016 et 0,0078 mg/ml).

La répartition spatiotemporelle des populations de *Phyllocnistis unipunctella* et *Chaitophorus leucomelas* a été évaluée par la variance selon la formule suivante (Dajoz, 1985):

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{i=n} (X_i - m)^2$$

Avec :

$X_i$  : Est le nombre des individus dans chaque prélèvement.

$m$  : moyenne de l'ensemble des comptages effectués sur la parcelle pour un échantillonnage.

$n$  : Nombre total d'individus dans chaque prélèvement.

Selon la valeur de la variance les populations sont qualifiées d'une :

-Distribution régulière si  $S^2 / m < 1$

-Distribution aléatoire si  $S^2 / m = 1$

-Distribution agrégative si  $S^2 / m > 1$

-Distribution uniforme si  $S^2 / m = 0$

$S^2$  représente la variance et  $m$  la moyenne des dénombrements par unité de surface. La significativité de la distribution agrégative est donnée par la formule  $(n-1) S^2/m$ ,  $n$  étant le nombre de feuilles étudiées (unité d'échantillon) par rapport à la table du  $\chi^2$ , avec  $n-1$  degrés de liberté.

### III. Etude des effets de la variation qualitative de *Populus nigra* et *Populus deltoides* sur les traits de vies biochimiques de *Chaitophorus leucomelas* (Koch, 1854) dans les régions du littoral (Zéralda) et du sublittoral (Soumâa)

#### 1. Présentation des sites d'étude

Le climat et le sol d'une zone peuvent influencer la qualité des végétaux et donc sur la disponibilité des réserves énergétiques des insectes phytophages via leur alimentation. C'est dans cette optique que nous avons orienté notre étude sur deux régions dans le nord de l'Algérie, précisément les régions littorale (Zéralda) et sublittorale (Soumâa) (figure 19).

La région de Soumâa est située au piémont de l'Atlas Blidéen à 7 Km de la ville de Blida, à une altitude de 80 à 100m, une longitude de 2°45' et une latitude de 36° 35' (Loucif et Bonafonte, 1977).

Cette région bénéficie d'un climat méditerranéen à variante sub-humide. Nous avons pu constater également une irrégularité dans la pluviométrie en fonction des années, et aussi en fonction des mois de la même année. Ainsi avec 98,42 mm, le mois de février est le plus humide alors que, le mois de juillet s'érige comme étant le plus sec avec seulement 0,8 mm en moyenne. Sur le plan thermique, le mois le plus froid est celui de janvier (température moyenne minimale de 4,27°C et une température moyenne maximale de 17,08°C, tandis que les plus chauds sont juillet et août (avec respectivement 32,94°C et 34,29°C comme température moyenne maximale et, 17,52°C suivie de 17,39°C comme température moyenne minimale).

La région de Zéralda est une commune de la Wilaya d'Alger, située au nord de l'Algérie, et délimitée par Douaouda au nord-est, par les communes de Staoueli et Souidania et au sud-est par la commune de Mahelma.

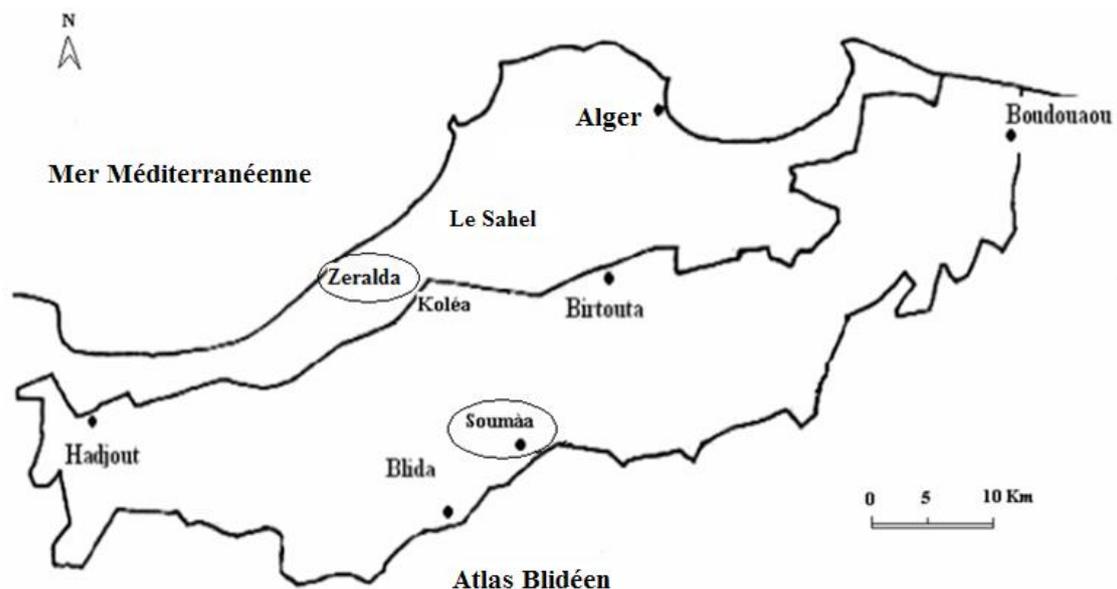


Figure 19 : Situation géographique des stations de prélèvement (Zéralda et Soumâa)

(Le cercle noir indique la position de la station de prélèvement)

## 2. Matériel végétal, insectes et dispositif expérimental

Pour notre étude, nous avons eu recours aux individus printano-estival de *Chaitophorus leucomelas*, prélevés en même temps que le matériel végétal (feuilles) sur les peupliers noirs (*Populus nigra* et *Populus deltoïdes*) dans les régions de Soumâa et de Zéralda pendant les mois de mai, juin, et juillet.

Nous avons eu recours au dispositif proposé par Frontier (1983) compte tenu des objectifs visés. C'est un dispositif linéaire d'une centaine de mètres de longueur, sur ce transect et tous les 10 mètres, ont été définis des placeaux d'observation "les positions". Dans chaque station d'étude nous avons installé 2 transects, ces derniers sont à 60 mètres et 30m, les uns des autres (figure 20).

## 3. Technique de prélèvements

Pour une étude ponctuelle, la technique de dénombrement effectuée sur les arbres obtenus par le biais des placeaux d'observation, consiste à prélever deux feuilles de chaque point cardinal à un intervalle de 20 jours durant la période d'investigation qui s'est étalé du 21 mai au 12 juillet 2008.

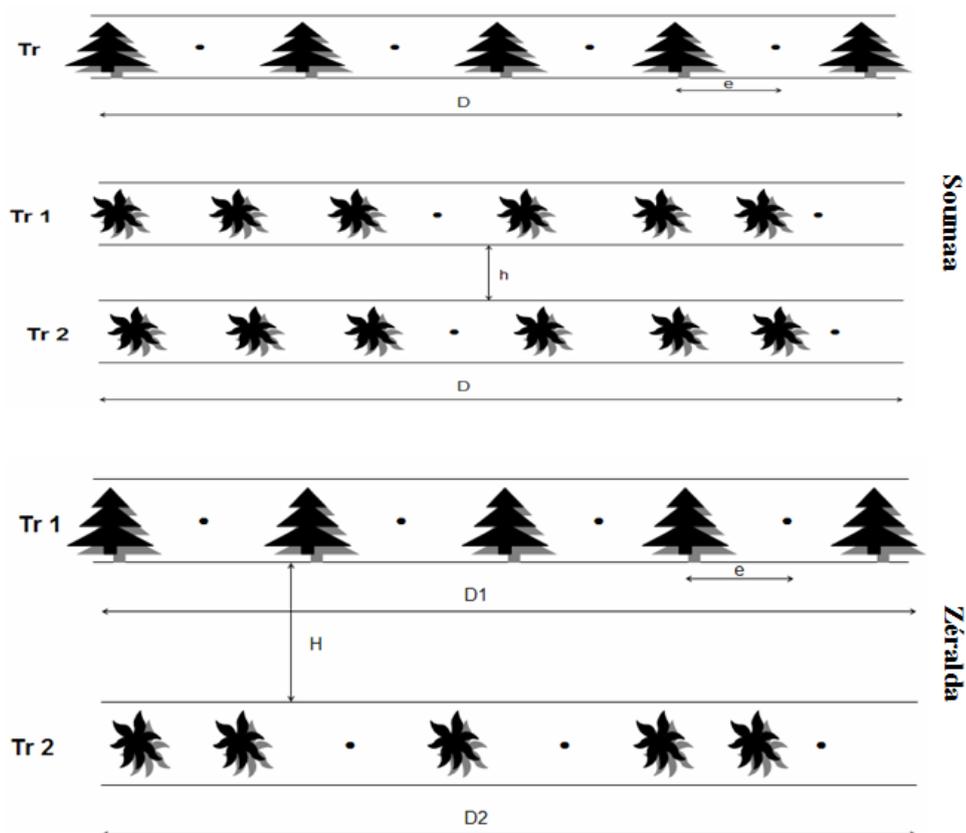


Figure 20 : Dispositif expérimental des stations d'étude (Zéralda et Soumâa)

 Essence de *Populus nigra*  Essence de *Populus deltoïdes*

• : placeaux d'observation, Tr : transects

D : 100 m, D1 : 80 m, D2 : 50 m, e : 5 m, H : 60 m, h : 30 m,

L'observation et l'identification des femelles de *Chaitophorus leucomelas* sont effectuées au laboratoire par examen sous la loupe binoculaire. Après quoi 720 femelles sont prélevées durant chaque sortie, pesées et déposés dans des tubes eppendorf de 1,5 ml (préalablement tarée), conservées à -20°C pour d'éventuel traitement ultérieur. Il est à noter qu'on rassemble 10 individus dans chaque tube eppendorf.

Après avoir prélevé les pucerons, les feuilles de *Populus nigra* et de *Populus deltoïdes* sont soit mises à sécher, soit conservées par réfrigération.

#### 4. Extraction et dosages

##### 4.1. Extraction et dosage des réserves énergétiques

A partir des pucerons échantillonnés, nous avons quantifié les biomarqueurs lipidiques et les biomarqueurs glucidiques.

L'extraction et la quantification des réserves lipidiques ont été réalisées selon la méthode de Van Brummelen et Suijzand (1993). Selon ces auteurs, les lipides étant les macromolécules les plus hydrophobes (caractéristique chimique unique des lipides), ils peuvent être extraits sélectivement au moyen de solvants organiques. Un mélange monophasique 1:2:0,8 (chloroforme : méthanol : eau bidistillée) est versé dans les tubes contenant les pucerons et est utilisé comme solution d'extraction.

Les tubes sont ensuite mis à centrifuger pendant 5 minutes à (14772 tours/min) pour agiter le tout, puis on rajoute du chloroforme dans chaque tube, ce qui induit la séparation du mélange en deux phases. L'opération de séparation des lipides est répétée à nouveau deux fois avec du chloroforme et ces solutions de chloroforme contenant les lipides sont récupérées et mises en commun, puis séchées sur sulfate de sodium. Les lipides sont récupérés après rinçage du sulfate de sodium avec du chloroforme.

Chaque tube en verre est alors mis à évaporer à sec sous flux d'azote. On rajoute ensuite de l'acide sulfurique dans chaque tube que l'on met à chauffer pendant 10 min à 100°C. On laisse refroidir les échantillons jusqu'à ce qu'ils atteignent la température ambiante, et on rajoute le réactif vanilline dans chaque échantillon. La solution prend alors une couleur rose, et on lit la densité optique à 540nm au bout de 10 minutes.

Le blanc est obtenu à partir d'une série de concentrations du cholestérol mélangé à l'acide sulfurique et au réactif de vanilline (tableau 2).

Tableau 2 : Méthode suivie pour l'obtention de la courbe standard de cholestérol

Solution mère (ml)	µg de cholestérol dans le volume pris et mis dans le tube en verre	Concentration du cholestérol (µg/ml) dans la solution finale de 2.8 ml (contenant l'acide sulfurique et la réactive vanilline)	Densité optique moins le blanc, à 540 nm au bout de 10 minutes
5,60	280	100	2,4993
2,80	140	50	1,3265
1,40	70	25	0,7262
0,70	35	12,50	0,3484
0,35	17,50	6,25	0,2106
0,17	8,75	3,12	0,1221

Pour l'extraction et la quantification des réserves glucidiques, nous avons eu recours à la méthode de Win Decoen (2000). L'auteur signale que l'extraction et le dosage des sucres chez les insectes se font généralement à partir de l'hémolymphe. Dans notre dosage, du fait de la petite taille des pucerons, les sucres sont extraits à partir des insectes dans leur totalité.

Les échantillons sont homogénéisés dans de l'eau bidistillée avec un broyeur, puis de l'acide trichloroacétique (T.C.A. 15%) est ajouté afin de faire précipiter les protéines. La précipitation est facilitée par une centrifugation pendant 10 minutes à 3000 r.p.m. à 4°C.

Le surnageant contenant les sucres est récupéré dans un autre tube eppendorf et le culot est redissous dans une solution de T.C.A. 5%. Les échantillons sont à nouveau centrifugés pour précipiter les protéines restantes et le surnageant en résultant est ajouté au surnageant précédent. 250 µl de solution contenant les surnageants sont versés dans un tube eppendorf; auquel sont ajoutés rapidement 250 µl de phénol 5% et 1 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Le mélange est déposé dans un puits d'une microplaque à la lumière et la température ambiante. L'adsorption des échantillons est mesurée après 30 minutes à 490 nm.

Le blanc est obtenu à partir d'une solution mère de glucose à 0,5mg/ml (5 mg de glucose dans 10 ml d'eau distillée), dont on effectue une série de dilutions afin d'obtenir les concentrations suivantes de glucose : 0.5, 0.25, 0.12, 0.062, 0.031, 0.016 et 0.0078 mg/ml.

#### 4.2. Extraction et dosage des principes actifs des feuilles

##### - Extraction et dosage des sucres totaux

Les sucres solubles totaux sont dosés par la méthode de Dubois *et al.* (1956). La matière végétale est mise en contact avec de l'éthanol à 80% durant 48 heures à une température ambiante. Le dispositif est mis à l'étuve à 80°C afin d'évaporer l'alcool, puis on ajoute 20 ml d'eau distillée au résidu. Une fraction de 2 ml de la solution obtenue est additionnée au phénol à 5%, l'acide sulfurique concentré 96 %, puis homogénéisé au vortex, après 10 min; on les place au bain- marie à une température de 30°C pendant 20 min; la lecture de la densité optique se fera à 485 nm au bout de 10mn.

Les valeurs obtenues sont reportées sur la gamme étalon, à l'aide de l'équation suivant :

$$Y = 4,3918 X - 0,1946$$

##### - Extraction et dosage de la proline

La méthode suivie est celle de Troll et Lindsley (1955), simplifiée et mise au point par Dreir et Goring (1974), qui à partir de matière végétale fraîche mélangée au méthanol est chauffée à 85°C pendant 60 min. Après refroidissement, on ajoute à l'extrait de l'acide acétique, de la ninhydrine et un mélange d'eau distillée, d'acide acétique et d'acide orthophosphorique (0,4 : 1 : 0,26) ; l'ensemble est porté à ébullition pendant 30 min au bout desquelles la couleur vire au rouge. Après refroidissement, l'addition du toluène induit la séparation de la solution en deux phases: la phase supérieure contenant la proline est récupérée, à laquelle on ajoute du Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> et on lit la densité optique à 528 nm.

Les valeurs obtenues sont converties en teneur de proline à partir de courbe étalon dont la relation est la suivante :

$$Y = 0,1043 X$$

- *Extraction et dosage des flavonoïdes*

Lebreton *et al.* (1967) préconisent après le broyage du matériel végétal sec une hydrolyse à l'HCl (2N) dans un bain marie bouillant pendant 40 minutes avec insufflation d'air toutes les 10 minutes, l'oxygène permettant l'oxydation des proanthocyanidine en anthocyanidine correspondantes ; après refroidissement de l'hydrolysate, on extrait dans une ampoule à décanter à deux reprises par l'éther diéthylique, les aglycones flavoniques.

La phase aqueuse (phase inférieure) de couleur rouge orange selon les échantillons contient les anthocyanes, nous mesurons son volume total puis nous dosons ces substances à 540 nm.

L'épiphase étherée (phase supérieure) récupérée est traitée un peu plus tard.

La phase qui contient les anthocyanes est ensuite reprise au n-butanol, la phase butanolique (phase supérieure) obtenue est de nouveau concentrée à deux reprises par de l'HCl (2N), elle contient les C-glycosyl-flavones.

Une fois le volume des C-glycosyl-flavones mesuré, nous procédons au dosage de ces composés à 365 nm.

La teneur des C- glycosides, et des anthocyanes sont calculés par la même formule

$$T(\text{mg} / \text{g}) = \eta \cdot \frac{DO}{\varepsilon} \cdot M \cdot V \cdot \frac{d}{p}$$

En utilisant les constantes suivantes pour les anthocyanes :

DO : densité optique à 540 nm

$\eta$ : facteur correctif qui tient compte du rendement de transformation des proanthocyanes en anthocyanes et qui égal à 6

$\varepsilon$ : coefficient d'absorption molaire égal à 34 700

M: masse molaire de la Procyanidine égale à 306 g

V: volume de la phase aqueuse mesuré après hydrolyse

d : facteur de dilution

P: poids sec du matériel végétal égal à 0.5 g

T: teneur absolue des anthocyanes en mg/ g de matière végétale sèche.

Et les constantes ci après pour les C- glycosides

DO : densité optique à la longueur d'onde égale à 365 nm

$\varepsilon$ : coefficient d'absorption molaire égal à 18 850

M : masse molaire d'un C-glycoside égal à 448 g

V : volume de la phase butanolique mesurée après concentration à l'HCl (2N)

d : facteur de dilution

p : poids sec du matériel végétal égal à 0.5 g

T : teneur absolue exprimée en mg / g de matière végétale sèche.

#### 4.3. *Mesure du contenu relatif en eau*

Plusieurs paramètres permettent de quantifier l'état hydrique des plantes soumises à un déficit hydrique. Parmi ces paramètres, citons le pourcentage d'hydratation, le contenu relatif en eau, le pourcentage d'imbibition (Ben Naceur, 1994).

Nous avons choisi le contenu relatif en eau qui exprime la quantité d'eau présente en pourcentage de la quantité mesurée à saturation. Il permet donc une évaluation physiologique de l'état hydrique du végétal au même titre que le potentiel hydrique.

La prise en compte de la quantité d'eau dans cette étude a pour objectif de savoir si cet état de stress de manque d'eau va influencer les constituants biochimiques des feuilles infestées par les pucerons, notamment les productions par la plante en proline et en flavonoïdes, lesquelles vont conditionner la densité de ces opophages.

L'estimation du contenu relatif en eau se fait par la formule suivante:

$$CRE = (PF - PS) \cdot 100 / (PSat - PS)$$

Avec

PF : Poids Frais,

PS : Poids Sec,

PSat : Poids à la saturation.

Le poids frais est déterminé par pesée de la feuille immédiatement après son prélèvement. Le poids à la saturation est obtenu en plaçant la feuille dans l'eau distillée pendant 24 heures. Le poids sec est obtenu en plaçant la feuille à l'étuve jusqu'à la stabilité de ce dernier.

Pour chaque sortie considérée, nous avons pesé ensemble toutes les feuilles prélevées (non infestées et infestées, mais sans les pucerons) à l'état frais puis à l'état sec.

## **IV. Etude des effets des variations thermiques sur les traits de vies biochimiques et pondéraux de *Chaitophorus leucomelas* (Koch, 1854)**

### *1. Zonage topographique, bioclimat et climatologie des régions d'étude*

L'étude a été réalisée dans 3 sites différemment distants de la mer à savoir :

**La commune de Dar-El-Beida** est située au cœur de la Wilaya d'Alger, à une altitude de 24 m, une longitude de 03°15' et une latitude de 36° 43' (Kechroud, 1996).

**La région de Soumâa** est située au piémont de l'Atlas Blidien à 7 Km de la ville de Blida, à une altitude de 80 à 100 m, une longitude de 2°45' et une latitude de 36° 35' (Loucif et Bonafonte, 1977).

**Gouraya** est une ville côtière située à l'ouest de la Wilaya de Tipaza à environ 60 Km du chef lieu de la Wilaya et à 120 Km de la capitale Alger. Elle s'étale sur une superficie de 2219 km<sup>2</sup> vers le sud elle est limitée par les monts du Dahra et Zaccar (Myers et Cowling, 1999).

Le climat de la région d'étude est de type méditerranéen 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 (Nedjraoui, 2003 *in* Allal – Benfekih, 2006),

Par ailleurs, la diminution de la pluviosité du littoral vers les régions sahariennes est due à la grande distance traversée par les dépressions, lesquelles doivent affronter sur leur parcours les deux chaînes atlasiques. En outre, il existe un gradient altitudinal universel qui varie en fonction de l'éloignement de la mer. De novembre à décembre, les pluies sont importantes et l'Atlas Tellien est plus arrosé que le littoral et les Hauts Plateaux. En été, les pluies sont rares et se produisent davantage sur le littoral que partout ailleurs. En automne, le régime des pluies est quasiment le même sur l'Atlas Tellien et les Hauts Plateaux.

La moyenne des températures minimales (m) du mois le plus froid est comprise entre 0 et 9 °C dans les régions littorales et entre - 2 et + 4 °C dans les régions semi-arides et arides. En hiver, les Hauts Plateaux steppiques sont plus froids que l'Atlas Tellien, le littoral et le Sahara. Le mois de janvier est le plus froid de l'année. Il est à noter la grande amplitude de variation de la température (8,7°C) en allant du nord au sud.

En été, les températures restent assez voisines. La moyenne des températures maximales (M) du mois le plus chaud varie avec la continentalité (Nedjraoui, 2003 *in* Allal – Benfekih, 2006). Elle est de 28°C à 31°C sur le littoral, de 33°C à 38 °C dans les Hautes Plaines steppiques, et supérieure à 40°C dans les régions sahariennes. On peut dire qu'en été le climat de l'Atlas Tellien ne se différencie pas fortement de celui des Hauts Plateaux.

En été et en hiver, le littoral jouit de l'effet adoucissant de la mer, mais cet effet s'estompe dès que l'on pénètre de quelques kilomètres à l'intérieur des terres.

Dans ce qui suit nous relatons pour les 3 localités d'étude les principaux paramètres climatiques que nous avons pu synthétiser d'après l'Agence National des Ressources Hydrauliques de Soumâa.

Les précipitations de la région de Dar El Beida, sont caractérisées par une grande irrégularité inter annuelle et inter mensuel. On remarque un fort changement compris entre plus de 282 mm et moins de 803 mm. Les mois les plus froids sont janvier et février (température moyenne minimale 5,0 C°). Les mois les plus chauds sont juillet et août avec des températures moyennes maximales de 32,7C° (figure 21<sub>a</sub>) (Anonyme, 2007).

A Soumâa, les précipitations sont caractérisées par une grande variabilité variant entre plus de 380 mm et moins de 787.88 mm et ont lieu durant l'hiver et le printemps. Les mois les plus froids sont janvier et février (température moyenne minimale de 4,27 C°, température moyenne maximale 17,08C°). Les mois les plus chauds sont juillet et août avec des températures moyennes minimales respectives de 17,52 C° et 17,53 C° et moyenne maximales de 32,94°C et 34,29 C° (figure 21<sub>b</sub>) (Anonyme, 2007).

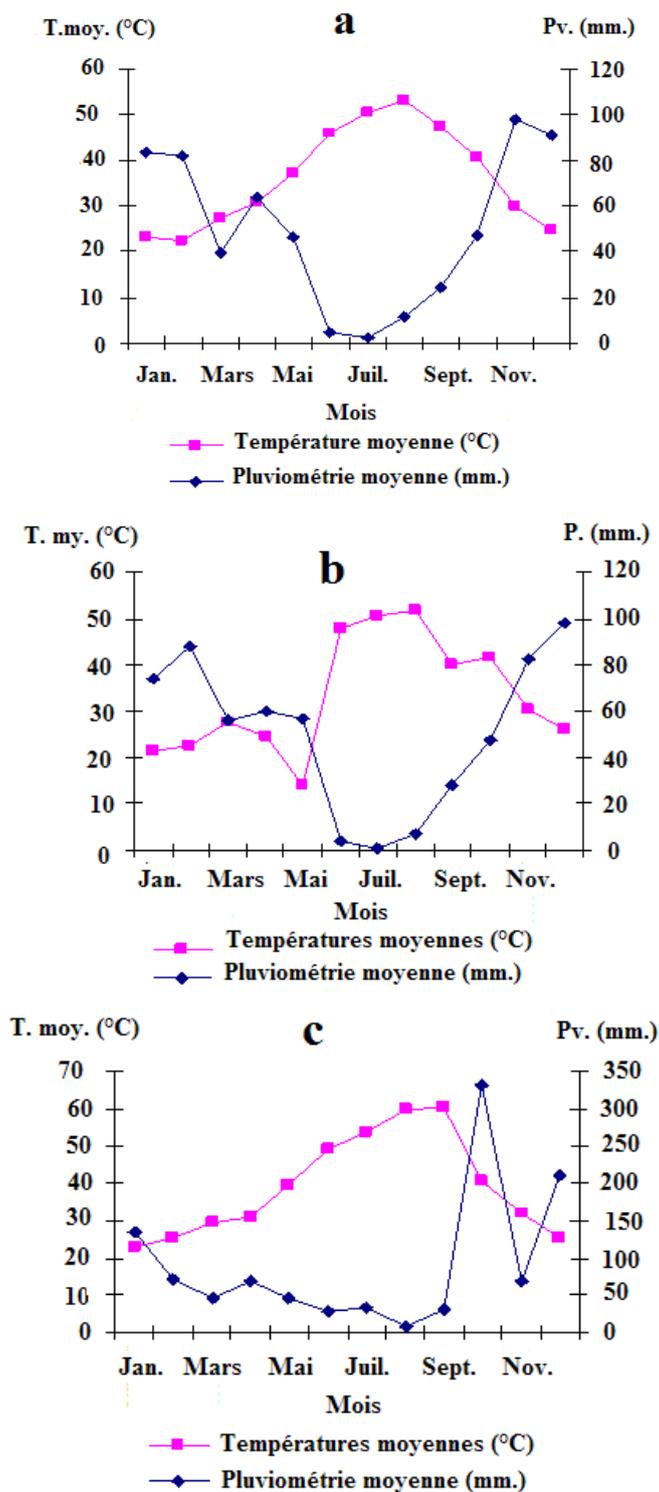


Figure 21 : Diagramme ombrothermique des régions durant la décennie (1996-2006)

a : de Dar El Beida, b : Soumâa, c : Gouraya

Les précipitations de la région de Gouraya sont déterminées par une grande variation allant de 275 mm et moins de 700 mm. Les mois les plus froids sont janvier et février (température moyenne minimale 5,07 C°, température moyenne maximale 18,41 C°). Les mois les plus chauds sont juillet et août avec des températures de 30,1°C à 33,6 C° (figure 21c) (Anonyme, 2007).

Selon Bagnouls et Gaussen (1953 in Dajoz, 1985), le mois sec est défini par la somme des précipitations moyennes exprimées en (mm) est inférieure ou double de la température de ce mois ( $P/2 > T$ ). Pour mettre en valeur cette définition, ils ont proposé un modèle de présentation graphique dont on juxtapose les précipitations et les températures lorsque la courbe des précipitations rencontre celle des températures et passe en dessous de cette dernière.

Les présentations graphiques stipulent qu'avec l'augmentation des températures moyennes selon un gradient dépendant de la période sèche dans les sites de Gouraya, Dar El Beida et Soumâa avec des durées respectives de 9 mois, 7 mois et 6 mois.

## 2. Technique de prélèvements

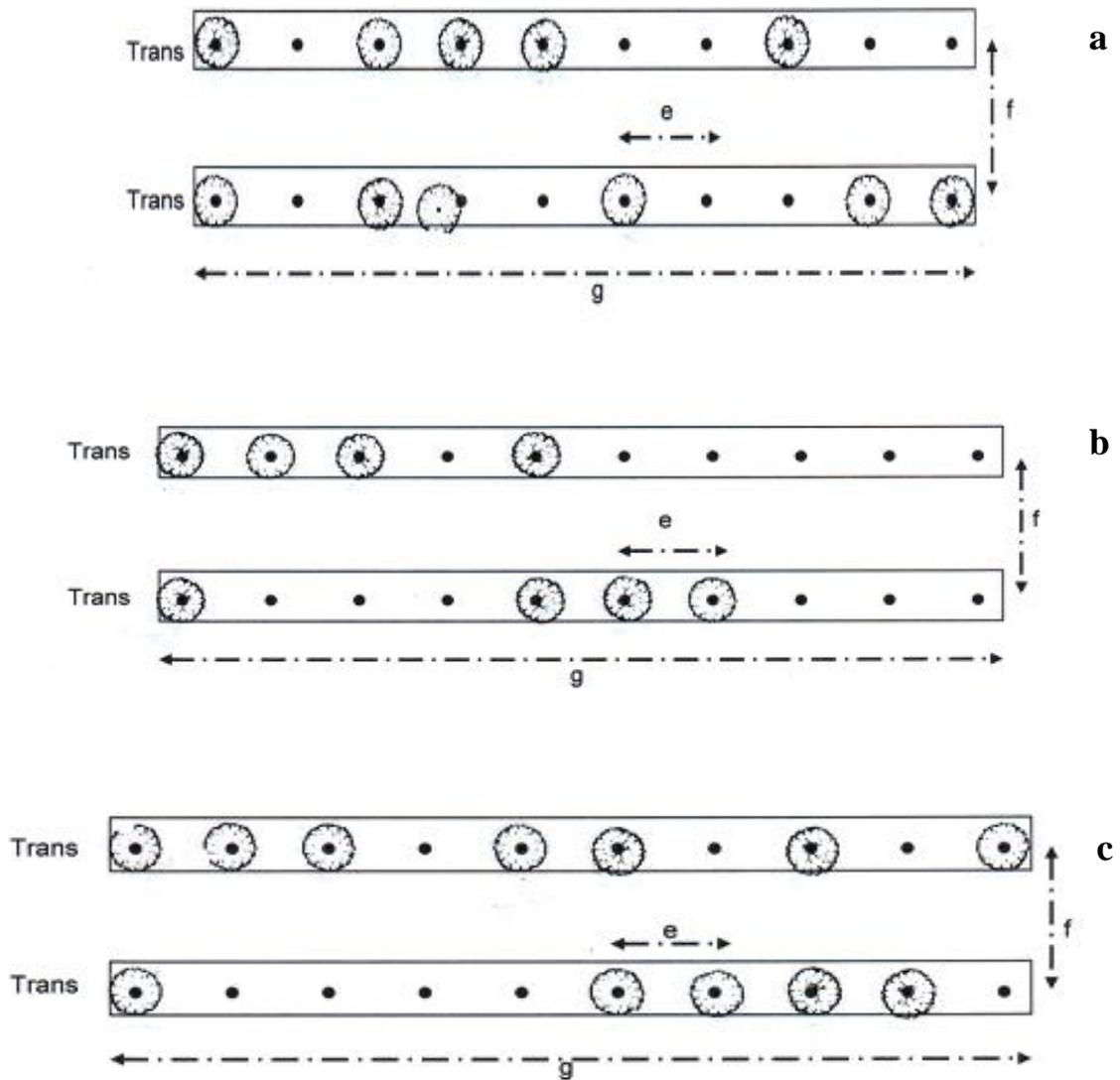
Le matériel biologique destiné pour notre essai s'est limité aux femelles vierges et sexuées de *Chaitophorus leucomelas* prélevées sur peuplier noir *Populus nigra* dans les régions de Soumâa, Gouraya et Dar El Bieda durant deux périodes, à savoir la période automno-hivernale et la période printano-estivale.

Le dispositif linéaire à placeaux d'observation "les positions" proposé par Frontier (1983) a été adoptée. La technique de dénombrement effectuée sur les 31 arbres obtenus par le biais des placeaux d'observation (figure 22<sub>a</sub>, <sub>b</sub> et <sub>c</sub>) consiste à prélever deux feuilles de chaque point cardinal à un intervalle de 30 jours durant les deux périodes d'investigation.

L'observation et l'identification des sexués et des femelles vierges de *Chaitophorus leucomelas* sont effectuées au laboratoire par examen sous la loupe binoculaire, où 10 femelles sont prélevées durant chaque sortie, pesées et déposés dans des tubes eppendorf de 1,5 ml (préalablement tarée), conservées à -20°C pour d'éventuel traitement ultérieur.

## 3. Extraction et dosages

L'extraction et le dosage des réserves énergétiques (lipides et sucres) ont été réalisés selon les méthodes de Win Decoen (2000) et de Van Brummelen et Suijzand (1993) décrites plus haut (voir section III.4).



**Figure 22 : Schéma du dispositif expérimental des stations d'étude**

a : de Dar El Beida, b : Soumaa, c : Gouraya

• : placeaux d'observation, **Trans** : transects,  $g$  : 100 m.,  $F$  : 50 m.,  $e$  : 10 m.

## V. Etude des effets des doses de l'Oxamyle (pesticide) sur les traits de vies biochimiques et pondéraux de *Phloeomyzus passerinii* (Signoret, 1875)

### 1. Matériel biologique et produit phytosanitaire

L'unité biologique soumise au test est représentée par les femelles virginogènes du puceron lanigère du peuplier *Phloeomyzus passerinii*.

Les femelles virgines ont été soumises à l'Oxamyle, c'est une matière active à activité insecticide, nématocide et acaricide systémique ; celle-ci appartient à la famille des carbamates dotée de propriétés systémiques (véhiculée dans le xylème et le phloème) permettant au produit de migrer dans le système racinaire. Les doses retenues sont des dilutions obtenues en progression géométrique de raison 2. Les doses arrêtées sont : Dose normale (dose prescrite) (20µl/l) et la demi-dose (10µl/l).

### 2. Modèle expérimental et prélèvements

Sur des boutures de *Populus nigra* var. *italica*, infestées préalablement par des femelles de *P. passerinii* deux traitements à l'aide d'un pulvérisateur à main ont été appliqués correspondant aux applications des doses objet de notre étude : dose normale et demi-dose. Le témoin correspond à une application d'eau distillée stérile selon les mêmes techniques à la place du produit phytosanitaire.

Les différents traitements étudiés ont été répartis en deux blocs aléatoires complets avec cinq répétitions pour chaque traitement. Deux plantes de chaque bloc (traité et témoin) sont prélevées tout 3h, 24h et 72h (figure 23).

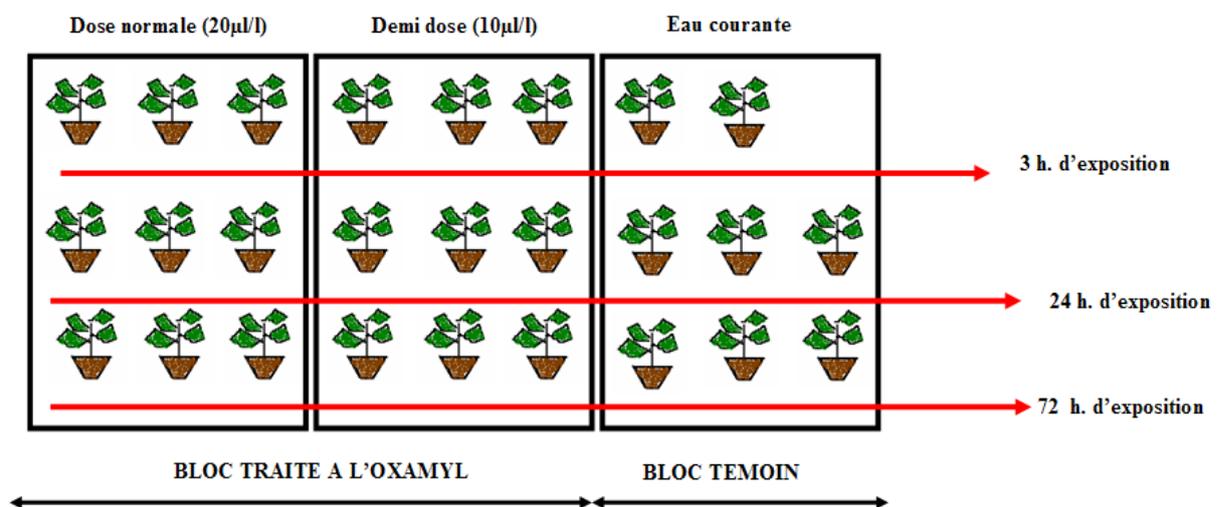


Figure 23 : Schéma du dispositif expérimental de l'effet dose

Dans le but d'extraire les femelles de *P. passerinii*, le tronc des boutures est dilacéré avec des aiguilles entomologiques sous loupe binoculaire. Dix femelles sont prélevées de chaque tronc, pesées et déposées dans des tubes Eppendorf de 1,5 ml (préalablement tarée), conservées à -20°C pour d'éventuel traitement ultérieur.

## VI. Effet des matières actives des pesticides sur la biocénose associée à *Chaitophorus leucomelas* sur *Populus nigra*

### 1. Matériel biologique et produit phytosanitaire

Les arthropodes évoluant sur peuplier noir *Populus nigra* dans la région de Soumâa durant la période printano-estivale ont été soumis à deux modes de stress chimique (exposition à long terme et exposition à un mélange de matières actives). D'une part, l'Oxamyle à 240g/l. est dotée d'une action systémique exceptionnelle : un mouvement descendant vers les racines en cas d'application foliaire. C'est une matière active préconisée pour lutter efficacement contre les insectes (pucerons, thrips, mouches blanches, mineuses...). D'autre part, le Carbosulfan 25%, c'est une matière active à effet insecticide systémique sous forme de liquide concentré émulsionnable (EC)

### 2. Modèle expérimental et prélèvements

L'étude a été menée sur une peupleraie monoclonale artificielle dans la plaine de la Mitidja (zone sublittorale). La région bénéficie d'un climat méditerranéen à tendance sub-continentale. Les précipitations, majoritairement hivernales et printanières, sont caractérisées par une grande irrégularité inter-annuelle et inter-mensuelle. Le mois le plus froid est janvier (température moyenne minimale 7,8 C°, température moyenne maximale 15,4C°). Les mois les plus chauds sont juillet et août avec des températures moyennes minimales de 21C° et 22,2C° et moyennes maximales de 30,8C° et 30,3C°.

Pour avoir une collection de matériel biologique homogène, nous avons retenu 3 blocs expérimentaux représentés par des transects végétaux qui vont former ultérieurement les zones d'investigations (figure 24).

L'évaluation du stress chimique a été concrétisée par l'apport des traitements phytosanitaires selon la procédure suivante :

- **Bloc traité par un mélange**, dans ce transect, les peuplements de la biocénose de *P.nigra* ont subi un traitement phytosanitaire par un mélange de deux matières actives (Carbosulfan 25 % et Oxamyle à 240g/l). L'application a été réalisée le 7 mai 2008. Le suivi des populations a été réalisé au bout de 14 jours période relative au délai avant récolte (D.A.R.) de la matière active la plus rémanente.

- **Bloc traité par une matière active**, dans ce transect, les peuplements ont subi un traitement phytosanitaire par une seule matière active (Oxamyle à 240g/l) de façon à maintenir le produit durant une période s'étalant sur 21 jours. La première application a été réalisée le 7 mai 2008 suivi par deux autres applications espacées d'une semaine. Le suivi des populations a été réalisé chaque semaine période relative au délai avant récolte (D.A.R.) de la matière active mise en application.

- **Bloc témoin**, dans ce dernier, les peuplements ont subi une pulvérisation à l'eau courante. Le suivi des populations a été réalisé selon les prélèvements effectués au niveau des autres blocs traités.



**Figure 24: Dispositif expérimental de la station d'étude désignant les blocs de traitements**

Nous sommes proposé d'effectuer un prélèvement avant et après application des traitements phytosanitaires, selon les objectifs retenus par l'étude durant la période printano-estivale.

L'appréciation de la richesse spécifique de la biocénose associée à *C. leucomelas* sur *P. nigra* sous l'effet des traitements phytosanitaires nous a conduit à réaliser des prélèvements par piégeage. Pour cela nous avons été emmené à installer des pièges jaunes à eau. Afin de rentabiliser les captures, les pièges ont été installés à des hauteurs variables (50 cm du sol, 100 cm du sol et 150 cm du sol). Les pièges ont été remplis d'un mélange eau courante, formol à raison de (2 :1) afin de préserver les insectes piégés et faciliter la détermination. Le contenu des pièges est récupéré selon le calendrier des traitements phytosanitaires adopté pour cette étude.

## VII. Analyses statistiques

### 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 (classes de précipitations, classes d'altitude, type de végétation, présence-absence de mauvaises herbes, 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. Lorsque plus de 2 modalités interviennent par facteur, nous avons appliqué en outre le test de Tukey qui intervient après l'ANOVA. Il permet de vérifier la significativité de la variable d'intérêt entre toutes les combinaisons des modalités. Si par exemple, il y a 3 classes de précipitations, on compare la variable entre les classes 1 et 2, puis 1 et 3, et enfin 2 et 3.

Dans les cas où aucune transformation ne parvient à normaliser la distribution, une analyse de variance en condition non paramétrique a été effectuée (test de Kruskal-Wallis).

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.). Par exemple, si on désire connaître l'effet des facteurs A, B et C et seulement l'interaction entre A et C, il suffit de sélectionner explicitement ces 4 catégories.

### 2. Corrélations-régressions (SYSTAT vers. 12, SPSS 2009 et Excel™)

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.

Pour enlever l'effet d'une variable quantitative  $C$  corrélée à une variable d'intérêt  $V$ , on calcule l'équation de la droite de régression ( $y = ax + b$ ) puis les résidus de cette régression. Ces résidus sont calculés en retranchant les valeurs réelles ( $V_i$ ) de la variable d'intérêt aux valeurs prédites par l'équation de la droite. On a donc : Résidu ( $i$ ) =  $V_i - (aC_i + b)$ .

### 3. Analyses multivariées (PAST vers. 1.37, Hammer et al., 2001)

Dans le cas de variables de type présence-absence, les relations multivariées sont étudiées à l'aide d'une analyse factorielle des correspondances en composantes principales (A.C.P.) (Ter Braak et Prentice, 1988). Dans cette analyse, les espèces sont groupées selon leur groupe fonctionnel ou leur guild. A partir des trois premiers axes de l'analyse factorielle, une classification ascendante hiérarchique des espèces est réalisée dans le but de détecter des discontinuités inter-communautés.

## CHAPITRE III. RESULTATS

### I. Etude de la variation spatio-temporelle des groupes fonctionnels de l'entomocénose de *Populus nigra* L. dans la plaine de Mitidja

#### 1. Dimension de l'échantillon et composition taxonomique

Au total, 6 707 individus appartenant à 73 espèces réparties dans 35 familles ont été collectés dans les deux stations d'études. La classe des *Hexapoda* a dominé la classe des *Arachnida* avec un total respectif de 55 et 18 espèces. Les ordres qui constituent la plus grande partie de cette investigation sont les *Hemiptera*, les *Hymenoptera*, les *Coleoptera*, et les *Araneae*. Sur la base de la connaissance du régime alimentaire et donc la place trophique, espèces se répartissent dans les 4 compartiments inventoriés au niveau de l'arbre (tableau 3 et annexe I). En conséquence, les peuplements seront d'abord analysés de manière globale puis compartiment par compartiment, le compartiment des feuilles étant le plus riche avec près de la moitié des espèces.

**Tableau 3 : Richesse spécifique des zoocénoses des quatre compartiments**

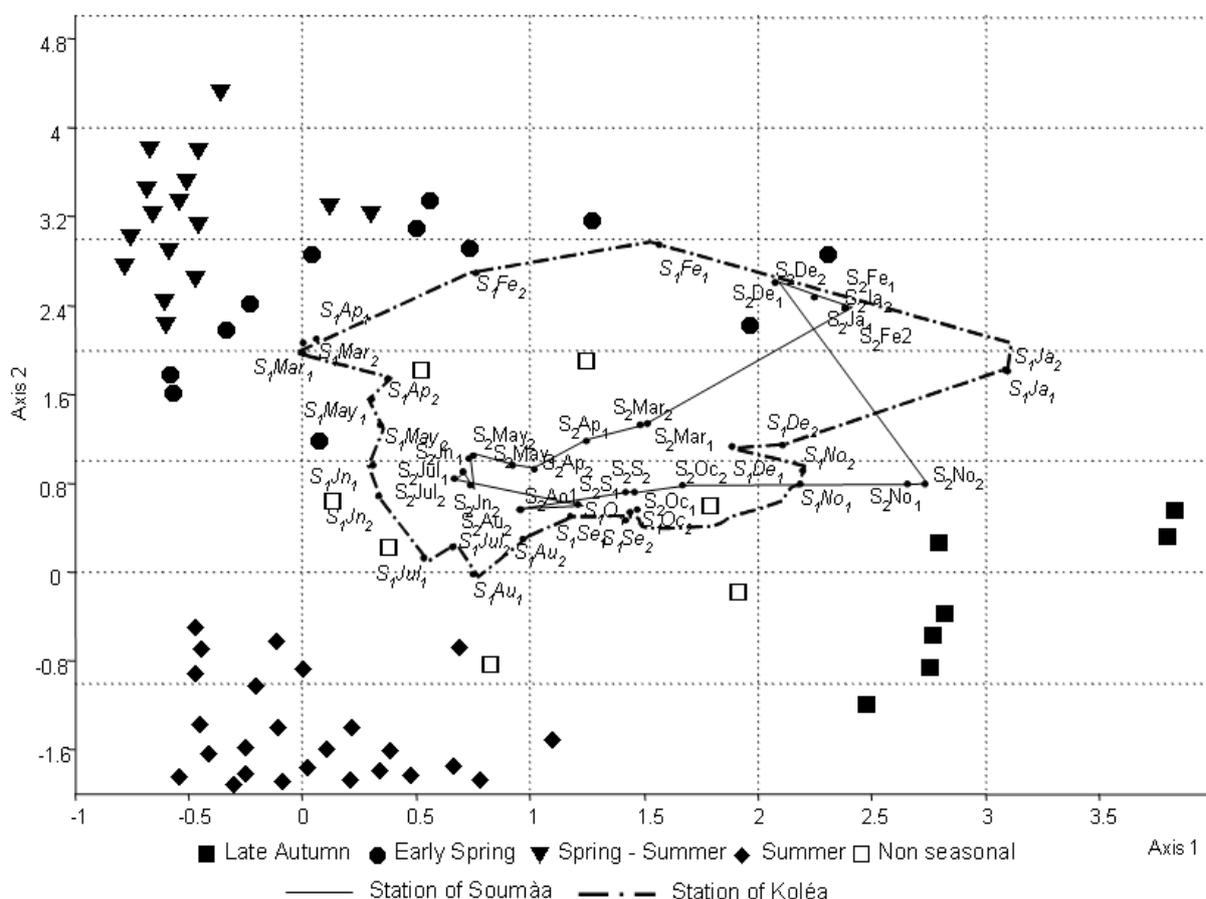
	Consommateur I	Consommateur II	Consommateur III	Trophobiontes	Total
<b>Tronc</b>	3	7	0	1	11
<b>Rameaux</b>	8	5	1	0	14
<b>Feuilles</b>	13	20	4	5	42
<b>Galles</b>	1	3	1	1	6

Le taux moyen des consommateurs primaires est relativement similaire dans les différents compartiments et dépasse souvent les 80 %. Bien que ces consommateurs primaires appartiennent à des familles différentes, ils sont tous spécifiques au genre *Populus*. Il faut noter une plus grande abondance d'Hémiptères opophages, de 55 % suivi d'une abondance moyenne de lépidoptères phyllophages de 25%, et enfin les coléoptères phyllophages et xylophages avec une abondance de 20%. Les Coccinellidae et les Araneae prédominent de loin le groupe des consommateurs secondaires, qui renferme en plus certaines espèces appartenant aux ordres des Mantodea et des Hymenoptera. Ce sont des auxiliaires généralistes mais côtoyant la strate arborée et arbustive. Enfin, les trophobiontes, surtout représentés dans les familles des Formicidae et des Apidae, sont confinés aux populations des Aphididae.

#### 2. Analyse temporelle globale des communautés

Dans un premier temps, le tableau des relevés a été soumis à une D.C.A. en poolant les quatre compartiments. Dans le plan factoriel Axe1 x Axe2, la répartition des espèces apparaît dispersée (figure 21), indiquant que globalement la zoocénose du peuplier semble réagir différemment et individuellement aux caractères saisonniers des zones d'études. La classification hiérarchique basée sur les 3 premiers axe de la D.C.A. (annexe II) montre l'existence de cinq groupes successionnels, qui présentent une bonne séparation des assemblages du début printemps, printemps-été, été et fin automne, les premières se trouvant en majorité du côté des valeurs positives de l'axe 2 et s'opposant aux secondes, placées pour

une grande part du côté des valeurs négatives de cet axe (figure 25). L'assemblage non saisonnier (indifférent quant à la saison) se distribue au centre de la projection.



**Figure 25 : Detrended correspondance Analysis (D.C.A.) des assemblages de *Populus nigra* prélevés dans les régions de Soumâa et Koléa**

Le même plan montre une bonne superposition des projections correspondantes aux stations de Koléa et Soumâa entre les mois de mai et le mois de novembre, mois pendant lesquels la diversité et les densités sont les plus fortes, ce qui illustre l'homogénéité globale de composition des 2 stations (tableau 4). Cette homogénéité nous a conduit à considérer pour toutes les espèces de chacun des 5 groupes les abondances moyennes observées sur les 2 stations.

**Tableau 4 : Variations mensuelles des distances euclidiennes entre les projections des 2 stations (calculées à partir des coordonnées des 3 premiers axes)**

	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin.	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
<b>Distances euclidiennes</b>	1,207	1,243	1,845	1,397	0,677	0,759	0,942	0,741	0,215	0,276	0,572	1,681

Les distances les plus importantes (Fond grisé) correspondent à des assemblages divergents entre Koléa et Soumâa.

### 3. Analyse compartiment par compartiment

#### 3.1. Diagrammes-rang-fréquence

Pour les communautés vivant dans chacun des compartiments, nous avons eu recours au modèle de la série géométrique du modèle de MOTOMURA pour appréhender les diagrammes rang-fréquence, en considérant les valeurs logarithmiques des abondances. Au niveau du compartiment feuille, deux communautés sont mises en évidence par des pentes significativement différentes ( $p = 3,81 \times 10^{-36**}$ ). Pour les trois autres compartiments, on observe une homogénéité du profil. L'ajustement à la série géométrique du modèle MOTOMURA, calculé par les coefficients de Pearson, est statistiquement significatif dans les 5 communautés avec ( $p = 5,34 \times 10^{-3**}$ ,  $p = 8,81 \times 10^{-31***}$ ,  $p = 7,58 \times 10^{-9***}$ ,  $p = 2,01 \times 10^{-3}$ ,  $p = 6,15 \times 10^{-16}$   $p < 5 \%$ ) respectivement pour les communautés Feuilles1, Feuilles2, Rameaux, Galles et Tronc.

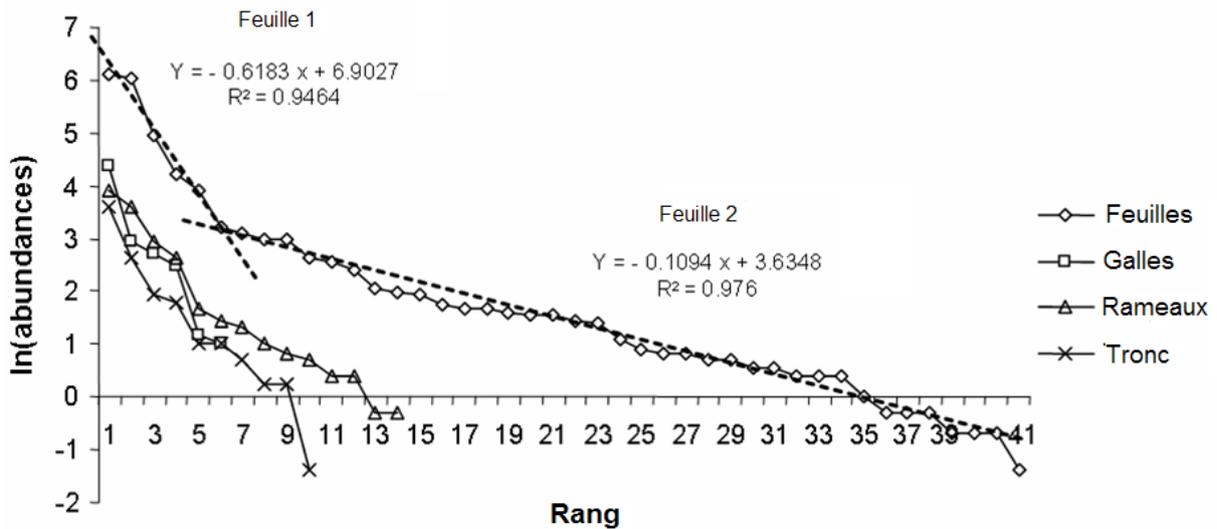
**Tableau 5 : Comparaisons de pente dans les différents assemblages qui se succèdent dans le temps**

	Feuilles1	Feuilles2	Rameaux	Galles	Tronc
Pentes	- 0,61835	- 0,10911	- 0,311412	- 0,63901	- 0,44611
Ajustement au modèle de Motomura (P)	$5,34 \times 10^{-3**}$	$8,81 \times 10^{-31***}$	$7,58 \times 10^{-9***}$	$2,01 \times 10^{-3**}$	$6,15 \times 10^{-16***}$
Feuilles1	-				
Feuilles2	$3,81 \times 10^{-36***}$	-			
Rameaux	$3,62 \times 10^{-10***}$	$3,64 \times 10^{-21***}$	-		
Galles	0,9495 <sup>NS</sup>	$3,99 \times 10^{-38***}$	$7,05 \times 10^{-5***}$	-	
Tronc	$8,08 \times 10^{-3**}$	$1,35 \times 10^{-29**}$	$3,2710^{-2*}$	0,0541	-

NS: non significatif ; \* :  $p < 0.05$  ; \*\* :  $p < 0.01$  ; \*\*\* :  $p < 0.001$

Les calculs permettent de confirmer la présence d'une différence significative entre les structures des différentes communautés, exception faite pour la communauté Feuilles1 par rapport à Galles est marginalement pour Galles et Tronc (tableau 5 et figure 26). La communauté la plus riche et la plus équilibrée est Feuilles2 et comprend 37 espèces, alors que la moins riche correspond à Feuilles1 avec seulement 5 espèces (*Chaitophorus leucomelas*, *C. populialbae*, *Monosteira unicostata*, *Tapinoma nigerrimum* et *Crematogaster scutellaris*).

Dans le compartiment Feuilles2, les rangs moyens d'abondance des consommateurs primaires sont inférieurs à ceux des consommateurs tertiaires, ce qui montre une abondance moyenne significativement plus importante (test de Kruskal-Wallis,  $p = 0,043$ ). Les trophobiontes montrent quant à eux des différences de rangs d'abondance marginalement significatives par rapport aux consommateurs tertiaires ( $p = 0,073$ ). Au niveau du compartiment rameau, aucune différence significative n'a été enregistrée dans les rangs moyens d'abondance des communautés.



**Figure 26 : Ajustement des communautés à la série géométrique du modèle MOTOMURA (logarithme de l'abondance des espèces, Rang).**

### 3.2. Comparaisons faunistiques entre les communautés

Le calcul des indices de similarité de Jaccard (tableau 6), montre des compositions extrêmement différentes entre les communautés. En effet, trois espèces seulement se trouvent en chevauchement entre deux compartiments : rameau et feuille (*Sphodromantis viridis*, consommateur tertiaire), rameau et galle (*Oenopia doubleri*, consommateur secondaire) et feuilles et galle (*Crematogaster scutellaris*, trophobionte).

**Tableau 6 : Indices de similarité de Jaccard**

	Feuilles 1	Feuilles 2	Rameaux	Galles	Tronc
Feuilles 1	-				
Feuilles 2	0***	-			
Rameaux	0***	0,020	-		
Galles	0***	0,023**	0,050**	-	
Tronc	0***	0***	0***	0***	-

\* :  $p < 0.05$  ; \*\* :  $p < 0.01$  ; \*\*\* :  $p < 0.001$

### 3.3 Successions au sein des compartiments des feuilles et des rameaux

La position des courbes, leurs formes et leurs limites illustrent la façon dont les espèces choisissent le compartiment auquel elles se sont spécialisées ; cette adaptation garantit aux successions le sens et la vitesse de leur dynamique. Chaque peuplement est donc un assortiment d'espèces dont chacune présente sa propre courbe d'évolution. Les communautés vivant sur les feuilles et rameaux sont les plus riches et font l'objet de la figure 23 et du tableau 7. Dans chacune de ces communautés nous avons séparé les différents groupes fonctionnels de manière à mieux visualiser leur variation temporelle au moyen d'une courbe synthétique (moyenne des abondances des différentes espèces).

La communauté Feuilles1 est constituée de trois Hémiptères opophages (*Chaitophorus leucomelas*, *C. populi-albae* et *Monosteira unicostata*) et de deux fourmis trophobiontes (*Tapinoma nigerrimum* et *Crematogaster scutellaris* (Fig.27<sub>a</sub>)). Leurs densités restent forte

presque toute l'année et ne montrent pas de variations temporelles significatives (test de Kruskal-Wallis,  $p = 0,425$ ). Avec l'évolution temporelle des opophages se succèdent très précocement les individus de *Crematogaster scutellaris* (test de crosscorrelation,  $p = 1,58 \times 10^{-2}$ ) puis celle de *Tapinoma nigerrimum* (test de crosscorrelation,  $p = 5,91 \times 10^{-3}$ ).

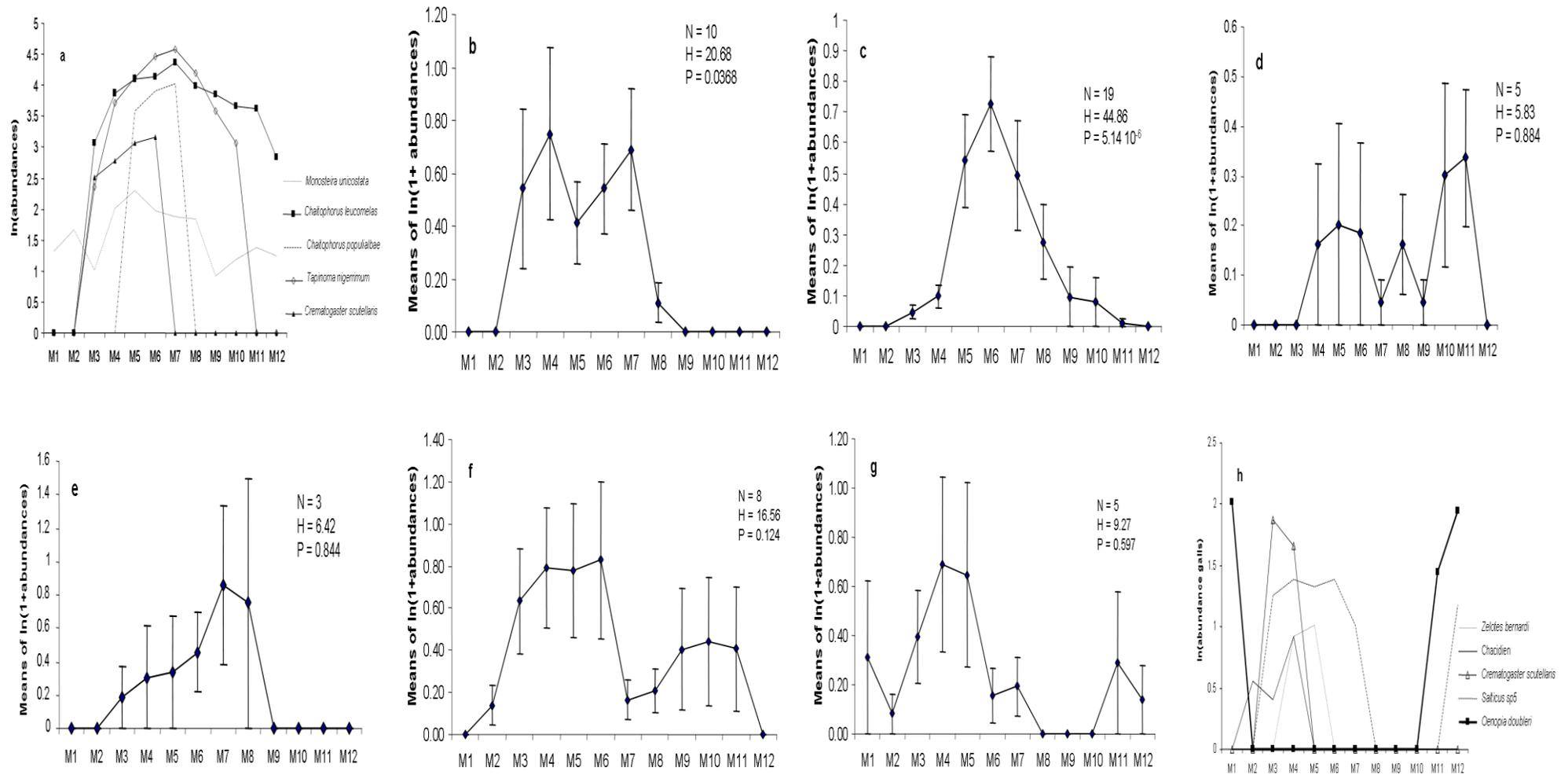
Dans la communauté Feuilles 2, les consommateurs primaires s'organisent en deux groupes dont les abondances varient de manière significativement différentes selon le mois (test de Kruskal-Wallis,  $p = 0,0368$ ), un premier précoce avec une abondance maximale en avril et un second qui culmine en juin (Fig.27b). Le décalage temporel est significatif (test de crosscorrelation,  $p = 1,9 \times 10^{-4}$ ). Le groupe printanier comprend majoritairement des opophages gallicoles (*Pemphigus versicarius*, *P. bursarius* et *P. protospirae*), tandis que le groupe estival est constitué d'espèces surtout phyllophages (coléoptères Chrysomelidae ; lépidoptères Lyonetiidae, Lymantridae, Lithocolletidae, Stigmellidae et Notodontidae). Les consommateurs secondaires quant à eux présentent des variations temporelles significatives avec une distribution unimodale culminant au mois de juin (test de Kruskal-Wallis,  $p = 5,14 \times 10^{-6}$ ) où se succèdent les groupes d'Araignées, d'Anthocorides-Coccinelles et d'Hyménoptères avec respectivement un décalage temporel significatif (test de crosscorrelation,  $p = 5,15 \times 10^{-4}$ ,  $2,24 \times 10^{-2}$ ) (Fig.27c et tab. 7). Les consommateurs tertiaires, pour la plupart des Mantidae, sont décalés par rapport aux précédents, bien qu'ils ne présentent pas de variations temporelles significatives (test de Kruskal-Wallis,  $p = 0,884$ ) ; leur spectre de distribution est trimodal dont les pics apparaissent successivement en mai, août et novembre (Fig.27d). Les trophobiontes, enfin, apparaissent avec des variations d'abondance non significatives (test de Kruskal-Wallis,  $p = 0,425$ ) entre les mois de février et septembre et indiquent un pic observé en juillet (Fig.27e).

Au niveau du compartiment rameau, la distribution des consommateurs primaires est bimodale et beaucoup plus étalée que celle du compartiment Feuilles2 puisqu'elle se rencontre toute l'année (Fig.26f) sans variations temporelles significatives (test de Kruskal-Wallis,  $p = 0,120$ ). Le premier groupe affiche son point culminant en mai et le deuxième, moins prépondérant, culmine en octobre. Le groupe printano-estival présente un décalage temporel significatif (test de crosscorrelation,  $p = 6,7 \times 10^{-35}$ ) par rapport à celui qu'il le succède et renferme des homoptères opophages (Aphididae, Issidae, et Asterolecaniidae) et des coléoptères xylophages (Buprestidae et Cerambycidae), alors que le groupe automnal ne contient que des homoptères opophages (Aphididae) (Tab. 7).

**Tableau 7 : Décalage temporel des groupes trophiques**

Compartiments	Statut	Groupes fonctionnels	Test de crosscorrelation		
			Barycentre	Décalage	P
Feuilles1	CI	<i>Chaitophorus leucomelas</i>	7.40	1	$5,91 \times 10^{-3**}$
	Troph.	<i>Tapinoma nigerrimum</i>	6.57		
	CI	<i>Chaitophorus leucomelas</i>	7.40	2	
	Troph.	<i>Crematogaster scutellaris</i>	4.59		
Feuilles2	CI	Groupe opophage printanier	3.82	3	$1,9 \times 10^{-4***}$
		Groupe phyllophage estival	6.30		
	CII	Groupe araignés	4.94	1	
		Groupe Anthocorides-Coccinelles	6.34		
	CII	Groupe Anthocorides-Coccinelles	6.34	1	
		Groupe Hyménoptères	7.54		
Rameaux	CI	Groupe printano-estival	4.92	4	$6,7 \times 10^{-35***}$
		Groupe automnal	10.02		
	CII	Groupe printano-estival	3.09	6	
		Groupe automnal	11.64		

\* :  $p < 0.05$  ; \*\* :  $p < 0.01$  ; \*\*\* :  $p < 0.001$



**Figure 27 : Succession des groupes fonctionnels au niveau des compartiments feuilles et rameaux de *Populus nigra***

a : Groupes trophiques feuilles 1, b : Consommateurs I feuilles 2, c : Consommateurs II feuilles 2, d : Consommateurs III feuilles 2, e : Trophobiontes feuilles 2, f : Consommateurs I rameaux, g : Consommateurs II rameaux, h : Groupes trophiques galle.

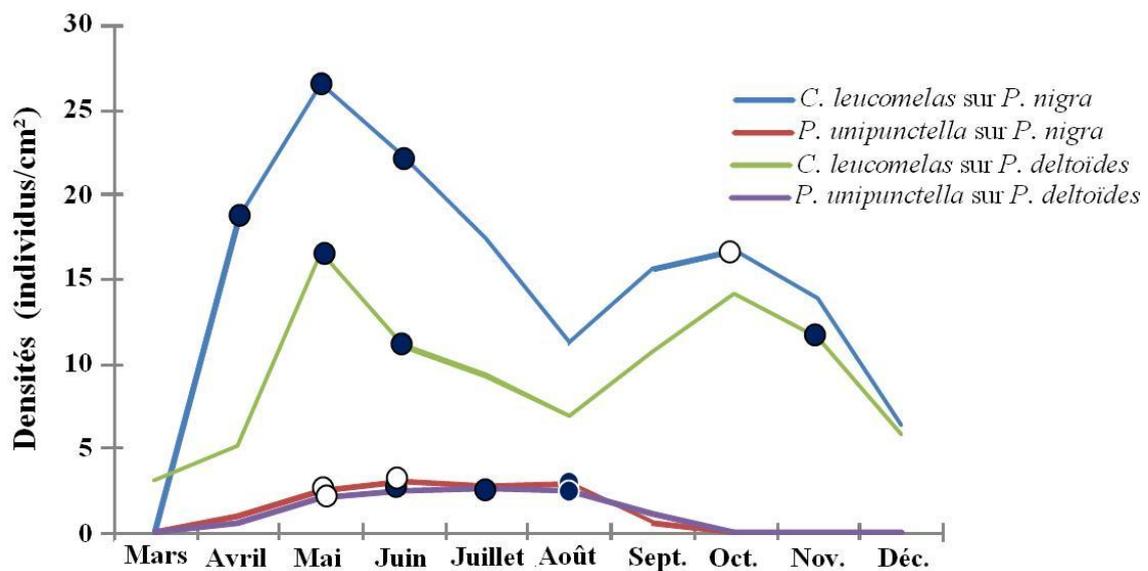
Les consommateurs secondaires montrent deux pics d'abondance non significativement différents ( $p = 0,595$ ), le groupe printano-estival couvrant des Coléoptères Coccinellidae, dont la première génération d'*Oenopia doubleri*, et le groupe hivernal seulement constitué de la 2<sup>ème</sup> génération de cette même Coccinellidae, où un décalage temporelle significatif est signalé (test de crosscorrelation,  $p = 6 \times 10^{-24}$ ) (Fig.27<sub>g</sub>).

Le compartiment galles ne présente pas de variations temporelles significatives (test de Kruskal-Wallis,  $p = 0,844$ ) et héberge essentiellement des consommateurs secondaires (Fig.27<sub>h</sub>) qui s'organisent en deux groupes (un printano-estival et un hivernal), une espèce trophobionte (*Crematogaster scutellaris*) ainsi qu'un Chalcidien parasitoïde seulement printaniers.

## II. Etudes des effets de la composition minérale et protéique des feuilles de *Populus nigra* et *Populus deltoides* sur la dynamique des populations de *Chaitophorus leucomelas* (Koch, 1854) et *Phyllocnistis unipunctella* (Stephens, 1834) dans la peupleraie naturelle d'El Kala

### 1. Répartition spatiotemporelle de *Chaitophorus leucomelas* et de *Phyllocnistis unipunctella* sur les feuilles de *Populus nigra* et *Populus deltoides*

Dans le peuplement naturel d'El Kala, la figure 28 (tableau 8) présente les variations mensuelles de la répartition des espèces *Phyllocnistis unipunctella* et *Chaitophorus leucomelas*. *C. leucomelas* présente dans les 2 espèces de *Populus* 2 pics de densité, celui du mois de mai étant supérieur à celui d'octobre. *P. unipunctella* ne présente qu'une seule période d'abondance, étalée depuis la fin du printemps au milieu de l'été. *Chaitophorus leucomelas* présente une répartition contagieuse aux cours de deux périodes de densité maximale sur les feuilles des deux plantes-hôtes. *Phyllocnistis unipunctella* montre une tendance agrégative durant la période printano-estivale sur les deux espèces de peupliers.



**Figure 28 : Variations mensuelles des densités observées chez *P. nigra* et *P. deltoides***

Les cercles clairs indiquent une distribution agrégative significative au risque inférieur à 5%, les cercles noirs au risque inférieur à 1%.

**Tableau 8 : Répartition spatiotemporelle de *Chaitophorus leucomelas* et de *Phyllocnistis unipunctella* sur les feuilles de *Populus nigra* et *Populus deltoides***

Espèce - hôte	Mois	<i>Chaitophorus leucomelas</i>			<i>Phyllocnistis unipunctella</i>		
		Densité (individus/cm <sup>2</sup> )	$\sigma^2/m$	(n-1) $\sigma^2/m$	Densité (individus/cm <sup>2</sup> )	$\sigma^2/m$	(n-1) $\sigma^2/m$
<i>P. nigra</i>	Janvier	-	-	-	-	-	-
	Février	-	-	-	-	-	-
	Mars	-	-	-	-	-	-
	Avril	18,5	3,60	25.2***	1	1,44	10.08
	Mai	26,5	4,97	34.79***	2,4	2,08	14.56*
	Juin	22,2	4,64	32.48***	3	2,26	15.82*
	Juillet	17,4	0,98	6.86	2,7	1,96	13.72
	Aout	11,2	0,91	6.37	2,8	2,77	19.39**
	Septembre	15,6	1,41	9.87	0,6	0,52	3.64
	Octobre	16,7	2,20	15.4*	-	-	-
	Novembre	13,8	1,38	9.66	-	-	-
	Décembre	6,3	0,87	6.09	-	-	-
<i>P. deltoides</i>	Janvier	-	-	-	-	-	-
	Février	-	-	-	-	-	-
	Mars	3	0,77	5.39	-	-	-
	Avril	5	0,99	6.93	0,5	0,92	6.44
	Mai	16,5	4,06	28.42***	2	2,10	14.7*
	Juin	11	3,15	22.05**	2,4	2,34	16.38**
	Juillet	9,3	1	7	2,6	3,11	21.77**
	Aout	6,8	0,86	6.02	2,5	2,47	17.29**
	Septembre	10,6	1,23	8.61	1,1	1,63	11.41
	Octobre	14	1,65	11.55	-	-	-
	Novembre	11,4	2,77	19.39**	-	-	-
	Décembre	5,68	0,58	4.06	-	-	-

$\sigma^2$  représente la variance et m la moyenne des dénombrements par unité de surface. La significativité de la distribution agrégative est donnée par la formule (n-1)  $\sigma^2/m$ , n étant le nombre de feuilles étudiées (ici 8) par rapport à la table du Chi<sup>2</sup>, avec n-1 degrés de liberté.

## 2. Fluctuation spatiotemporelle des populations de *Chaitophorus leucomelas* et *Phyllocnistis unipunctella* en fonction de la composition minérale et protéique des feuilles de *Populus nigra* et *Populus deltoides*

La teneur en éléments minéraux des feuilles de *Populus deltoides* et *P. nigra* varie significativement durant la période de notre étude (Tableau 9). Les variations sont moins marquées chez *P. nigra* (ANOVA,  $p = 6,9 \times 10^{-5}$ ,  $p < 0,01$  %), avec deux périodes durant lesquelles les teneurs augmentent doublement entre la saison printanière et la saison automnale (Tableau 9).

L'examen détaillé du tableau 10 révèle que la concentration des fractions protéiques solubles montre des différences significatives d'une part, entre le printemps et l'automne (ANOVA,  $p = 3,2 \times 10^{-3}$ ,  $p < 5$  %), et d'autre part entre les protéines cytoplasmiques et les protéines pariétales (ANOVA,  $p = 1,39 \times 10^{-4}$ ,  $p < 0,1$  %), chez les deux peupliers étudiés. En revanche, le taux de protéines foliaires hydrosolubles reste généralement stable tout au long de la période d'étude avec une absence de variation entre les deux espèces de peupliers au fil des saisons.

**Tableau 9 : Teneur en éléments minéraux (mg. /g. M.S.) des feuilles de *Populus deltoides* et *P. nigra***

	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
	My±SE	My±SE	My±SE	My±SE	My±SE	My±SE	My±SE	My±SE	My±SE	My±SE
<b>P.D.</b>										
<b>Ca</b>	11,2 ±0,89 <sup>a</sup>	9,5±0,85 <sup>a</sup>	4,2±0,37 <sup>ab</sup>	4,8±0,43 <sup>ab</sup>	4,9±0,45 <sup>ab</sup>	5,3±0,42 <sup>a</sup>	2,6±0,20 <sup>b</sup>	2,3±0,25 <sup>b</sup>	5,0±0,54 <sup>a</sup>	6,2±0,80 <sup>a</sup>
<b>Mg</b>	0,56±0,004 <sup>a</sup>	0,29±0,018 <sup>b</sup>	0,6±0,05 <sup>a</sup>	0,28±0,045 <sup>b</sup>	0,2±0,015 <sup>b</sup>	0,03±0,002 <sup>c</sup>	0,39±0,024 <sup>a</sup>	0,4±0,044 <sup>a</sup>	0,08±0,012 <sup>c</sup>	0,17±0,013 <sup>b</sup>
<b>P</b>	0,8±0,072 <sup>b</sup>	1,3±0,11 <sup>a</sup>	2,3±0,20 <sup>a</sup>	1,0±0,099 <sup>b</sup>	0,7±0,064 <sup>b</sup>	0,6±0,04 <sup>b</sup>	1,4±0,112 <sup>a</sup>	2,7±0,29 <sup>a</sup>	1,2±0,14 <sup>a</sup>	0,5±0,078 <sup>c</sup>
<b>K</b>	0,1±0,007 <sup>c</sup>	0,97±0,081 <sup>a</sup>	1,3±0,11 <sup>a</sup>	1,6±0,14 <sup>a</sup>	1,5±0,134 <sup>a</sup>	1,7±0,13 <sup>a</sup>	0,91±0,072 <sup>b</sup>	0,6±0,067 <sup>c</sup>	0,4±0,057 <sup>c</sup>	0,3±0,039 <sup>c</sup>
<b>Na</b>	1,2±0,08 <sup>a</sup>	1,0±0,06 <sup>a</sup>	0,31±0,02 <sup>b</sup>	0,27±0,036 <sup>bc</sup>	0,55±0,047 <sup>ab</sup>	0,36±0,03 <sup>b</sup>	0,18±0,014 <sup>bc</sup>	0,4±0,04 <sup>ab</sup>	0,61±0,085 <sup>ab</sup>	0,2±0,026 <sup>bc</sup>
<b>Cu</b>	0,8±0,072 <sup>b</sup>	1,01±0,09 <sup>a</sup>	0,2±0,018 <sup>c</sup>	0,38±0,032 <sup>bc</sup>	0,29±0,023 <sup>c</sup>	0,26±0,02 <sup>c</sup>	0,23±0,018 <sup>c</sup>	0,24±0,027 <sup>c</sup>	0,7±0,098 <sup>b</sup>	0,68±0,089 <sup>b</sup>
<b>Fe</b>	0,19±0,017 <sup>b</sup>	0,156±0,013 <sup>c</sup>	0,16±0,014 <sup>c</sup>	0,14±0,012 <sup>c</sup>	0,181±0,016 <sup>b</sup>	0,152±0,012 <sup>c</sup>	0,13±0,010 <sup>d</sup>	0,17±0,019 <sup>b</sup>	0,188±0,026 <sup>b</sup>	0,5±0,065 <sup>a</sup>
<b>Total</b>	<b>14,14±1,27</b>	<b>14,06±1,26</b>	<b>9,06±0,81</b>	<b>8,92±0,80</b>	<b>8,52±0,74</b>	<b>8,26±0,66</b>	<b>5,74±0,45</b>	<b>6,81±0,75</b>	<b>6,86±0,96</b>	<b>8,58±1,11</b>
<b>P.N.</b>										
<b>Ca</b>	4,1±0,36 <sup>a</sup>	1,8±0,16 <sup>b</sup>	1,3±0,11 <sup>b</sup>	0,7±0,063 <sup>b</sup>	0,5±0,042 <sup>b</sup>	0,6±0,048 <sup>b</sup>	0,4±0,032 <sup>b</sup>	0,7±0,078 <sup>b</sup>	5,3±0,74 <sup>a</sup>	4,9±0,64 <sup>a</sup>
<b>Mg</b>	1,0±0,08 <sup>a</sup>	1,7±0,15 <sup>a</sup>	0,64±0,045 <sup>a</sup>	0,31±0,027 <sup>b</sup>	0,29±0,033 <sup>b</sup>	0,21±0,016 <sup>b</sup>	0,81±0,048 <sup>a</sup>	0,52±0,012 <sup>a</sup>	0,54±0,028 <sup>a</sup>	0,38±0,04 <sup>ab</sup>
<b>P</b>	1,7±0,15 <sup>a</sup>	2,7±0,24 <sup>a</sup>	3,2±0,28 <sup>a</sup>	1,0±0,18 <sup>b</sup>	0,8±0,076 <sup>b</sup>	0,3±0,024 <sup>b</sup>	1,4±0,11 <sup>a</sup>	1,8±0,19 <sup>a</sup>	1,2±0,16 <sup>ab</sup>	1,1±0,143 <sup>ab</sup>
<b>K</b>	0,64±0,05 <sup>c</sup>	2,1±0,18 <sup>a</sup>	2,3±0,20 <sup>a</sup>	2,6±0,23 <sup>a</sup>	1,8±0,167 <sup>b</sup>	1,6±0,12 <sup>b</sup>	1±0,09 <sup>b</sup>	0,61±0,067 <sup>c</sup>	0,5±0,08 <sup>c</sup>	0,4±0,052 <sup>c</sup>
<b>Na</b>	0,6±0,05 <sup>b</sup>	1,2±0,10 <sup>a</sup>	0,62±0,054 <sup>b</sup>	0,29±0,016 <sup>bc</sup>	0,16±0,014 <sup>c</sup>	0,11±0,008 <sup>c</sup>	0,87±0,069 <sup>b</sup>	0,2±0,024 <sup>c</sup>	1,01±0,141 <sup>a</sup>	0,8±0,10 <sup>b</sup>
<b>Cu</b>	0,2±0,018 <sup>b</sup>	0,76±0,06 <sup>a</sup>	0,3±0,027 <sup>ab</sup>	0,24±0,021 <sup>b</sup>	0,35±0,03 <sup>ab</sup>	0,22±0,017 <sup>b</sup>	0,11±0,009 <sup>c</sup>	0,05±0,006 <sup>d</sup>	0,5±0,07 <sup>ab</sup>	0,70±0,091 <sup>a</sup>
<b>Fe</b>	0,10±0,009 <sup>c</sup>	0,31±0,02 <sup>a</sup>	0,39±0,035 <sup>a</sup>	0,59±0,053 <sup>a</sup>	0,44±0,039 <sup>a</sup>	0,37±0,029 <sup>a</sup>	0,21±0,017 <sup>b</sup>	0,12±0,014 <sup>c</sup>	0,15±0,021 <sup>c</sup>	0,29±0,038 <sup>b</sup>
<b>Total</b>	<b>8,3±0,74</b>	<b>10,57±0,95</b>	<b>8,59±0,77</b>	<b>6,73±0,60</b>	<b>4,1±0,37</b>	<b>3,03±0,24</b>	<b>4,59±0,36</b>	<b>3,57±0,38</b>	<b>8,85±1,23</b>	<b>8,49±1,10</b>

P.D. *Populus deltoides* ; P.N. *Populus nigra* ; Différence significative (p < 0, 005) pour le facteur saison (a, b)

**Tableau 10 : Teneur en protéines (mg. /g. M.S.) des feuilles de *Populus deltoides* et *Populus nigra***

	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
	My±SE									
<b>P.D.</b>										
<b>P.H.</b>	0,51±0,09 <sup>NS</sup>	0,65±0,11 <sup>NS</sup>	0,85±0,15 <sup>NS</sup>	0,39±0,07 <sup>NS</sup>	0,52±0,09 <sup>NS</sup>	0,59±0,10 <sup>NS</sup>	0,65±0,11 <sup>NS</sup>	0,70±0,12 <sup>NS</sup>	1,10±0,19 <sup>NS</sup>	0,21±0,80 <sup>NS</sup>
<b>P.S.P.</b>	1,51±0,08 <sup>a</sup>	1,96±0,33 <sup>a</sup>	1,64±0,27 <sup>a</sup>	2,33±0,39 <sup>a</sup>	1,89±0,32 <sup>a</sup>	1,53±0,26 <sup>a</sup>	1,07±0,18 <sup>c</sup>	1,14±0,19 <sup>c</sup>	1,42±0,24 <sup>b</sup>	1,63±0,27 <sup>a</sup>
<b>P.S.C.</b>	1,50±0,25 <sup>b</sup>	2,00±0,34 <sup>a</sup>	2,63±0,44 <sup>a</sup>	1,89±0,32 <sup>ab</sup>	1,91±0,32 <sup>a</sup>	1,86±0,31 <sup>ab</sup>	1,77±0,30 <sup>b</sup>	1,53±0,26 <sup>b</sup>	2,51±0,42 <sup>a</sup>	1,90±0,32 <sup>a</sup>
<b>Total</b>	<b>3,52±0,59</b>	<b>4,61±0,78</b>	<b>5,11±0,86</b>	<b>4,61±0,78</b>	<b>4,32±0,73</b>	<b>3,98±0,67</b>	<b>3,49±0,59</b>	<b>3,37±0,57</b>	<b>5,03±0,85</b>	<b>3,74±0,63</b>
<b>P.N.</b>										
<b>P.H.</b>	0,91±0,16 <sup>NS</sup>	0,71±0,12 <sup>NS</sup>	0,31±0,05 <sup>NS</sup>	0,31±0,05 <sup>NS</sup>	0,28±0,04 <sup>NS</sup>	0,32±0,06 <sup>NS</sup>	0,36±0,07 <sup>NS</sup>	0,35±0,07 <sup>NS</sup>	0,48±0,08 <sup>NS</sup>	1,05±0,18 <sup>NS</sup>
<b>P.S.P.</b>	1,72±0,29 <sup>a</sup>	1,81±0,30 <sup>a</sup>	1,49±0,25 <sup>b</sup>	1,98±0,33 <sup>a</sup>	1,30±0,22 <sup>b</sup>	1,66±0,28 <sup>ab</sup>	1,19±0,20 <sup>c</sup>	0,93±0,15 <sup>c</sup>	1,46±0,24 <sup>b</sup>	2,11±0,35 <sup>a</sup>
<b>P.S.C.</b>	2,13±0,36 <sup>a</sup>	2,23±0,37 <sup>a</sup>	1,96±0,33 <sup>a</sup>	1,92±0,32 <sup>b</sup>	1,82±0,30 <sup>b</sup>	1,79±0,29 <sup>b</sup>	1,22±0,20 <sup>c</sup>	1,13±0,19 <sup>c</sup>	2,16±0,36 <sup>a</sup>	1,86±0,31 <sup>ab</sup>
<b>Total</b>	<b>4,76±0,80</b>	<b>4,75±0,80</b>	<b>3,76±0,63</b>	<b>4,19±0,71</b>	<b>3,4±0,57</b>	<b>3,77±0,64</b>	<b>2,77±0,47</b>	<b>2,41±0,40</b>	<b>4,1±0,69</b>	<b>5,02±0,85</b>

P.D. *Populus deltoides*, P.N. *Populus nigra*, P.H. : Protéines hydrosolubles, P.S.P. : Protéines solubles pariétales, P.S.C. : Protéines solubles cytoplasmiques ; Différence significative (p < 0, 005) pour le facteur saison (a, b)

Par comparaison des fluctuations minérales foliaires et de l'évolution des deux espèces étudiées sur *Populus nigra*, il apparaît que les densités des populations de *C. leucomelas* et de *P. unipunctella* sont corrélées positivement avec le Potassium et le Fer, mais négativement avec le Calcium (figure 29<sub>a</sub> et <sub>c</sub> et tableau 11). Au niveau de *P. deltoïdes*, les corrélations entre les densités de populations des 2 espèces de pucerons et les paramètres cités plus haut sont différentes (figure 29<sub>b</sub> et <sub>d</sub> et tableau 11). Les densités de *C. leucomelas* sont influencées négativement par le Calcium mais positivement par le Phosphore. Les densités de *P. unipunctella* dépendent positivement du Potassium. Le Cuivre est négativement corrélé avec les densités des 2 espèces.

**Tableau 11 : Corrélations de Pearson entre les densités des populations et les paramètres chimiques et biochimiques des feuilles**

	<i>Populus nigra</i>				<i>Populus deltoïdes</i>			
	<i>C. leucomelas</i>		<i>P. unipunctella</i>		<i>C. leucomelas</i>		<i>P. unipunctella</i>	
	r Pearson	Prob.	r Pearson	Prob.	r Pearson	Prob.	r Pearson	Prob.
<b>Ca</b>	-0.59886	<b>0.06734</b>	-0.65084	<b>0.04154</b>	-0.80548	<b>0.00491</b>	-0.29848	0.40220
<b>Mg</b>	-0.03246	0.92907	-0.37378	0.2873	0.24972	0.48655	-0.14703	0.68523
<b>P</b>	0.40611	0.24422	-0.17148	0.6357	0.75790	<b>0.01108</b>	-0.18082	0.61713
<b>K</b>	0.73014	<b>0.016501</b>	0.86332	<b>0.00129</b>	0.29830	0.40249	0.95072	<b>2.43×10<sup>-5</sup></b>
<b>Na</b>	-0.07106	0.84533	-0.54966	0.09977	-0.57684	0.08084	-0.37706	0.28279
<b>Cu</b>	-0.06592	0.85642	-0.16246	0.65385	-0.69026	<b>0.02714</b>	-0.61069	<b>0.06074</b>
<b>Fe</b>	0.57245	0.08373	0.89222	<b>0.00051</b>	-0.32529	0.35906	-0.39708	0.25588
<b>P.H.</b>	-0.72240	<b>0.018287</b>	-0.63009	<b>0.05086</b>	0.51918	0.12409	-0.13690	0.70607
<b>P.S.P.</b>	-0.25090	0.48441	0.14719	0.68491	-0.18229	0.61424	0.47915	0.16116
<b>P.S.C.</b>	-0.11980	0.74167	0.13067	0.7190	0.48806	0.15239	0.18843	0.60213

P..H. : Protéines hydrosolubles, P.S.P. : Protéines solubles pariétales, P.S.C. : Protéines solubles cytoplasmiques

Le même tableau indique que le taux des protéines hydrosolubles est corrélé négativement avec les densités des populations de *C. leucomelas* et *P. unipunctella* évoluant sur *P. nigra*. Par contre, les fractions protéiques solubles et hydrosolubles ne présentent pas de corrélation avec la fluctuation des populations de *C. leucomelas* et *P. unipunctella* évoluant sur *P. deltoïdes*.

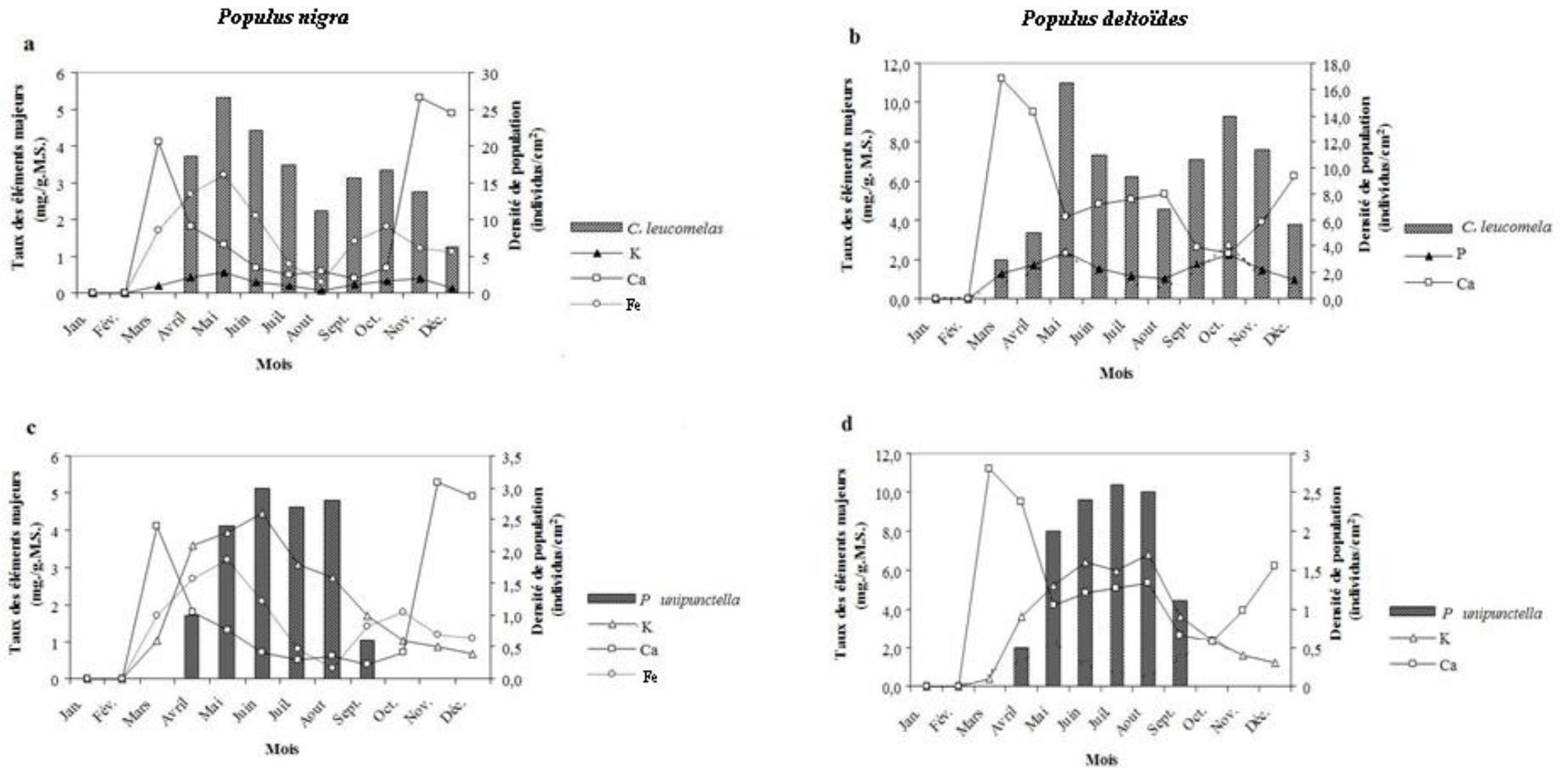


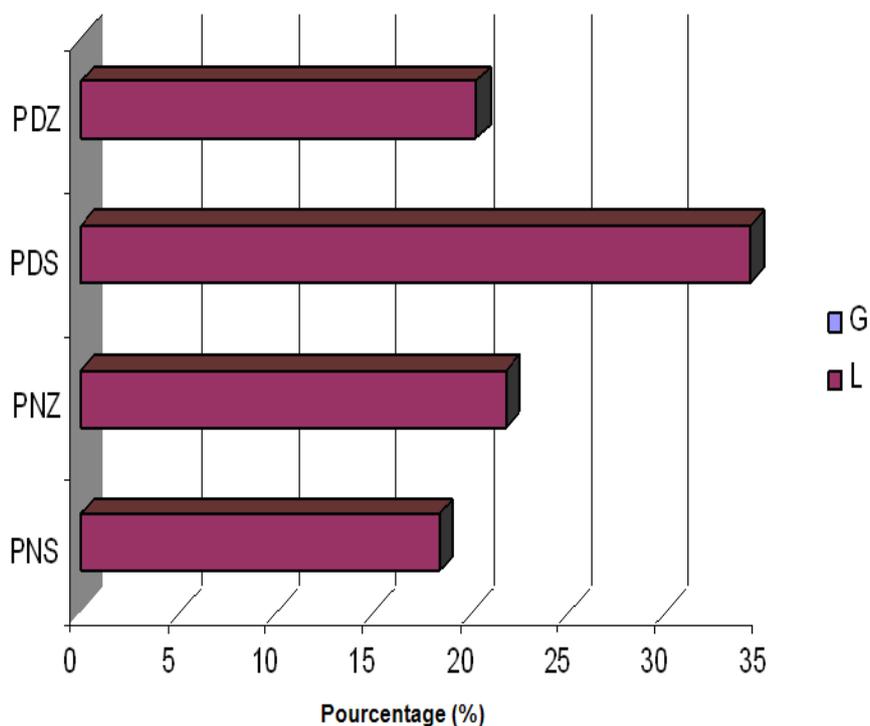
Figure 29 : Fluctuation spatiotemporelle des populations de *Chaitophorus leucomelas* (a et b), *Phyllocnistis unipunctella* (c et d) et taux des éléments minéraux des feuilles de *Populus deltoides* (b et d) et de *Populus nigra* (a et c) évoluant dans une peupleraie polyclonale naturelle dans la région d'El-Kala (Est Algérien) étudiée durant la période 2003-2004

### III. Etude des effets de la variation qualitative de *Populus nigra* et *Populus deltoides* sur les traits de vies biochimiques de *Chaitophorus leucomelas* (Koch, 1854) dans les régions du littoral (Zéralda) et du sublittoral (Soumâa)

#### 1. Variations spatiales des réserves énergétiques de *Chaitophorus leucomelas*

Rappelons que les réserves énergétiques sont mesurées à partir du broyat de 10 femelles récoltées entre la fin du printemps et le début de l'été, en calculant le % de lipides (L) + glucides (G) par rapport à la matière fraîche. Les pourcentages enregistrés au niveau de ces réserves énergétiques sont variables (figure 30). Pendant que le maximum ne dépasse pas les 40% et est représenté par les individus de *C. leucomelas* de Soumâa observés sur *P. deltoides*, le minimum se situe entre 15 à 20%, observé sur les individus de *C. leucomelas* collectés à Soumâa sur *P. nigra*.

En termes de qualité, les réserves énergétiques observées sur *C. leucomelas* dans les régions de Soumâa et de Zéralda à la fois sur *P. nigra* et sur *P. deltoides* sont constituées de réserves glucidiques (G) en quantités infimes par rapport aux réserves lipidiques (L).

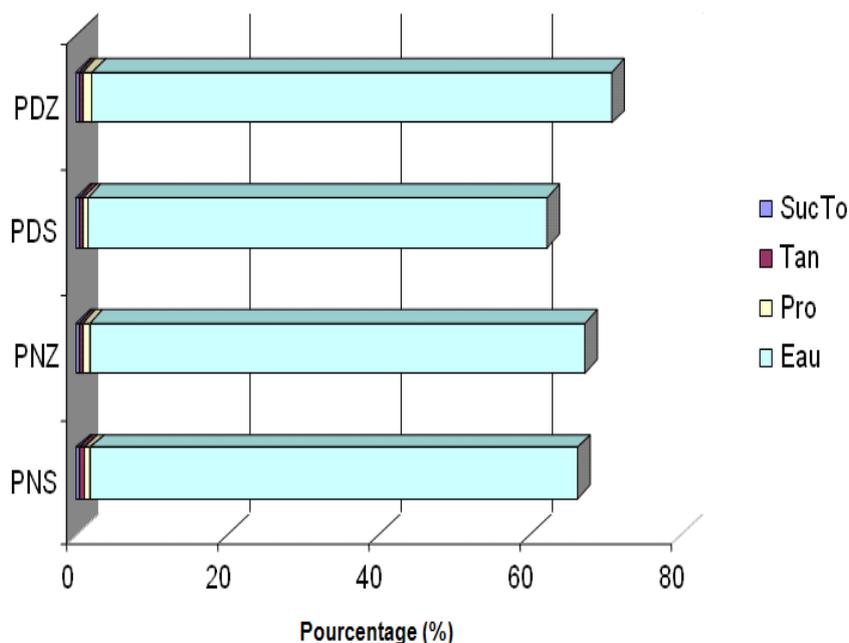


**Figure 30: Distribution quantitative des réserves énergétiques de *C. leucomelas* sur *P. nigra* et *P. deltoides* dans les régions de Soumâa et de Zéralda**

G : Glucides ; L : Lipides ; PNS : *Populus nigra* de la région de Soumâa ; PNZ : *Populus nigra* de la région de Zéralda ; PDS : *Populus deltoides* de la région de Soumâa ; PDZ : *Populus deltoides* de la région de Zéralda

## 2. Évolution spatiales des principes actifs et de la quantité d'eau des Populus

D'après l'analyse d'environ 100 g de feuilles par arbre, il apparaît que les principes actifs étudiés chez les espèces *P. nigra* et *P. deltoides* dans les régions de Soumâa et de Zéralda a savoir les tanins condensés, les sucres totaux, la proline, sont quantitativement moins prépondérants que la quantité d'eau (figure 31).

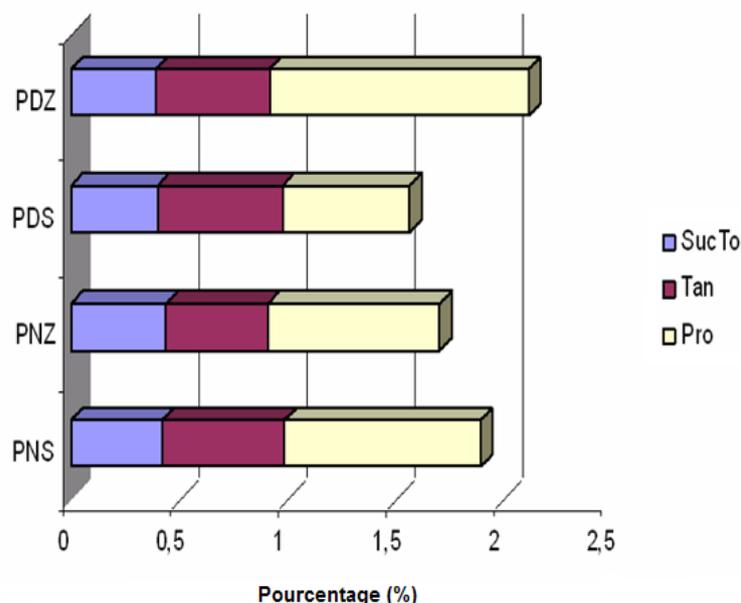


**Figure 31 : Distribution quantitative des principes actifs et la quantité d'eau de *Populus nigra* et de *Populus deltoides* dans les régions de Soumâa et de Zéralda**

SucTo: Sucres totaux ; Tan: tanins ; Pro: Proline ; PNS : *Populus nigra* de la région de Soumâa ; PNZ : *Populus nigra* de la région de Zéralda ; PDS : *Populus deltoides* de la région de Soumâa ; PDZ : *Populus deltoides* de la région de Zéralda

Les pourcentages des principes actifs au sein de la matière sèche sont assez variables (figure 32). Le maximum, dépassant généralement les 70%, représente les principes actifs de *P. deltoides* de la région de Zéralda, tandis que le minimum qui est de 60%, représente ceux de *P. deltoides* de la région de Soumâa.

Les sucres totaux représentent moins de 0,5% chez les deux espèces de peuplier dans les deux régions. De même, les tanins condensés ne dépassent pas les 1%. Quant à la proline, le maximum est enregistré chez les *P. deltoides* de Zéralda avec plus de 2%, le minimum chez le *P. deltoides* de Soumâa avec 1,5%. Les *P. nigra* à Soumâa et à Zéralda contiennent entre 1,5 à 2% de proline.



**Figure 32 : Distribution quantitative des principes actifs dans la matière sèche de *Populus nigra* et de *Populus deltoides* dans les régions de Soumâa et de Zéralda**

SucTo: Sucres totaux ; Tan: tanins ; Pro: Proline ; PNS : *Populus nigra* de la région de Soumâa ; PNZ : *Populus nigra* de la région de Zéralda ; PDS : *Populus deltoides* de la région de Soumâa ; PDZ : *Populus deltoides* de la région de Zéralda

### 3. Variations spatio-temporelles des réserves énergétiques disponibles pour *Chaitophorus leucomelas*

Le but de cette partie est de mettre en corrélation les différents principes actifs mesurés et les réponses métabolique et pondérale des femelles de *C. leucomelas*, dans les 2 stations et au niveau des 2 espèces de peuplier.

#### 3.1. Mesures des variations des différents principes actifs

Les valeurs mesurées en poids frais sont rassemblées dans le tableau 12.

**Tableau 12 : Mesures en poids frais des qualités des feuilles de *Populus* et des pucerons femelles du littoral et sublittoral**

	EAun	PROn	SUCn	TANn	LIPn	GLUn	PDSn	Eaud	PROd	SUCd	TANd	LIPd	GLUd	PDSd
<b>S<sub>mai</sub></b>	66,00	0,31	0,46	0,75	20,52	0,026	1,31	65,46	0,67	0,45	0,63	58,19	0,023	1,78
<b>S<sub>juin</sub></b>	65,43	0,94	0,45	0,63	28,25	0,016	1,96	65,67	0,66	0,43	0,59	32,86	0,020	5,50
<b>S<sub>juil.</sub></b>	64,80	1,34	0,41	0,63	12,82	0,016	1,40	55,88	0,59	0,43	0,62	22,08	0,015	2,43
<b>S<sub>août</sub></b>	61,10	1,05	0,38	0,29	11,88	0,013	1,75	55,45	0,44	0,31	0,50	24,33	0,014	2,34
<b>Z<sub>mai</sub></b>	72,29	0,40	0,51	0,43	38,28	0,016	4,61	73,99	1,41	0,46	0,55	19,33	0,023	2,54
<b>Z<sub>juin</sub></b>	64,71	0,41	0,52	0,31	17,69	0,016	1,45	72,92	1,85	0,38	0,43	29,08	0,015	1,59
<b>Z<sub>juil.</sub></b>	61,60	0,25	0,40	0,78	15,59	0,007	1,37	65,14	0,74	0,34	0,58	22,42	0,001	5,50
<b>Z<sub>août</sub></b>	63,31	2,16	0,35	0,35	15,75	0,007	2,32	62,95	0,82	0,38	0,57	1,40	0,024	2,49

n : *Populus nigra* ; d : *Populus deltoides* ; S : Soumâa ; Z : Zéralda ; Proline, sucres totaux, Tanins et Eau (mg./g.M.F) ; Réserves énergétiques (µg./mg.M.F). Les cases en grisé se rapportent aux mesures sur les insectes, celles en blanc aux mesures sur les feuilles.

Si l'on raisonne en poids sec des différents constituants, il faut transformer les valeurs en appliquant la formule : Pds Sec i = 100 x Pds frais i / (100 - eau en %).

Ainsi, le tableau devient :

**Tableau 13 : Mesures en poids sec des qualités des feuilles de *Populus* et des pucerons femelles du littoral et sublittoral**

	EAun	PROn	SUCn	TANn	LIPn	GLUn	PDSn	Eaud	PROd	SUCd	TANd	LIPd	GLUd	PDSd
<b>S<sub>mai</sub></b>	66,00	0,91	1,35	2,20	60,35	0,076	1,31	65,46	1,94	1,30	1,82	168,47	0,067	1,78
<b>S<sub>juin</sub></b>	65,43	2,71	1,30	1,82	81,72	0,046	1,96	65,67	1,92	1,25	1,71	95,71	0,058	5,50
<b>S<sub>juil.</sub></b>	64,80	3,80	1,16	1,70	36,42	0,045	1,40	55,88	1,33	0,97	1,40	50,04	0,034	2,43
<b>S<sub>août</sub></b>	61,10	2,69	0,97	0,74	30,54	0,033	1,75	55,45	0,98	0,69	1,12	54,61	0,031	2,34
<b>Z<sub>mai</sub></b>	72,29	1,44	1,84	1,55	138,10	0,058	4,61	73,99	5,42	1,76	2,11	74,31	0,088	2,54
<b>Z<sub>juin</sub></b>	64,71	1,16	1,47	0,87	50,13	0,045	1,45	72,92	6,83	1,40	1,58	10,39	0,055	1,59
<b>Z<sub>juil.</sub></b>	61,60	0,65	1,04	2,03	40,60	0,018	1,37	65,14	2,12	0,97	1,66	06,31	0,003	5,50
<b>Z<sub>août</sub></b>	63,31	5,88	0,95	0,95	42,93	0,019	2,32	62,95	2,21	1,02	1,53	28,07	0,065	2,49

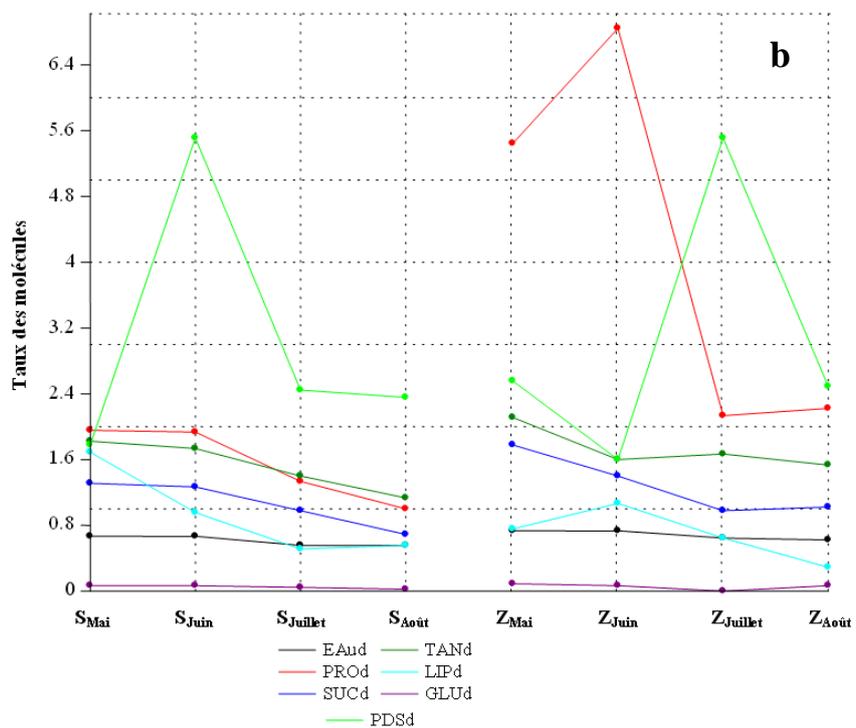
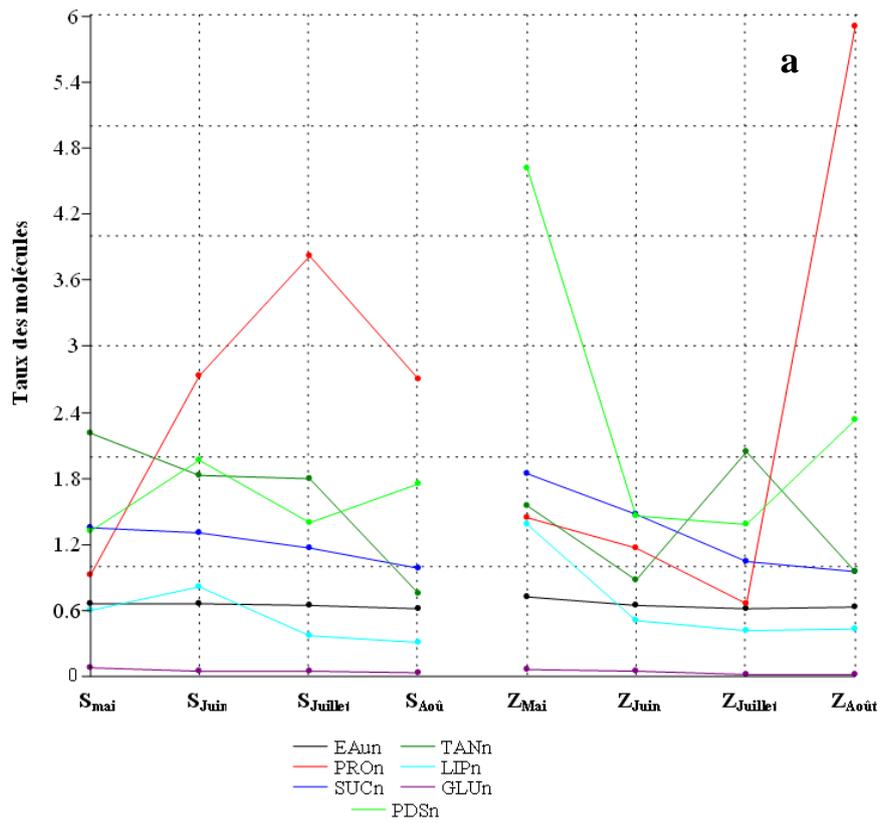
n : *Populus nigra* ; d : *Populus deltoides* ; S : Soumâa ; Z : Zéralda ; Proline, sucres totaux, Tanins et Eau (mg./g.M.F) ; Réserves énergétiques (µg./mg.M.F). Les cases en grisé se rapportent aux mesures sur les insectes, celles en blanc aux mesures sur les feuilles

Les deux tableaux 12 et 13 ont des teneurs en eau relativement comparables selon le mois, ce qui entraîne que les variations temporelles des mesures des différents constituants des feuilles changent peu entre poids frais et poids sec.

Pour visualiser les variations temporelles des valeurs en poids sec, on sépare pour une question de clarté les résultats obtenus sur *Populus nigra* (figure 33<sub>a</sub>) et *P. deltoides* (figure 33<sub>b</sub>).

Nous remarquons que les teneurs en eau à Soumâa et Zéralda affichent une certaine stabilité quantitative entre le mois de mai et le mois de juillet. Concernant les sucres totaux des feuilles, on observe une tendance à la diminution progressive au cours de la saison d'étude, avec un niveau global supérieur à Zéralda qu'à Soumâa. De même, si l'on excepte le mois de juillet pour Zéralda, les tannins ont une tendance générale à une diminution progressive entre le printemps et l'été. Les concentrations foliaires en Proline, molécule marqueur de stress, sont très variables selon les stations et l'essence de Peuplier. Chez *Populus nigra*, il y a un pic de concentration au mois de juillet à Soumâa, mais décalé au mois d'août vers le littoral, à Zéralda, en réponse à des hausses décalées de températures. Chez *P. deltoides*, il est à noter de très fortes concentrations à Zéralda aux mois de mai et juin.

Au sujet des pucerons récoltés sur *P. nigra*, les mesures pondérales varient en parallèle avec les réserves lipidiques, avec des valeurs supérieures à Zéralda qu'à Soumâa. La tendance globale à la diminution saisonnière de ces 2 paramètres, plus nette encore au niveau des réserves glucidiques, est liée fonctionnellement à la diminution de la quantité de sucres totaux disponibles dans les feuilles. Sur *P. deltoides*, les variations mensuelles des mesures pondérales et des réserves lipidiques ne sont plus parallèles. Il y a un pic au mois de juin à Soumâa et décalé au mois de juillet à Zéralda, ce qui pourrait s'expliquer par un décalage de température dans ces 2 stations. Chez les pucerons, les réserves énergétiques en lipides et glucides totaux ont tendance à diminuer au cours de la saison.



**Figure 33 : Variations temporelles des valeurs en poids sec obtenus sur *Populus nigra* (a) et *Populus deltoides* (b)**

Les teneurs en eau et les mesures de lipides ont été divisées par 100 pour des raisons d'échelle

### 3.2. Corrélations entre les variations des différents paramètres et les mesures pondérales et énergétiques des pucerons femelles

Comme il est difficile de savoir si les pucerons sont sensibles aux mesures des feuilles rapportées au poids frais ou au poids sec, nous avons envisagé les 2 cas de figure.

Le tableau des mesures rapportées en poids frais a été soumis à une analyse de corrélation (tableau 14).

**Tableau 14 : Corrélations entre poids frais des principes actifs et mesures pondérales et énergétiques des femelles**

	EAun	PROn	SUCn	TANn	LIPn	GLUn	PDSn	Eaud	PROd	SUCd	TANd	LIPd	GLUd	PDSd
EAun	-	0,480	0,052	0,985	0,003	0,259	0,019	0,085	0,223	0,011	0,786	0,823	0,134	0,616
PROn	-0,294	-	0,052	0,350	0,385	0,275	0,959	0,170	0,382	0,734	0,726	0,160	0,390	0,777
SUCn	0,704	-0,702	-	0,957	0,085	0,130	0,424	0,018	0,029	0,162	0,420	0,347	0,629	0,615
TANn	-0,008	-0,382	-0,023	-	0,922	0,534	0,424	0,860	0,301	0,413	0,024	0,212	0,454	0,178
LIPn	0,889	-0,358	0,644	0,042	-	0,492	0,015	0,047	0,327	0,066	0,852	0,859	0,245	0,711
GLUn	0,453	-0,440	0,582	0,260	0,286	-	0,875	0,699	0,888	0,087	0,612	0,006	0,248	0,300
PDSn	0,793	-0,022	0,330	-0,331	0,810	-0,067	-	0,212	0,373	0,321	0,874	0,349	0,254	0,858
Eaud	0,643	-0,537	0,795	-0,075	0,712	0,164	0,495	-	0,009	0,320	0,411	0,805	0,631	0,969
PROd	0,485	-0,359	0,760	-0,419	0,400	0,060	0,365	0,842	-	0,636	0,073	0,777	0,777	0,415
SUCd	0,831	-0,144	0,546	0,338	0,675	0,641	0,404	0,405	0,200	-	0,219	0,376	0,091	0,742
TANd	0,115	0,148	-0,333	0,776	0,079	0,213	-0,067	-0,339	-0,663	0,489	-	0,514	0,726	0,448
LIPd	0,095	-0,547	0,385	0,495	0,076	0,860	-0,383	0,105	-0,120	0,364	0,272	-	0,682	0,746
GLUd	0,577	0,354	0,203	-0,310	0,466	0,463	0,458	0,202	0,120	0,635	0,148	0,173	-	0,226
PDSd	-0,211	-0,120	-0,212	0,529	0,157	-0,420	-0,076	-0,017	-0,336	-0,139	0,315	-0,137	-0,483	-

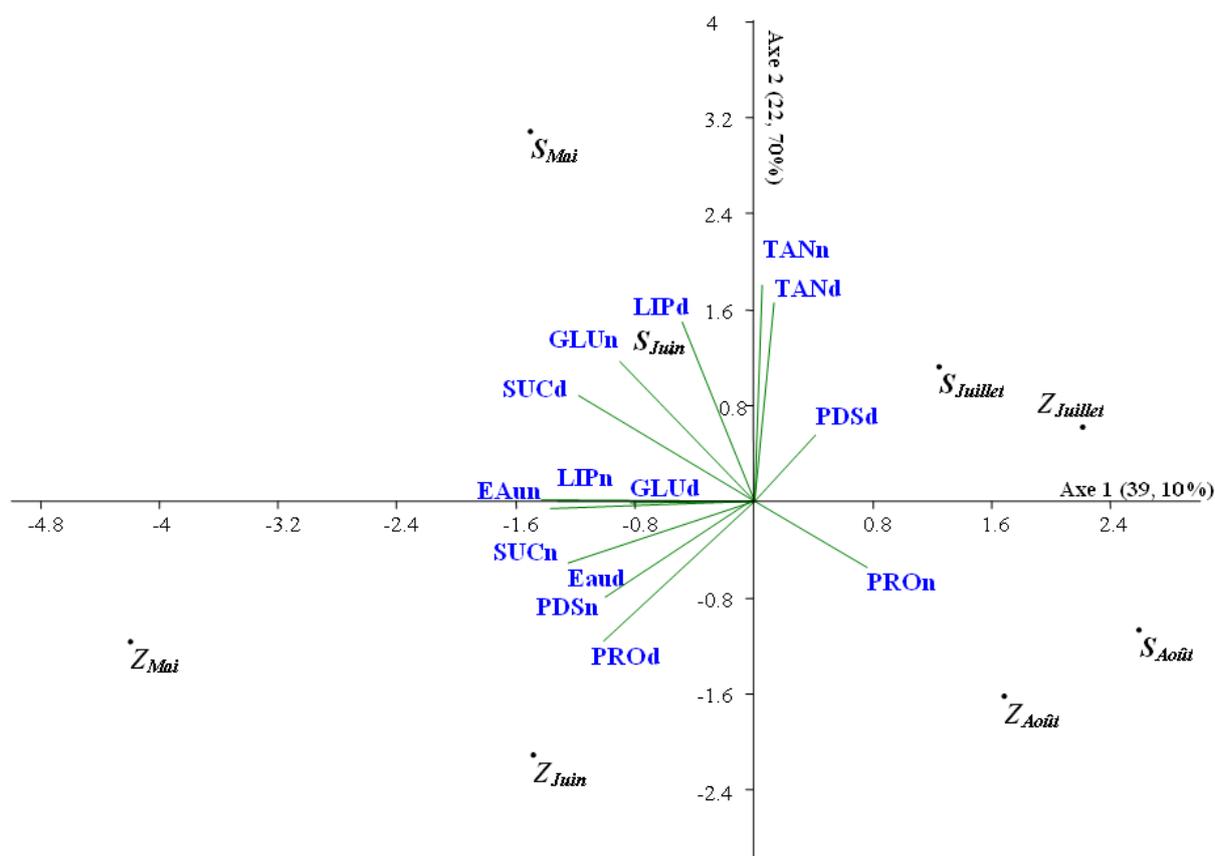
En dessous de la diagonale, sont indiqués les coefficients r de Pearson, au dessus le risque associé. En vert, ce sont les probabilités associées aux corrélations entre chaque variable sur *P. nigra* et *P. deltoïdes*. La partie supérieure jaune du tableau correspond à *P. nigra* et la partie inférieure jaune à *P. deltoïdes*.

Il est clair que peu de valeurs ont un risque associé inférieur à 0,05. Il est remarquable que les variations des tanins sont bien corrélées entre les 2 espèces de peuplier, en prenant les mesures sur les 2 sites et sur les 4 périodes ( $p = 0,024$ ). La quantité d'eau est marginalement corrélée entre les 2 essences ( $p = 0,085$ ) (tableau 14). En résumé, les propriétés chimiques des 2 espèces de peuplier sont globalement différentes.

Peut-on dire si le poids des pucerons est lié d'une manière ou d'une autre à certains paramètres chimiques des plantes ? Le poids des pucerons sur *P. nigra* est relié à la quantité de lipides ( $p = 0,015$ ) et à la quantité d'eau ( $p = 0,019$ ) (valeurs indiquées par un cadre jaune clair). En fait ces 2 corrélations n'en font qu'une, puisque la teneur en eau et la concentration en lipide chez *P. nigra* sont des variables extrêmement corrélées ( $p = 0,003$ ). Les concentrations en lipides chez les pucerons sont corrélées marginalement avec les sucres totaux des feuilles ( $p = 0,085$ ). Pour les populations de pucerons développées sur *P. deltoïdes*, seules les réserves glucidiques sont liées marginalement aux quantité des sucres totaux des feuilles ( $p = 0,091$ ).

L'analyse en Composantes Principales effectuée avec PAST vers 1.95 (Hammer *et al.*, 2001) est satisfaisante dans la mesure où plus de 60 % de la variance sont exprimés sur les 2 premiers axes (figure 34).

La projection sur le plan F1-F2 donne



**Figure 34 : Plan d'ordination F1-F2, avec les mesures en poids frais**

On retrouve bien que le poids des femelles PDSn sur *P. nigra* est un vecteur dans la même direction que la quantité d'eau, les réserves lipidiques et les sucres totaux. De plus, on retrouve bien que les vecteurs correspondant aux tannins (Tan) sur les 2 essences sont très proches l'un de l'autre.

Le poids des pucerons PDSd sur *P. deltoides* est un vecteur relativement isolé, très court, indiquant sa faible corrélation avec les autres variables.

Quant aux relevés eux-mêmes,  $S_{Mai}$ ,  $S_{Juin}$ ,  $S_{Juillet}$ ,  $S_{Août}$ ,  $Z_{Mai}$ ,  $Z_{Juin}$ ,  $Z_{Juillet}$  et  $Z_{Août}$ , leurs positions respectives sur la projection indiquent leur plus ou moins forte proximité de composition. Pendant les mois juillet et août, les compositions des feuilles sont très voisines entre Zéralda et Soumâa. Au mois de juillet, cela est dû à de faibles valeurs de sucres totaux (Suc) chez *P. nigra* et de Proline (Pro) chez *P. deltoides*. Au mois d'août, cela est dû à de fortes valeurs de la Proline chez *P. nigra*, mais de faibles valeurs de sucres totaux chez *P. deltoides*. En revanche, aux mois de mai et juin, on observe de grandes disparités dans la composition des feuilles à Zéralda et Soumâa, dans la mesure où les projections des points de  $S_{Mai}$  et  $Z_{Mai}$  d'une part, et de  $S_{Juin}$  et  $Z_{Juin}$  d'autre part, sont très éloignées.

Si on considère les mesures rapportées aux poids secs, on a le tableau de corrélation suivant (tableau 15).

**Tableau 15 : Corrélations entre poids sec des principes actifs et mesures pondérales et énergétiques des femelles**

	EAun	PROn	SUCn	TANn	LIPn	GLUn	PDSn	Eaud	PROd	SUCd	TANd	LIPd	GLUd	PDSd
EAun	-	0,605	0,001	0,552	$9 \times 10^{-4}$	0,085	0,019	<b>0,085</b>	0,169	0,002	0,012	0,508	0,018	0,616
PROn	-0,220	-	0,208	0,312	0,500	0,280	0,932	0,210	<b>0,350</b>	0,334	0,303	0,074	0,772	0,776
SUCn	0,921	-0,500	-	0,667	0,005	0,064	0,081	0,020	0,036	<b><math>3,10^{-4}</math></b>	0,021	0,266	0,060	0,598
TANn	0,249	-0,410	0,181	-	0,587	0,306	0,779	0,872	0,495	0,604	<b>0,185</b>	0,241	0,809	0,272
LIPn	0,928	-0,280	0,869	0,228	-	0,225	0,005	0,056	0,214	0,005	0,008	<b>0,612</b>	0,044	0,880
GLUn	0,644	-0,440	0,679	0,416	0,484	-	0,718	0,460	0,611	0,123	0,218	0,015	<b>0,125</b>	0,312
PDSn	0,793	0,036	0,651	-0,120	0,866	0,153	-	0,212	0,300	0,081	0,113	0,601	0,076	<b>0,858</b>
Eaud	0,643	-0,500	0,788	0,068	0,695	0,307	0,495	-	0,005	0,003	0,015	0,320	0,159	0,969
PROd	0,538	-0,380	0,740	-0,280	0,494	0,214	0,421	<b>0,867</b>	-	0,028	0,210	0,613	0,244	0,437
SUCd	0,910	-0,390	0,949	0,218	0,872	0,591	0,649	<b>0,892</b>	<b>0,761</b>	-	0,003	0,272	0,030	0,719
TANd	0,822	-0,420	0,785	0,522	0,848	0,490	0,604	<b>0,809</b>	<b>0,497</b>	<b>0,897</b>	-	0,286	0,116	0,759
LIPd	0,276	-0,660	0,447	0,468	0,213	0,808	-0,220	0,404	0,213	0,442	0,431	-	0,465	0,679
GLUd	0,795	0,123	0,686	-0,100	0,721	0,589	0,658	<b>0,549</b>	<b>0,467</b>	<b>0,757</b>	<b>0,599</b>	0,303	-	0,270
PDSd	-0,210	-0,120	-0,220	0,442	0,064	-0,410	-0,080	<b>-0,020</b>	<b>-0,320</b>	<b>-0,150</b>	0,130	-0,175	-0,440	-

Eu dessous de la diagonale, sont indiqués les coefficients r de Pearson, et au dessus le risque associé. En vert, ce sont les probabilités associées aux corrélations entre chaque variable sur *P. nigra* et *P. deltoides*. La partie supérieure jaune du tableau correspond à *P. nigra* et la partie inférieure jaune à *P. deltoides*.

Si l'on compare les mesures entre les 2 espèces de *Populus*, les sucres ont des valeurs très corrélées ( $p = 3 \times 10^{-4}$ ), alors que les teneurs en eau ont une corrélation marginalement significative (les chiffres n'ont évidemment pas changé). En revanche, les valeurs des Tanins ne sont plus corrélées.

Pour ce qui est des variables liées au poids moyen des pucerons, on retrouve des résultats comparables aux conclusions établies sur les poids frais à savoir que seuls les quantités d'eau, et les valeurs de lipides sont corrélés avec les poids moyens des pucerons chez le Peuplier noir ( $p = 0,019$  et  $p = 0,005$  respectivement). La concentration en sucres totaux foliaires est marginalement corrélée au poids moyen des pucerons sur Peuplier noir ( $p = 0,081$ ). Aucune corrélation n'est visible entre le poids moyen des pucerons et les variables mesurées sur *Populus deltoides*, excepté les réserves glucidiques du puceron et les sucres totaux foliaires.

#### IV. Etude des effets des variations thermiques sur les traits de vies biochimiques et pondéraux de *Chaitophorus leucomelas* (Koch, 1854)

Nous avons étudié les individus des générations de fondatrigenes et sexupares de *Chaitophorus leucomelas* évoluant sur *Populus nigra*. L'étude des effets des variations thermiques s'est faite à travers des peupleraies artificielles situées dans la région littorale (Gouraya et Dar El Beida) ou plus vers l'intérieur à Soumâa.

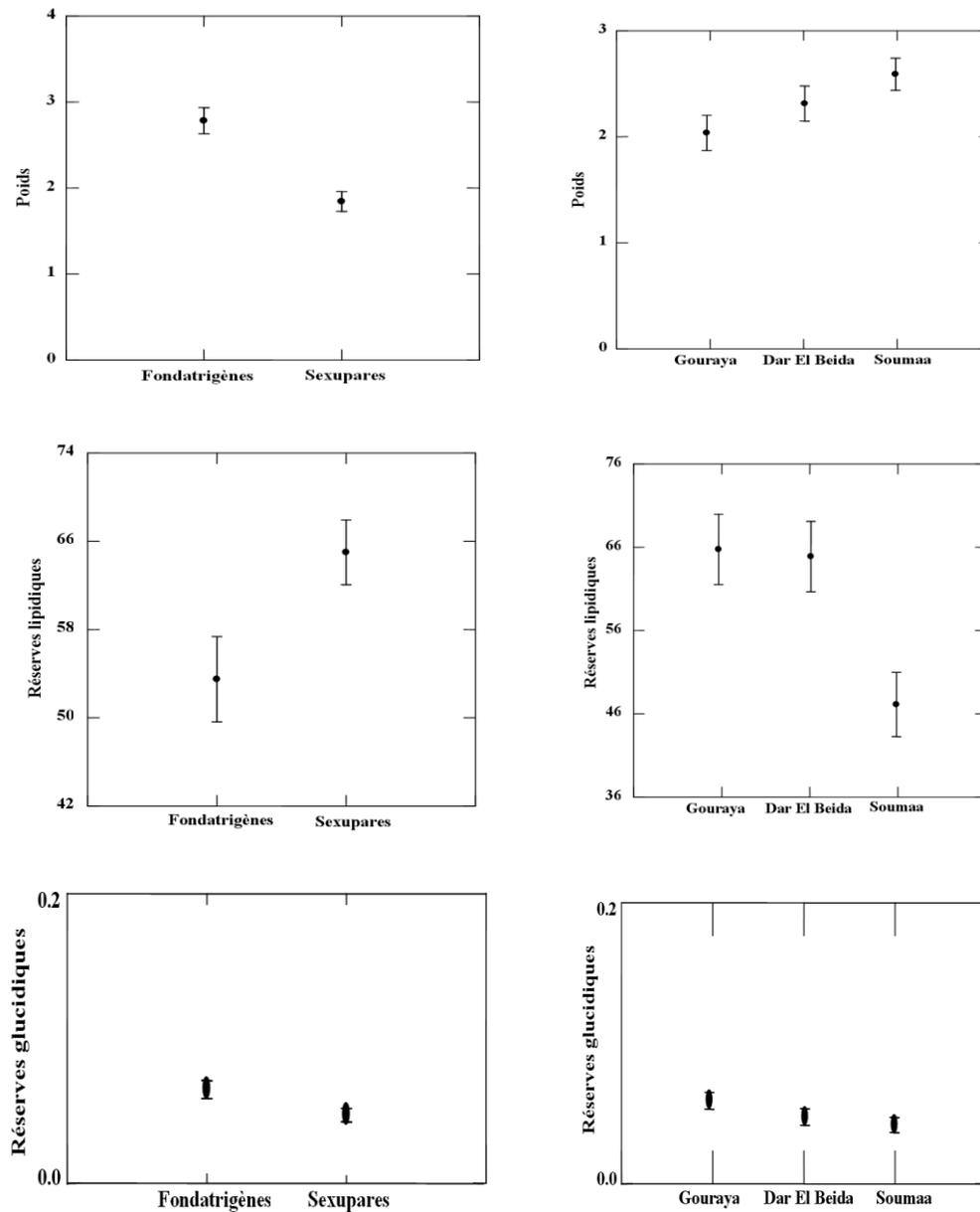
##### 1. Comparaisons des paramètres énergétiques et pondéraux des différentes générations

Nous avons appliqué le modèle général linéaire (G.L.M.), aux individus des générations fondatrigenes et sexupares de manière à étudier l'influence des localités sur le poids et les réserves énergétiques. Ce modèle G.L.M. permet d'étudier l'effet strict des différents facteurs sans faire intervenir les interactions entre facteurs ce qui rend les statistiques robustes sachant que le nombre d'analyse est limité à 76 (tableau 16 et figure 35).

**Tableau 16 : Modèle G.L.M. appliqué aux différentes générations (N=76)**

	Facteurs	Somme des carrés	d.d.l.	Carrés moyens	F-ratio	P
<b>Poids</b>	<b>Générations</b>	15,442	1	15,442	24,283	0,000
	<b>Localités</b>	3,933	2	1,967	3,093	0,051
	<b>Var. intra</b>	45,786	72	0,636	-	-
<b>Lipides</b>	<b>Générations</b>	2317,217	1	2317,217	5,608	0,021
	<b>Localités</b>	5810,092	2	2905,046	7,031	0,002
	<b>Var. intra</b>	29749,412	72	413,186	-	-
<b>Glucides</b>	<b>Générations</b>	0,007	1	0,007	5,294	0,024
	<b>Localités</b>	0,007	2	0,003	2,413	0,097
	<b>Var. intra</b>	0,097	72	0,001	-	-

Le poids moyen des femelles fondatrigenes est significativement supérieur à celui des sexupares, avec des variations selon les localités (figure 35). Les individus pèsent d'avantage que ceux de Dar El Beida et a fortiori que ceux de Gouraya. Il est intéressant de constater que le poids supérieur des fondatrigenes correspond à des réserves glucidiques plus importantes et des réserves lipidiques plus faibles que chez les sexupares. Or, les fondatrigenes se développent au printemps alors que la qualité nutritive de la sève est optimale ce qui leur permet d'avoir des réserves glucidiques immédiatement utilisables. En revanche les sexupares arrivent en fin de saison alors que la qualité de la sève est médiocre, ce qui entraîne peu de réserves glucidiques ; par contre elles font des réserves lipidiques de manière à préparer la génération sexuée. Au niveau des localités, les individus de Soumâa ont beaucoup moins de réserves lipidiques que ceux des deux autres villes, ce qui laisse prédire que la formation des sexuées sera peu performante. De même, les réserves glucidiques dans cette même ville de Soumâa sont moins importantes qu'à Dar El Beida et Gouraya.



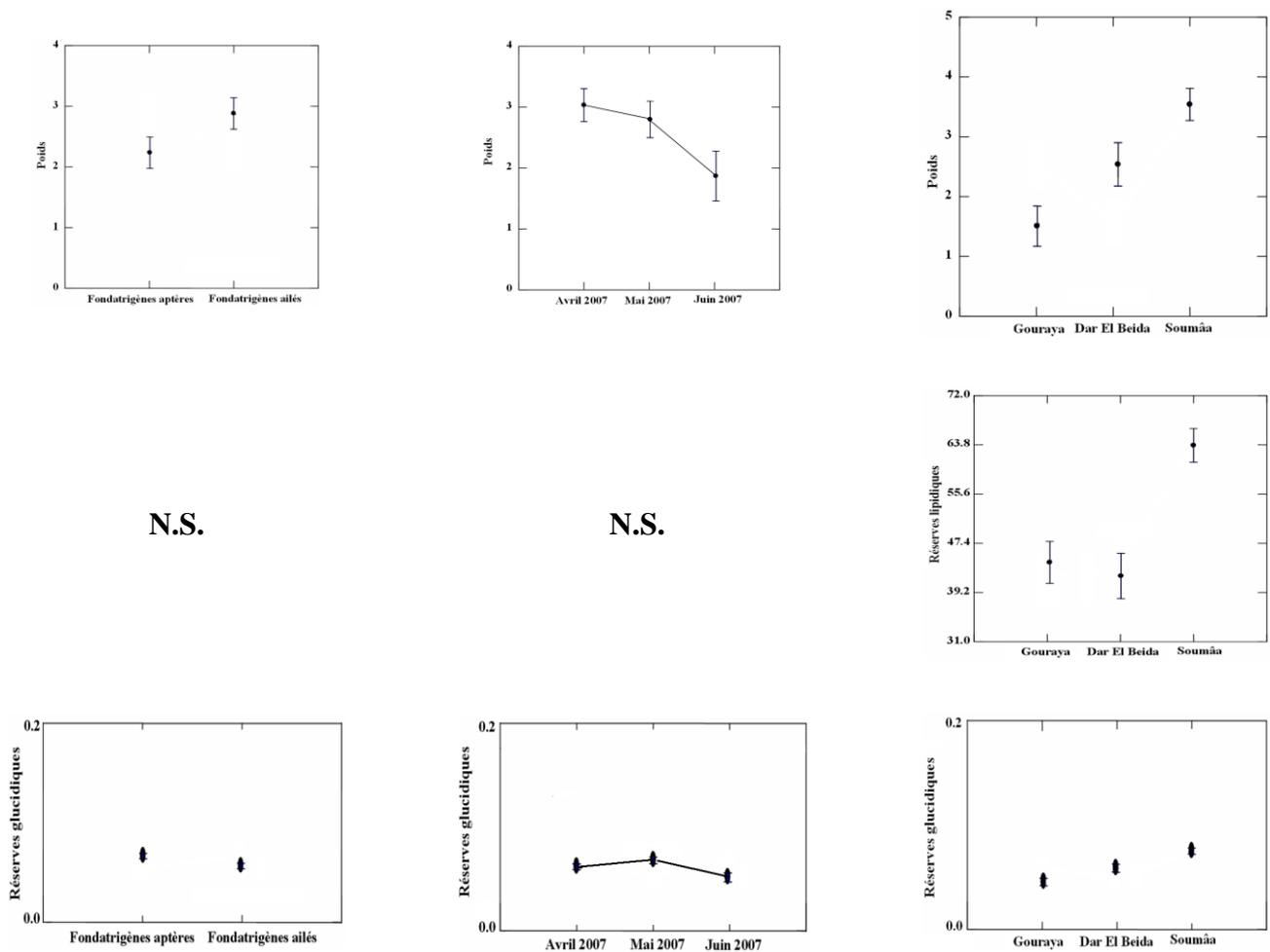
**Figure 35 : Variations pondérales et énergétiques chez les générations fondatrigenes et sexupares**

*2. Réponses pondérales et énergétiques des générations fondatrigenes*

L'application du modèle G.L.M. pour 28 analyses (tableau 17 et figure 36), nous permet d'observer que les fondatrigenes ailées pèsent d'avantage que les aptères (significativité marginale,  $p = 0,071$ ). Ces deux formes ne diffèrent pas par rapport à leurs réserves lipidiques mais la forme ailée possède moins de réserves glucidiques qui serait lié aux dépenses énergétiques du vol. Le poids moyen des individus diminue significativement au cours du printemps alors que les réserves lipidiques restent constantes. Les réserves glucidiques montrent un léger excès au mois de mai (significativité marginale,  $p = 0,076$ ). La tendance à l'augmentation du poids de Gouraya jusqu'à Soumaa déjà signalée dans le tableau 16, s'accroît dans cette génération fondatrigenes. Elle est en relation avec une mise en réserves tant lipidiques que glucidiques spécialement chez les individus de Soumaa.

**Tableau 17 : Modèle G.L.M. pour la génération fondatrigrène (N=28)**

	Facteurs	Somme des carrés	d.d.l.	Carrés moyens	F-ratio	P
<b>Poids</b>	<b>Localités</b>	18,460	2	9,230	10,622	0,001
	<b>Mois</b>	4,934	2	2,467	2,839	0,080
	<b>Génération</b>	3,122	1	3,122	3,593	0,071
	<b>Var. intra</b>	19,117	22	0,869	-	-
<b>Lipides</b>	<b>Localités</b>	2749,923	2	1374,961	14,639	0,000
	<b>Mois</b>	161,409	2	80,705	0,859	0,437
	<b>Génération</b>	48,418	1	48,418	0,515	0,480
	<b>Var. intra</b>	2066,384	22	93,927	-	-
<b>Glucides</b>	<b>Localités</b>	0,005	2	0,002	17,675	0,000
	<b>Mois</b>	0,001	2	0,000	2,906	0,076
	<b>Génération</b>	0,002	1	0,002	13,461	0,001
	<b>Var. intra</b>	0,003	22	0,000	-	-



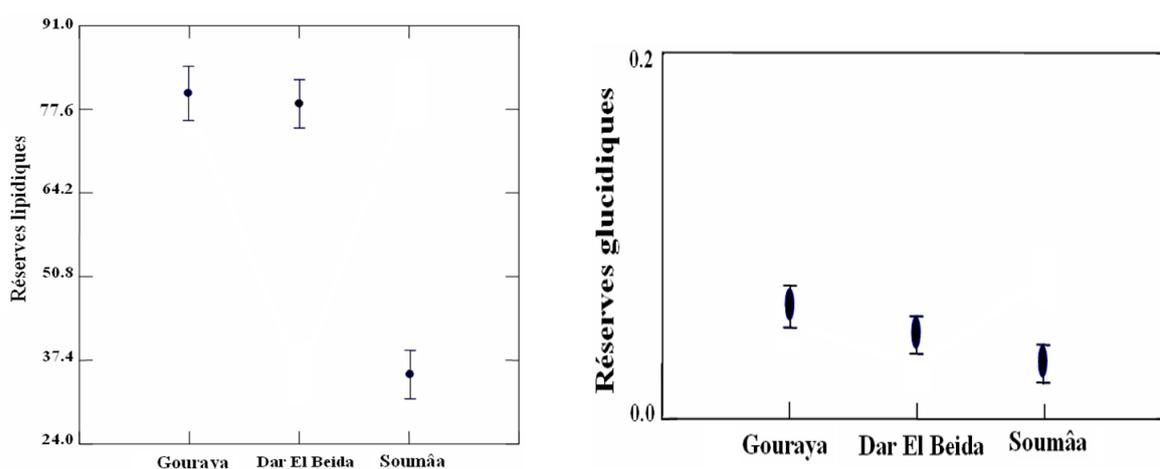
**Figure 36 : Variations pondérales et énergétiques chez les fondatrigrènes**  
N.S. : Variabilité Non significative

### 3. Réponses pondérales et énergétiques de la génération sexupare

Le modèle G.L.M. appliqué à la génération sexupare (tableau 18 et figure 37) porte sur 48 analyse. On n'observe pas de différence de poids pour ces individus ni entre les localités, ni les mois, ni les générations. Par contre, chez les individus de Soumâa, les réserves lipidiques sont presque moitié moins de ce qui est observé dans les deux autres localités, ce qui est en contraste flagrant par rapport à ceux qui avait été observé pour les générations fondatrigenes. De même, les individus de cette localité sont les mois riches en réserves glucidiques.

**Tableau 18 : Modèle G.L.M. pour la génération sexupare (N=48)**

	Facteurs	Somme des carrés	d.d.l.	Carrés moyens	F-ratio	P
Poids	Localités	0,364	2	0,182	1,462	0,243
	Dates	0,364	2	0,182	1,462	0,243
	Génération	0,017	1	0,017	0,139	0,711
	Var intra	5,224	42	0,124	-	-
Lipides	Localités	19922,972	2	9961,486	43,016	0,000
	Dates	470,449	2	235,224	1,016	0,371
	Génération	38,916	1	38,916	0,168	0,684
	Var intra	9726,245	42	231,577	-	-
Glucides	Localités	0,017	2	0,009	5,338	0,009
	Dates	0,003	2	0,001	0,769	0,470
	Génération	0,000	1	0,000	0,082	0,776
	Var intra	0,068	42	0,002	-	-



**Figure 37 : Variations pondérales et énergétiques chez les sexupares**

## V. Etude des effets des doses de l'Oxamyle (pesticide) sur les traits de vies biochimiques et pondéraux de *Phloeomyzus passerinii* (Signoret, 1875)

Le pesticide utilisé est l'Oxamyle. Il a été pulvérisé sur des boutures de *Populus nigra* infestées par *P. passerinii* en laboratoire. Nous avons mesuré les effets métaboliques et pondéraux jusqu'à 72 heures après le traitement. Deux doses ont été utilisées, la dose préconisée (20µl/l) et la demi-dose (10µl/l).

### 1. Effet de la demi-dose sur les traits de vie biochimiques et pondéraux

Lorsque le produit est administré à la demi-dose, aucune variation significative n'est enregistrée, ni pour le poids, ni pour les concentrations en glucides et lipides (tableau 19).

**Tableau 19 : Analyses de variances pour tester l'effet de l'Oxamyle (demi-dose) sur le poids et les réserves en lipides et en glucides (N=20)**

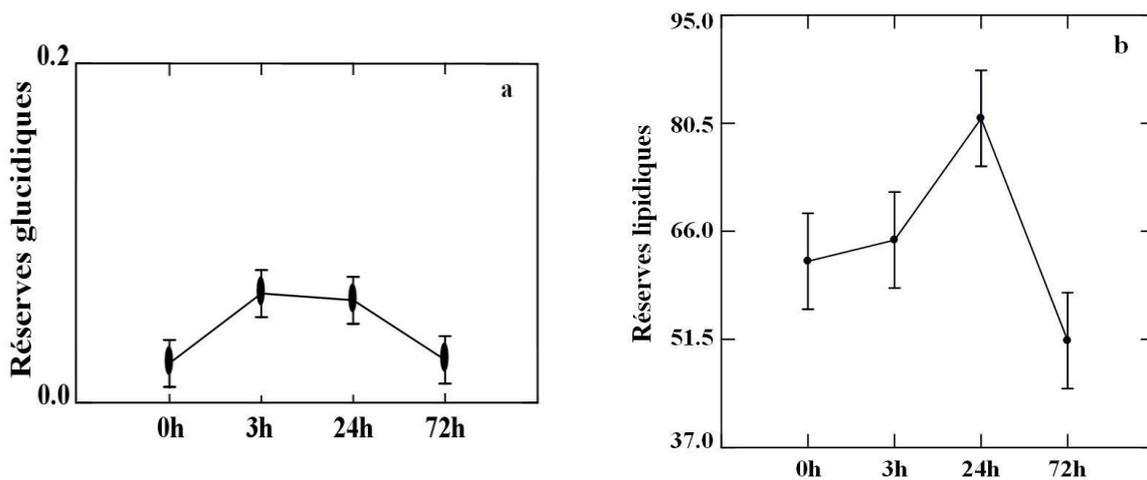
	Facteurs	Somme des carrés	d.d.l.	Carrés moyens	F-ratio	P
Poids	Temps	359,666	3	119,889	1,306	0,307
	Var intra	1468,912	16	91,807	-	-
Lipides	Temps	845,842	3	281,947	1,389	0,282
	Var intra	3247,427	16	202,964	-	-
Glucides	Temps	0,004	3	0,001	1,990	0,156
	Var intra	0,011	16	0,001	-	-

### 2. Effet de la dose sur les traits de vie biochimiques et pondéraux

Lorsque le produit est administré à la dose normale (prescrite), on observe une variation significative des réserves lipidiques (tableau 20 et figure 38<sub>b</sub>), avec une augmentation progressive ( $p = 0,035$ ) culminant à 24 h suivi d'un retour à la normale à 72 h. On observe la même tendance pour les réserves glucidiques (figure 38<sub>a</sub>) mais la significativité des variations n'est que marginale ( $p = 0,094$ ). Le poids moyen quant à lui ne présente pas de variation.

**Tableau 20 : Analyses de variances pour tester l'effet de l'Oxamyle (Dose normale) sur le poids et les réserves en lipides et en glucides (N=20)**

	Facteurs	Somme des carrés	d.d.l.	Carrés moyens	F-ratio	P
Poids	Temps	246,486	3	82,162	0,733	0,548
	Var intra	1794,492	16	112,156	-	-
Lipides	Temps	2285,136	3	761,712	3,670	0,035
	Var intra	3320,656	16	207,541	-	-
Glucides	Temps	0,007	3	0,002	2,534	0,094
	Var intra	0,015	16	0,001	-	-



**Figure 38 : Variations des réserves énergétiques sous l'effet de l'Oxamyle à la dose normale**

(a) réserves glucidiques (a) réserves lipidiques

## VI. Effet des matières actives des pesticides sur la biocénose associée à *Chaitophorus leucomelas* sur *Populus nigra*

Nous avons comparé les abondances des arthropodes appartenant aux principaux groupes trophiques sur des *Populus nigra* situés dans 3 secteurs au niveau du département d'Agronomie de l'Université de Blida. Plusieurs relevés ont été réalisés entre le mois d'avril et le mois de mai. Le secteur non traité est appelé bloc 1. Le secteur traité par un mélange d'Oxamyle et de Carbosulfan, réalisé le 7 mai, est appelé bloc 2. Le secteur traité de manière répétée par l'Oxamyle au cours du mois de mai est appelé bloc 3.

### 1. Variation temporelle de la structure des peuplements dans le bloc témoin

Le diagramme rang-fréquence montre l'existence de deux communautés au mois d'avril et au mois de mai (figure 39). La première communauté comprend les Hyménoptères trophobiontes (*Tapinoma nigerrimum* et *Crematogaster scutellaris*) et les Homoptères (*Chaitophorus leucomela* et *Pemphigus bursarius*, et *P. protospirae*) avec une abondance plus grande en mai qu'au mois d'avril. La deuxième communauté est identique au cours des deux mois, avec une pente du modèle de Motomura plus faible que pour la communauté 1.

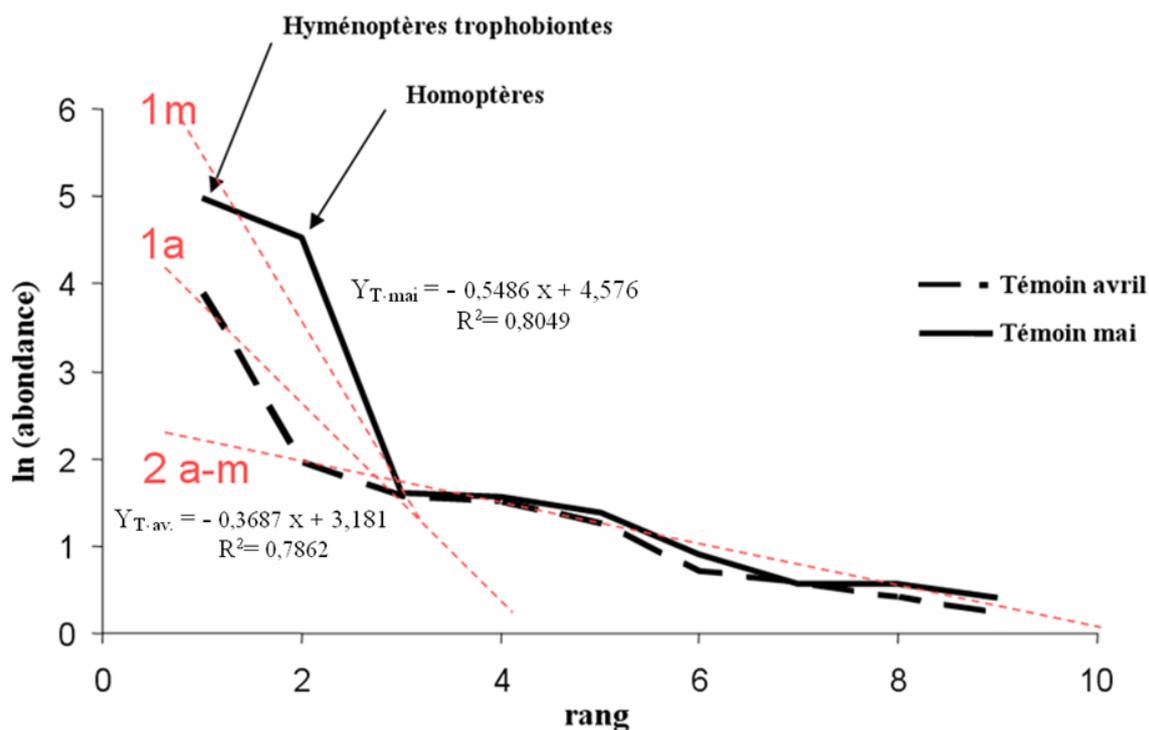


Figure 39 : Diagramme rang-fréquences dans le bloc témoin

1m : communauté 1 du mois de mai ; 1a : communauté 1 du mois d'avril ;  
2a-m : communauté 2 en avril-mai, d'après le modèle de Motomura

## 2. Vérification de l'homogénéité des blocs

Pour chaque groupe d'arthropode, une ANOVA a été réalisée sur les 4 prélèvements d'avril au niveau de chaque bloc. L'ensemble des résultats est résumé dans le tableau 21.

Tableau 21 : Test de l'homogénéité faunistique des 3 blocs

	F-ratio	Probabilités
Hyménoptères trophobiontes	0,061	0,941
Homoptères	1,093	0,376
Hémiptères	0,162	0,853
Orthoptères	0,269	0,770
Hyménoptères pollinisateurs	0,893	0,443
Coléoptères prédateurs	2,786	0,114
Aranéides	2,786	0,114
Coléoptères phytophages	0,273	0,767
Lépidoptères	0,500	0,620

Il n'apparaît pas de discordance dans l'abondance dans les différents groupes entre les trois blocs,

### 3. Effet des traitements sur les abondances des différents groupes

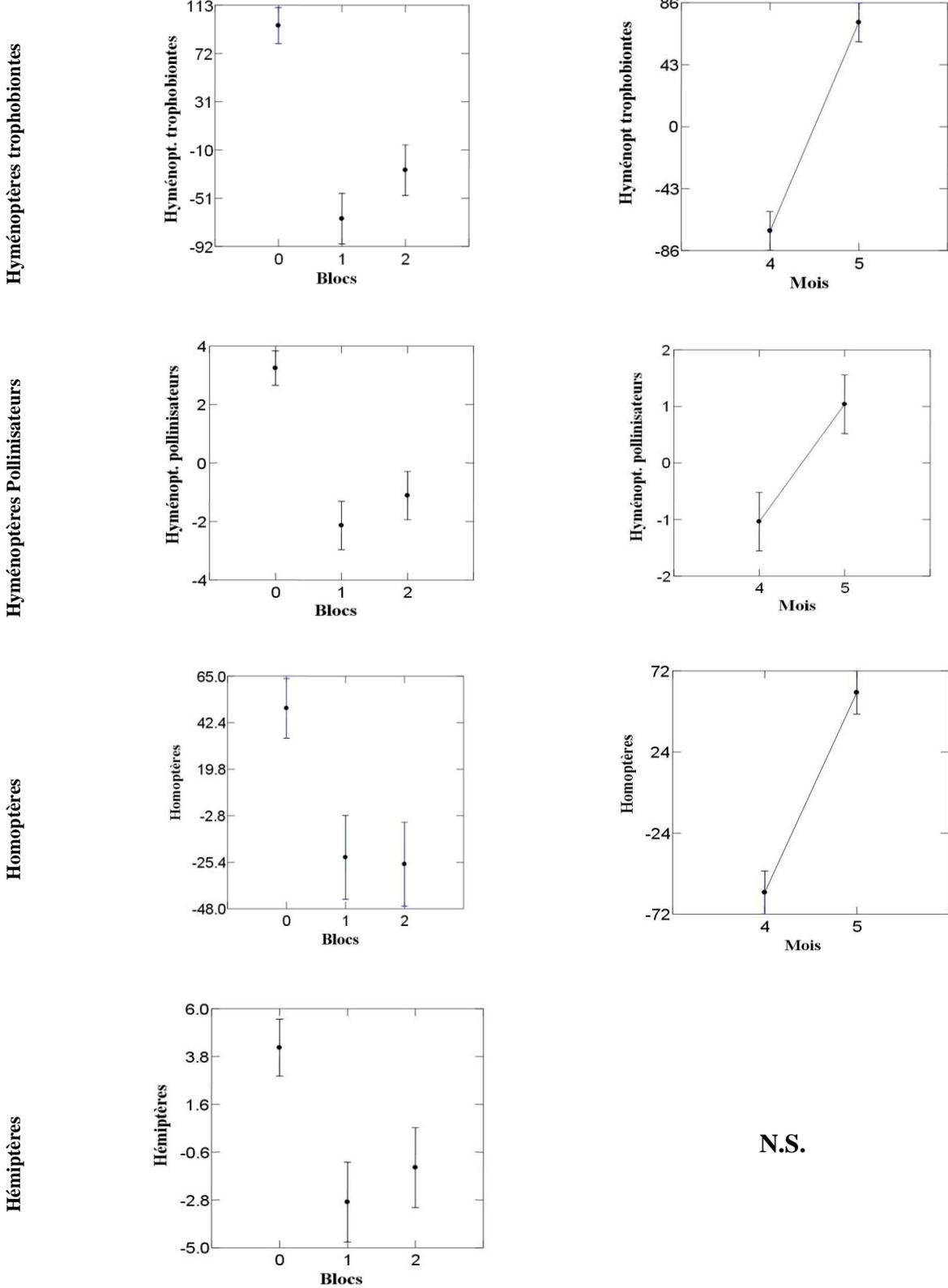
Le modèle G.L.M. a été appliqué en considérant deux facteurs sans interaction : l'effet du mois et l'effet du traitement, L'ensemble des résultats est rassemblé dans le tableau 22.

**Tableau 22 : Variations des abondances des différents groupes trophiques dans les 3 blocs**

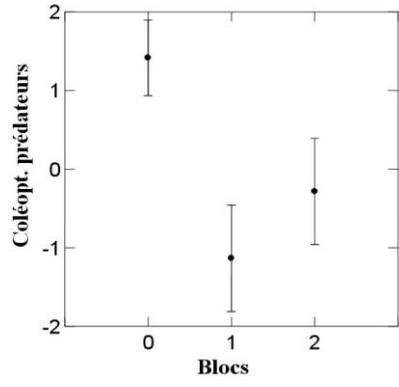
	Facteurs	Somme des carrés	d,d,l	Carrés moyens	F-ratio	P
Hyménoptères trophobiontes	Traitement	112885,643	2	56442,821	20,107	0,000
	Mois	81046,003	1	81046,003	28,871	0,000
	Var intra	56143,835	20	2807,192		
Hyménoptères Pollinisateurs	Traitement	128,577	2	64,289	15,477	0,000
	Mois	16,667	1	16,667	4,013	0,059
	Var intra	83,075	20	4,154		
Homoptères	Traitement	29273,483	2	14636,742	5,816	0,010
	Mois	54253,936	1	54253,936	21,559	0,000
	Var intra	50330,169	20	2516,508		
Hémiptères	Traitement	216,904	2	108,452	5,280	0,014
	Mois	37,100	1	37,100	1,806	0,194
	Var intra	410,835	20	20,542		
Lépidoptères	Traitement	2,691	2	1,345	5,239	0,015
	Mois	1,615	1	1,615	6,288	0,021
	Var intra	5,135	20	0,257		
Coléoptères prédateurs	Traitement	25,340	2	12,670	4,556	0,023
	Mois	8,327	1	8,327	2,994	0,099
	Var intra	55,617	20	2,781		
Coléoptères phytophages	Traitement	4,296	2	2,148	2,190	0,138
	Mois	4,133	1	4,133	4,214	0,053
	Var intra	19,617	20	0,981		
Orthoptères	Traitement	49,734	2	24,867	1,942	0,170
	Mois	119,594	1	119,594	9,340	0,006
	Var intra	256,092	20	12,805		
Aranéides	Traitement	7,633	2	3,817	2,691	0,092
	Mois	1,472	1	1,472	1,038	0,320
	Var intra	28,367	20	1,418		

D'une manière générale, les traitements qui allient les deux molécules (Oxamyle + Carbosulfan), en une seule application, sont plus toxiques que l'Oxamyle utilisé d'une manière répétée, la seule exception concernant les Lépidoptères (figure 40), Les insectes les plus touchés sont les Hyménoptères trophobiontes et pollinisateurs ( $p < 10^{-3}$ ), Ce résultat est logique dans la mesure où les fourmis trophobiontes prennent leur nourriture au niveau des pucerons, Les Homoptères sont également très affectés ( $p = 0,01$ ), suivis des Hémiptères et Lépidoptères ( $p$  voisin de 0,015), Enfin les Coléoptères prédateurs sont un peu moins

sensibles ( $p = 0,023$ ), Les autres arthropodes sont affectés marginalement comme les Aranéides ( $p = 0,09$ ), voire pas du tout, comme les Orthoptères et les Coléoptères ( $p > 0,12$ ),



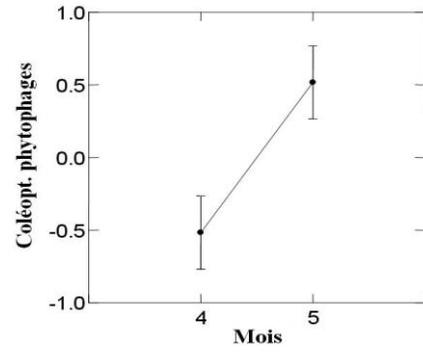
Coléoptères prédateurs



N.S.

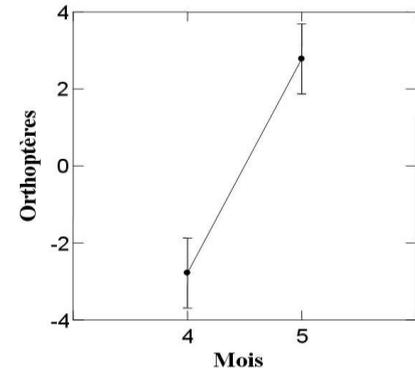
Coléoptères phytophages

N.S.



Orthoptères

N.S.



Lépidoptères

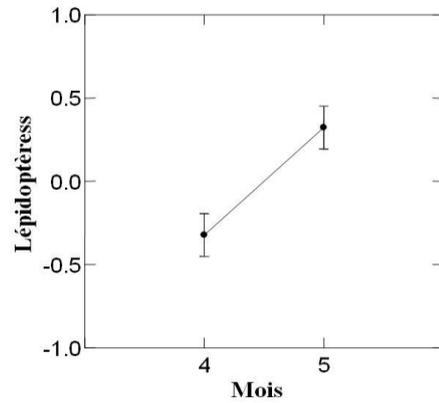
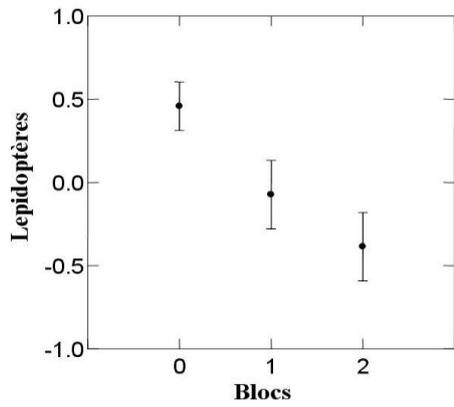


Figure 40 : Variation des abondances des différents groupes trophiques selon le traitement et le mois

N.S. : Variabilité Non Significative

## CHAPITRE IV. DISCUSSION

### I. Etude de la variation spatio-temporelle des groupes fonctionnels de l'entomocénose de *Populus nigra* L. dans la plaine de Mitidja

Les résultats de cette étude démontrent que le caractère successional de la zoocénose varie selon le stade phénologique de *Populus nigra*. sur les différents compartiments, la performance d'installation et la variation des abondances des groupes fonctionnels semble être tributaire des changements nutritionnels qui s'opèrent dans les feuilles et l'écorce. C'est donc dire que l'homogénéité globale des assemblages du début printemps-été et été observent un maximum de densités et de diversités, dus à un potentiel reproductif optimum qui correspond à une variation de la teneur en éléments essentiels (comme l'eau, les protéines et les composés énergétiques) et en composés de défense (composés de la résine: terpènes et sesquiterpènes), ces changements nutritionnels de la réserve des hydrates de carbone et de l'équilibre de l'eau peuvent aussi affecter la qualité de la défense de l'arbre dans la saison (Winks et Schimmer, 1999 ; Lindroth *et al.*, 2002 et Louis, 2004).

Le modèle successional des cinq assemblages relatifs aux différentes saisons obtenu par la DCA a indiqué globalement que la zoocénose semble réagir différemment et individuellement à travers le gradient d'évolution phénologique de la plante durant la période printano-estivale et que certaines variations additionnelles correspondant aux caractéristiques climatiques du milieu pourrait être indépendamment incluses pour expliquer la dispersion des espèces.

Ces analyses confirment que la valeur du site de recrutement (compartiment) des 55 espèces d'Hexapoda et des 18 espèces d'Arachnida, change en fonction de l'allocation phytochimique dicté par les réponses métaboliques de la plante aux variations saisonnières, et que notre système des classes trophiques compartimentales était utile pour représenter la succession des communautés et leurs variations d'abondances temporelles. Un des caractères novateurs de notre travail, grâce aux résultats des diagrammes rangs-fréquences et des comparaisons faunistiques, est que (i) les structures des communautés au sein des compartiments des feuilles, des rameaux, des galles et du tronc sont significativement différentes et (ii) le compartiment feuille abrite 2 communautés structurellement et fonctionnellement différentes, en terme de variation temporelles et d'abondance globale.

On peut trouver un parallèle avec les travaux portant sur la composition des communautés des coléoptères saproxyliques qui dépendent des caractéristiques des stocks de bois mort de résineux et de feuillus, et dénotent une différence structurale des communautés selon l'état de décomposition du bois (Schiegg, 2001 et Dodelin, 2006). Dans le même contexte, les travaux de Heliovaara et Vaisanen (1984) et Vanderwel *et al.* (2006), montrent que la disponibilité faunistique des communautés de quatre espèces de *Pinus sp.* varie significativement dans le temps selon le degré de faiblesse du sujet.

Par rapport aux interrogations citées en introduction, nous mettons en évidence une forte spécialisation des différentes communautés ou groupes trophiques par rapport à la qualité du substrat. Par l'étude des variations temporelles de chacune de ces communautés, on peut essayer d'interpréter leur déterminisme.

La communauté caractérisant le compartiment feuilles1 présente une densité assez marquée et un spectre d'activité qui s'étale au cours de toute l'année, bien que les espèces formant ce groupe trophique sont majoritairement spécialistes, leur abondance temporelle ne présente pas de différence significative. Le point charnière de ce rapprochement est l'espèce pionnière *Chaitophorus leucomelas* dont les fondatrices montrent une affinité pour les jeunes feuilles nouvellement débourrées. Alors que les jeunes feuilles du genre *Populus* sont connues par leurs fortes concentrations en composés phénoliques (Thomas Palo, 1984), et que le taux des flavonoïdes peut s'élever à 8,1% de la matière sèche (Thomas *et al.*, 1979), cela n'a pas dissuadé la continuité de la prise alimentaire même pour toutes les autres phases phénologiques. On suppose donc que cette indifférence se rapporte à un mécanisme d'adaptation nutritionnel lié à des facteurs de dégradations des composantes toxiques des végétaux dans leur tube digestif. D'ailleurs Chararas (1979) confirme cette tendance par le fait qu'un certain nombre d'insectes opophages via des micro-organismes symbiotiques (bactéries, levures) ou par l'action des enzymes particuliers s'accommodent à des substances toxiques qui agissent souvent comme des phagostimulants. Cette spécialisation permet à l'espèce de boucler plusieurs générations au cours du cycle phénologique de la plante hôte. Parallèlement, il s'avère que les premières colonies de *C. leucomelas* sont visitées par les ouvrières de *Crematogaster scutellaris* qui entretiennent leurs couvains déjà installés dans les galles de *P. lichtensteini*. Cette relation trophobiotique disparaîtra plus tard une fois que les colonies de *Tapinoma nigerrimum* rentrent en activité. La présente association durant la phase d'expansion foliaire, suppose que les pucerons fournissent une source importante de sucres aux fourmis sous forme de miellat (Larsen *et al.*, 1992 ; Gaume *et al.*, 2000).

Après la phase d'expansion foliaire, on assiste à l'installation des opophages généralistes immigrants représentés par *Chaitophorus populialbae* et *Monosteira unicostata* qui s'étalera jusqu'à la fin du cycle, profitant du fort taux d'acides aminés présents dans la sève lors de la croissance et la sénescence des feuilles (Dajoz, 1980).

Dans le compartiment Feuilles 2, la distribution des taxa a indiqué une certaine spécificité liée aux caractères phénologiques saisonniers des feuilles. Ainsi, le groupe des consommateurs primaires, bien que numériquement moins bien représenté que la communauté Feuilles 1, présente une richesse spécifique plus forte et des variations d'abondances temporelles très significatives entre les espèces printanières précoces et celles d'été tardives. Le groupe printanier prend de l'ampleur suite à l'installation d'espèces opophages gallicoles, spécifiquement sur pétiole (*P. bursarius* et *P. protospirae*) et limbe (*Pemphigus versicarius*) où leurs pics d'abondance coïncident avec la phase d'expansion foliaire, qu'on suppose opportune pour le développement des galles pouvant recevoir leurs progénitures. Urban (2004) rapporte des informations similaires sur les pucerons gallicoles évoluant sur les feuilles de *P. nigra*, où il démontre qu'en phase d'expansion la surface foliaire est proportionnelle à la taille des galles, et que suite aux sécrétions salivaires les jeunes tissus foliaires réagissent par la formation d'une hypertrophie que Pautov (1999), considère comme une stimulation de l'hypoderme sous épidermique qui est homologue à une ébauche foliaire.

A travers la phase de maturation des feuilles qui s'initie dès le mois de juin et permet l'installation de la communauté tardive Feuilles 2, cette dernière s'enrichit spécifiquement par le recrutement des mineuses (*Stigmella trimaculella*, *Phyllocnistis suffusella* et *Paraleucoptera sinuella*) et des phyllophages (*Dicranura vinulla*, *Stilpnotia salicis*, et *Lymantria dispar*). Étant pour leur grande majorité des espèces spécialistes, on peut croire à une adaptation trophique qui même confrontée à des composés toxiques, elles peuvent acquérir la performance reproductive grâce au maintien de la ressource énergétique au niveau

du support nourricier. Notre hypothèse rejoint les résultats de Gruppe *et al.* (1999) et Osier *et al.* (2000), qui ont montré que le niveau des tannins condensés et des glycosides phénoliques variait de manière imprévisible avec le temps, et ne réagit pas avec le modèle saisonnier, et donc peu sensible aux facteurs environnementaux. Par contre, les concentrations foliaires en eau, en azote et en acides aminés liés aux protéines sont assez faibles contre une disponibilité accrue d'hydrate de carbone solubles et une stabilité des quantités du glucose, fructose et sucrose, ce qui correspondrait à une qualité optimum pour la fitness des espèces phyllophages.

L'analyse des consommateurs secondaires met en évidence une variation d'abondance temporelle très significative et de la diversité spécifique qui culmine en été. La succession des groupes trophiques d'araignées, d'anthocorides-coccinelles et d'hyménoptères expliquerait donc en partie la forte accumulation des proies en saison estivale. Les informations concernant la partition relative des proies sont inexistantes ; il est par conséquent impossible de savoir l'impact trophique de chacun des groupes trophiques. Toutefois, la taille relativement importante des opophages indique que la partition du flux énergétique est relative en grande partie à l'activité des Coccinelidae par rapport aux autres groupes, il nous paraît donc que c'est l'hypothèse la plus probante pour expliquer la distribution uni modale de l'abondance temporelle des consommateurs secondaires, puisque Burgio *et al.* (1999 et 2006), signalent que la période s'étalant entre fin mai et début juillet est cruciale pour l'entretien des populations prédatrices qui se trouvent en période de reproduction.

La variabilité détectée en composition faunistique chez les consommateurs tertiaires met en évidence une stabilité de l'intégrité écologique du compartiment feuilles. A travers leur spectre d'abondance temporelle décalé par rapport à celui des consommateurs secondaires, les Mantidae forment un groupe trophique des consommateurs tertiaires qui participe à maintenir une pression mutuelle avec les consommateurs secondaire en mai et s'individualise en août et novembre. Cette prédominance de fin d'année peut être probablement connexe à la sortie des Pemphigidae émigrants (Urban, 2004), et à la disponibilité d'aliments de substitution pour atteindre la maturité sexuelle (Chaubet, 1992 ; Urban, 2004).

La distribution de l'abondance temporelle des trophobiontes a indiqué une certaine stabilité qui trouve sa justification par une relation de mutualisme (trophobiose) avec les Homoptères. L'association des Formicidae aux populations de *C. leucomelas* et *C. populialbae*, durant la période printano-estivale, suppose que les pucerons fournissent une source d'énergie notoire pour beaucoup de fourmis (Mckey et Meunier, 1996 ; Gaume *et al.*, 2000). En effet, les interactions globales à l'intérieur de la communauté font état de l'efficacité de ces fourmis dont élan de prédation était inhibé par l'accès permanent à une source de miellat tout en évitant les problèmes liés à la variation saisonnière de production de nectar par la plante hôte (Buckley, 1987 et Gaume et McKey, 2002).

Dans le compartiment rameaux, les consommateurs primaires ne présentent pas de variations temporelles d'abondances mais ils démontrent une performance de choix du support nourricier qui varie selon le stade physiologique du peuplier noir. Le décalage temporel démontré entre le groupe printano-estival et le groupe automnal est imputé à la variation saisonnière de la qualité des réserves véhiculées par le flux de sève au niveau des rameaux de l'année et les rameaux lignifiés. On considère que l'installation précoce du groupe trophique printano-estival sur les rameaux de l'année donnerait aux larves des opophages (Aphididae, Issidae, et Asterolecaniidae) et des coléoptères xylophages (Cerambycidae) plus de chances de survivre jusqu'au stade adulte. Plusieurs études (Edwards et Wanjura, 1989 ; Collinge et Louda, 1989) rapportent que durant le printemps, la majorité des composés essentiels et de

l'eau est allouée à la croissance végétative. Cette variation phénologique qui s'opère dans le rameau avec la saison, constituera une fenêtre phénologique qui imposerait aux consommateurs primaires une diète modulant leur optimum de fitness. Plus tard en automne, avec la lignification des rameaux, leur écorce s'enrichit en ressources de défense (Thomas Palo, 1984), même si leur valeur nutritive est inférieure (Haukioja, 1980), les populations de *Pterocomma populeum* et *Phloeomyzus passerinii* se rétablissent (Bernal et Simarro, 1986 ; De Tillesse *et al.*, 1999) pour compléter leur développement, ceci explique sans doute la manifestation du spectre d'abondance automnal.

Chez les consommateurs secondaires, le décalage temporel entre les communautés printano-estivale et automnale semble principalement influencé par la disponibilité faunistique en proies. Cette variable retrace les gradients de densité et de richesse spécifique des abondances des groupes trophiques. Parce qu'ils nouent des relations écologiques fortes avec les Aphididae, les consommateurs secondaires, majoritairement des Coccinellidae, réagissent aux pullulations de *P. populeum* et *P. passerinii* durant la période printano-estivale puis automnale (Bernal et Simarro, 1986). Ainsi, les coccinellides de la canopée en possédant des niches écologiques suffisamment distinctes et en exploitant des ressources différentes, évitent la compétition directe qui provoquerait une extinction locale d'une espèce par le principe de "l'exclusion compétitive" (Begon *et al.*, 1990).

Les galles issues de l'alimentation des fondatrices des Pemphigidae se dessèchent et tombent durant la phase de défeuillaison de la plante hôte, à l'exception des galles de *P. lichtensteini* qui sont d'emblée confectionnées sur rameaux au cours de l'installation de la saison hivernale, puis se lignifient, se dessèchent complètement et constitueront ainsi un abri pour les consommateurs secondaires durant les saisons printano-estivale et hivernale, et pour les populations de *Crematogaster scutellaris* (trophobionte) en début du printemps. La coexistence des différents groupes trophiques à l'intérieur de cette micro-niche à différents pas de temps, montre le caractère intercommunautaire d'*Oenopia doubleri* et *Crematogaster scutellaris* qui gouverne souvent leur distribution spatiale au niveau des compartiments de *Populus nigra* sur la base de la productivité de la zoocénose en matière assimilable. En fait le compartiment nourrirait le nombre maximal d'individus de chaque espèce compatible avec le maintien d'un écosystème équilibré (Brosset, 1974 *in* Pesson, 1974).

Les abondances des différents stades évolutifs de *Phloeomyzus passerinii* sur les tissus parenchymateux lignifiés du tronc (De Tillesse *et al.*, 1999) durant la période printano-estivale et plus particulièrement durant la période automnale, prouve le caractère nuisible de cet opophage strict au genre *Populus*. Sa synchronisation avec la sève de la phase de sénescence lui permet d'acquérir rapidement ses besoins énergétiques lui permettant de surmonter la phase de dormance de son hôte, puisque Kozłowski *et al.* (1991), démontrent que les conditions biochimiques qui prévalent en pleine saison en termes de quantité de carbone et d'azote se retrouvent encore sous forme de réserve dans le bois. Bien qu'au même titre que l'écorce des rameaux celui du tronc présente des concentrations beaucoup moins riche mais avec un éventail plus diversifié en ressources de défense (Thieme et Benecke, 1969 ; Thomas Palo, 1984), les femelles arrivent à atteindre la saison ultérieure.

A travers les résultats obtenus, trois facteurs environnementaux majeurs expliquent le mieux la richesse taxonomique des communautés et en partie leur distribution sur les différents compartiments. Il s'agit dans l'ordre d'importance : d'une dichotomie entre les spécificités alimentaires des consommateurs primaires, d'un gradient de la ressource énergétique et enfin d'un gradient en ressources de défense des supports nourriciers. L'hypothèse abordée sur la

différence fonctionnelle et structurelle en termes de variation temporelles et d'abondance globale au sein des compartiments (feuilles, rameaux, tronc et galles) a été en grande partie vérifié et la forte individualité des communautés au sein de chaque compartiment bien élucidée (Djazouli *et al.*, 2009<sub>a</sub>).

Dans la présente analyse, l'individualisation particulière du groupe trophique définissant les consommateurs primaires peut visiblement être expliquée par leur caractère résidentiel sur les différents compartiments. De plus l'amplitude des modifications histo-physiologiques, et les changements phytochimiques opérés au niveau des feuilles par rapport aux autres compartiments au fil de la saison de croissance, modulent le recrutement d'une importante diversité de taxa. Il en résulte une succession de communautés affectées par la variation saisonnière de la feuille, et les exigences reproductives des groupes trophiques. Cependant, on peut penser que les groupes trophiques acquièrent un bénéfice au niveau de leur fitness en adoptant un comportement de décalage des abondances temporelles sur des niches écologiques suffisamment distinctes et en exploitant des ressources différentes.

## **II. Etudes des effets de la composition minérale et protéique des feuilles de *Populus nigra* et *Populus deltoides* sur la dynamique des populations de *Chaitophorus leucomelas* (Koch, 1854) et *Phyllocnistis unipunctella* (Stephens, 1834) dans la peupleraie naturelle d'El Kala**

Plusieurs études ont montré l'importance de la présence de certains composés chimiques de la plante hôte dans l'attraction ou la répulsion des ravageurs. Ainsi, la présence de certains composés volatiles chez différentes espèces forestières (Winks et Schimmer, 1999 ; Turley *et al.*, 2006) limite les agressions parasitaires, dont certaines études ont montré l'implication de protéines foliaires hydrosolubles dans la défense contre les déprédateurs de légumineuses (Louis, 2004). Chez les espèces de *Populus*, les études phytochimiques ont porté principalement sur la variation entre saisons (Osier *et al.*, 2000), sur les effets de la photosynthèse (Magel *et al.*, 2006) ou sur les comparaisons clonales et la sénescence foliaire (Lindroth *et al.*, 2002). Les études de l'effet de la composition chimique sur les ravageurs chez les peupliers sont rares. Notre étude fait le parallèle entre la teneur en protéines et en minéraux et l'évolution de la dynamique des populations de deux insectes.

L'examen des résultats a montré une évolution contagieuse de *C. leucomelas* et de *P. unipunctella* respectivement durant les périodes printanière et automnale et la période printano-estivale, périodes durant lesquelles le nombre d'individus augmente et on assiste ainsi à un effet de groupement des différents stades recherchant les mêmes sites de nourritures. Ces périodes sont cruciales pour le bon développement de ces deux espèces de peupliers. L'automne est une période de transition entre la saison de croissance et la dormance, tandis que le printemps constitue la période inverse correspondant à la reprise de la pleine croissance. De ce fait, la dépendance nutritive des nuisibles est très prononcée selon la variabilité des saisons (Hilker et Schultz, 1994 ; Stobrawa et Lorenc-Plucińska, 2007).

Durant les deux périodes critiques de la croissance des peupliers, la variation de la teneur en calcium dans les feuilles des deux espèces-hôtes semble avoir un effet marqué sur la dynamique des populations des deux ravageurs étudiés. Ceci va dans le même sens que l'effet

des minéraux étant donné que Ca est le minéral dominant. Il apparaît clairement, dans nos résultats, que la baisse des populations des deux insectes dans les deux peupliers est synchronisée avec l'augmentation des teneurs en Ca dans les feuilles. Plusieurs études ont montré la localisation de Ca dans les cellules et son importance dans les échanges avec le milieu dans lequel les plantes évoluent. Une forte accumulation de ce cation est impliquée dans la stabilisation des membranes cellulaires mais également dans l'activité des enzymes associées aux parois des cellules végétales (Hall *et al.*, 2000). Le faible nombre d'individus durant la période de forte accumulation de Ca va également dans le sens de cette hypothèse. En effet, l'augmentation de la teneur en Ca favorise l'augmentation de la rigidité des parois cellulaires et celle de la cuticule (Crasnier *et al.*, 1985), et stimule également la production de callose, polymère glucidique (1,3- $\beta$ -glucane) qui est impliqué dans la défense à la blessure, et synthétisé par une enzyme régulée par le calcium (Giordanengo *et al.*, 2007).

Nos résultats montrent qu'avant chaque évolution massive de *C. leucomelas* sur *P. nigra*, un taux important de K est enregistré au niveau des feuilles. Cette relation est encore plus nette avec *P. unipunctella* sur *P. deltoides*. Les stades infestants de cette dernière espèce sont synchronisés avec le stade phénologique vulnérable des plantes. Cela obéit, toutefois, à un comportement favorisant l'optimisation des dépenses énergétiques depuis le support alimentaire. L'activité maximale de *P. unipunctella* serait donc liée non seulement aux conditions climatiques des périodes indiquées mais aussi aux constituants chimiques et biochimiques des feuilles qui apportent à l'insecte des éléments nutritifs importants (Djazouli, 2008). La répartition des populations de *P. unipunctella* redevient régulière vers la fin d'été, coïncidant ainsi avec des taux faibles de K. A ce stade, les feuilles présentent les mêmes possibilités d'être convoitées par les stades infestants de l'espèce notamment les jeunes feuilles. Ces dernières présentent, en général, des teneurs en K supérieures à celle des feuilles adultes. Ce qui confirme les résultats obtenus pour des essences résineuses dont il a été souligné que la fluctuation des quantités de K sont fonction de l'âge des feuilles des essences résineuses en reboisement et en peuplement artificiel (Martin-Prevel *et al.*, 1984).

L'attraction printanière et l'installation des insectes ravageurs sur les plantes hôtes dans les études bio-éco-éthologique sont liées aux constituants chimiques et biochimiques des plantes. De nombreux rapports ont montré que les constituants chimiques des plantes ont un impact considérable sur les populations d'insectes (Martin-Prevel *et al.*, 1984 ; Vincent et Boivin, 1986). Ces substances chimiques permettent à l'insecte de repérer la plante-hôte, de l'identifier, et d'y reconnaître les structures lui servant de nourriture et de substrat de ponte. Ainsi le phosphore augmente et améliore la saveur des plantes, ce qui est vérifié dans le cas de *C. leucomelas* sur *P. deltoides*. Ceci expliquerait pourquoi les sucres de sève se localisent sur les parties tendres de l'arbre (feuilles, pousses, écorce ou liber frais), particulièrement riches en glucides solubles. En effet, et en dehors du saccharose, du raffinose et du maltose, l'équipement osidasique des pucerons ne leur permet d'utiliser que deux polysaccharides, l'amidon et la pectine (Giordanengo *et al.*, 2007).

L'examen saisonnier de l'évolution des ravageurs étudiés révèle l'influence de la qualité phytochimique des plantes hôtes sur la dynamique des populations des espèces rencontrées ; c'est ce qui explique les conséquences d'agrégation dans un but d'exploitation sélective pour des besoins alimentaires ou la recherche de sites de pontes semblables. Nos résultats concordent avec ceux rapportés par les travaux de Mattson *et al.* (1988), qui ont établi des liens

entre l'évolution de *P. unipunctella* et la teneur en éléments minéraux des feuilles de *Populus tremuloïdes*. Ils signalent que l'augmentation du nombre des mines de *P. unipunctella* sur peuplier en conditions de culture artificielles est inversement proportionnelle avec les taux de minéraux. Ce travail souligne le lien entre les minéraux, le transfert d'énergie et le métabolisme des sucres. Leurs fluctuations indiquent des niveaux de populations variables chez *P. unipunctella*.

Des liens très faibles entre les protéines solubles pariétales et cytoplasmiques et la dynamique des populations des deux insectes étudiés ont été notés. En revanche, la corrélation négative signalée entre les concentrations des protéines hydrosolubles de *P. nigra* et l'évolution spatio-temporelle des populations de *C. leucomelas* et de *P. unipunctella* montre leurs effets protecteurs vis-à-vis des deux ravageurs. Aucune étude n'a été faite sur ces deux espèces évoluant dans des peupleraies naturelles. Cependant, des recherches sur d'autres familles de plantes ont mis en évidence la toxicité de certaines albumines chez les légumineuses (Louis, 2004). Il est bien connu maintenant l'existence de plusieurs endotoxines protéiques chez les *Fabaceae* et qui sont exploitées dans le domaine biotechnologique (Gérard Duc, communication personnelle). C'est une spécificité de cette famille botanique qui est probablement généralisable. L'effet de ces molécules sur les insectes n'est peut être pas du à ces protéines elles-mêmes mais aux groupements qui s'associent à ces protéines pour donner un composé toxique. Ainsi, il a été prouvé l'existence de liaisons covalentes entre polyphénols et protéines (Gruppe *et al.*, 1999). Cependant, cette association n'est particulière ni aux protéines solubles, ni aux seuls polyphénols de type tannins. La même association peut se réaliser dans le cas des protéines hydrosolubles et des polyphénols non tanins comme les flavonosides, coumestanes et isoflavones (Costes *et al.*, 1981). Malheureusement dans notre étude, les composés phénoliques n'ont pas été dosés. Cependant, les études menées sur d'autres espèces de peupliers en rotation dans des peupleraies artificielles confirment cette hypothèse. Ainsi, l'étude de l'effet des rotations de *Populus trichocarpa* et *P. tremula* x *P. tremuloïdes* sur les insectes défoliateurs à travers l'examen de la composition biochimique des feuilles a montré que la quantité des protéines et des sucres solubles n'explique pas l'augmentation de la sensibilité de ces deux espèces de peupliers à *Chrysomela* et à *Bystiscus populi* (Gruppe *et al.*, 1999). Néanmoins, ce travail a révélé une différence entre deux peupliers pour leur teneur en composés phénoliques confirmant ainsi l'implication de ces composés dans la protection des peupliers et d'autres espèces contre les déprédateurs (Costes *et al.*, 1981 ; Gruppe *et al.*, 1999).

En plus des effets des substances toxiques, des attributs de nature physique peuvent aussi favoriser l'attaque d'une espèce hôte voire d'une variété par rapport à une autre (Osier *et al.*, 2000). La relation privilégiée existant entre *P. unipunctella* et *P. deltoïdes* comparée à celle avec *P. nigra* var. *italica*, montre que les caractères physiques de l'épiderme foliaire quand il est soulevé par les larves mineuses, crée un microclimat grâce à la réception des rayons solaires. Ceci permet à l'espèce d'atteindre au moins son seuil thermique de développement. En effet, l'aspect physique revêt une importance capitale dans la relation plante hôte – insectes, qui serait capable de favoriser l'attaque. Ainsi, l'épiderme agit comme un réflecteur solaire et concentre la chaleur du soleil, ce qui augmente localement la température qui autrement serait difficile dans certaines périodes de l'année où le manque de chaleur constitue un facteur limitatif pour le développement des insectes (Vincent et Boivin, 1986).

La spécificité des ravageurs recensés sur *Populus*, en tant que plante hôte primaire, montre que chaque insecte recherche la plante hôte susceptible de lui procurer les substances nutritives indispensables à son évolution. L'alimentation recherchée par les opophages doit présenter une teneur en acides aminés, qui soit variable au cours de l'année, en fonction des étapes de développement des feuilles (Dixon et Stewart, 1975). Elle doit être faible en été lorsque les feuilles ont terminé leur croissance, et élevée au printemps lors de la croissance et en automne, lors de la sénescence. Ces modifications coïncident chez beaucoup de pucerons avec des variations de la fécondité.

Nos résultats ont montré que la variation des teneurs en éléments minéraux dans les feuilles des deux espèces hôtes coïncide avec le changement de répartition des deux ravageurs étudiés. Le potassium semble favoriser une répartition agrégative alors que l'augmentation de la teneur en calcium serait synchronisée avec une répartition normale.

### **III. Etude des effets de la variation qualitative de *Populus nigra* et *Populus deltoides* sur les traits de vies biochimiques de *Chaitophorus leucomelas* (Koch, 1854) dans les régions du littoral (Zéralda) et du sublittoral (Soumâa)**

Dans les conditions environnementales, les plantes sont souvent sujettes à des effets de nature variée (déficit hydrique, tolérance thermique, variabilité pédologique), pouvant engendrer une expression métabolique différente (Hopkins 1999 ; Bauce *et al.*, 2001 ; Forkner *et al.*, 2004). Ces réactions métaboliques se trouvent sous la dépendance, non seulement des facteurs génétiques (Appel, 1993), mais aussi d'une série de facteurs écologiques et culturels qui sont susceptibles d'influencer la composition du feuillage des plantes hôtes selon les actions anthropiques et la nature du stress (Chaboussou , 1975).

Ainsi, si l'on considère la répartition temporelle des principes actifs des peupliers selon les variables essence (*P. nigra*, *P. deltoides*) et localité (Zéralda, Soumâa) au cours de la période printano-estivale (mai, juin, juillet et août), on remarque que les teneurs foliaires en eau à Soumâa et Zéralda affichent des teneurs quantitatives relativement comparables selon les mois, ce qui entraîne que les variations temporelles des mesures des différents constituants des feuilles changent peu entre poids frais et poids sec. Il apparaît aussi que les principes actifs étudiés chez *P. nigra* et *P. deltoides* dans les régions de Soumâa et de Zéralda (tanins condensés, sucres totaux, et proline) sont quantitativement moins importants que la quantité d'eau et que chaque principe actif fluctue aux dépens des variations physiologiques de la plante selon sa réaction à la zone d'étude. Or l'étude quantitative fait ressortir que les sucres totaux des feuilles, étant des molécules produites en faible abondance chez les deux essences affichent une tendance à la diminution progressive au cours de la saison d'étude. De même, il est remarquable que les variations des tanins condensés eux-mêmes en quantités faibles, sont bien corrélées entre les 2 espèces de peuplier, en prenant les mesures sur les 2 sites et sur les 4 périodes. En revanche, les concentrations foliaires en proline, molécule marqueur de stress, sont très transitoires selon les stations et l'essence de Peuplier. Nous avons noté chez *Populus nigra* une concentration maximale au mois de juillet à Soumâa, mais décalée au mois d'août vers le littoral à Zéralda. Alors que chez *P. deltoides*, les très fortes concentrations coïncident avec les mois de mai et juin à Zéralda mais avec des quantités plus prononcées.

En résumé, la composition phytochimique des 2 espèces de peuplier sont globalement différentes. Leur plus ou moins forte ressemblance phytochimique est signalée pendant les mois juillet et août, les compositions des feuilles étant très voisines entre Zéralda et Soumâa. En dehors de cette période, la qualité foliaire est contrastée et fait apparaître une bonne acclimatation de *P. deltoides* à la région de Zéralda.

On peut donc émettre l'hypothèse que la similitude du profil phytochimique à la faveur des molécules de stress (proline) des deux localités d'étude, se soit déroulée à des hausses décalées de températures après l'installation de la période estivale. Cette hypothèse est étayée par les résultats de nombreux chercheurs, notamment Tsitsipis et Mittler (1978), qui signalent que l'intégration des conditions climatiques est susceptible de provoquer des modifications physiologiques en termes de qualité phytochimique de la plante.

Dy (1991) parle de 3 types de réponses des plantes à la sécheresse. **L'immunité** où la plante ignore le manque d'eau en ayant une absorption suffisante et éventuellement des réserves, **la résistance proprement dite** où la plante limite ses pertes, et enfin **la tolérance** où la plante fonctionne encore malgré un bilan hydrique déficitaire.

L'exposition des plantes à des conditions de sécheresse engendre une réaction d'adaptation qui se traduit par des changements de nature métabolique (sucres solubles totaux et proline), physiologique et morphologique. L'accumulation de la proline est l'une des stratégies adaptatives fréquemment observées chez les plantes pour limiter les effets du stress hydrique (Acevedo *et al.* 1989). Nemmar (1983), Monneveux et Nemmar (1986) affirment que cette accumulation de proline est beaucoup plus marquée chez les variétés considérées comme tolérantes à la sécheresse. Cette tendance vient corroborer nos observations relatives à la résistance de *Populus deltoides* dans la région du littoral (Zéralda), qui enregistre ainsi une plus grande teneur en proline que *P. nigra*.

L'évolution inversement proportionnelle des taux de sucres et de la proline obéit à une installation d'un stress hydrique qui fait le parallèle avec les conclusions de Hara *et al.*, (1998) et Bezzala et Chorfi (2005). Ces auteurs avancent que le déficit hydrique engendre une accumulation et une utilisation progressive en sucres solubles. Ils signalent également que ce remaniement des réserves amylacées pourrait être un facteur de tolérance au manque d'eau, et semble jouer un rôle très important dans le maintien d'une pression de turgescence qui est à la base des différents processus contrôlant la vie d'une plante.

De la quantification des principes actifs foliaire nous avons essayé de les comparer à l'évolution spatiotemporelle des réserves énergétiques et des mesures pondérales de *Chaitophorus leucomelas*. Le but est de comprendre l'effet de la variabilité saisonnière des éléments nutritifs sur l'allocation des réserves énergétiques et par la même occasion de donner des éléments d'explication sur la modulation de l'optimum écologique des femelles sur le terrain.

Nos expérimentations montrent une prépondérance des réserves énergétiques des individus de *C. leucomelas* évoluant sur *P. nigra* par rapport à ceux évoluant sur *P. deltoides* au niveau de la région de Soumâa. En revanche, chez les deux essences, on a noté que le poids des femelles est relié à la quantité des réserves lipidiques et que la tendance globale à la diminution saisonnière de ces 2 paramètres est plus nette encore au niveau des réserves glucidiques. Bien que le poids suive la fluctuation des réserves lipidiques, celui-ci reste toujours très faiblement

représenté chez les individus des générations évoluant à Soumâa. Par le coefficient de corrélation, nous avons pu mettre en évidence le fort lien existant entre les réserves lipidiques et des mesures pondérales avec les quantités d'eau et de sucres totaux disponibles dans les feuilles.

Nous confirmons l'hypothèse de la divergence de la composition phytochimique des 2 espèces de peuplier durant le printemps et de leur plus ou moins forte proximité pendant les mois juillet et août. Cette variabilité phytochimique (en général disparité des sucres totaux et augmentation des concentrations de la proline) semble entraîner des carences en poids et en réserves énergétiques de *C. leucomelas*.

Les causes du succès reproducteur sont certainement d'ordre étho-écologique mais d'autres facteurs peuvent intervenir comme la qualité nutritionnelle du support nutritif, sa tendreté, sa teneur en eau et la présence de molécules répulsives (Benderoth *et al.*, 2008). En effet, le rapprochement temporel des réserves énergétiques et des mesures pondérales avec la quantité phytochimique des feuilles de *P. nigra* et *P. deltoides* semblent réagir positivement avec la ressource saisonnière. Ce phénomène a également été décrit à partir d'observations de terrain par Larsson (1989) et Djazouli (1996). Il s'avère que la dépendance des opophages et leur maintien sur le feuillage des plantes hôtes est lié à la variation de la teneur en acides aminés de la sève au cours de l'année. Cette teneur est élevée au printemps et faible en été, ce qui pourra influencer la phase reproductrice et le conditionnement des femelles matures.

Les fluctuations des réserves énergétiques sont conditionnées par la disponibilité et la variabilité des éléments nutritifs (eau et hydrates de carbone) et des composés de défense en fonction des variations saisonnières des températures qui vont agir sur le cycle biologique du puceron (Ristola *et al.*, 1999) et vont moduler l'optimum écologique des femelles (Baier, 1996). Lors d'un déséquilibre nutritionnel, les femelles vont s'alimenter d'un matériel de moins bonne qualité nutritionnelle, pouvant entraîner des régressions ovariennes et donc une faible performance de ponte. Ce phénomène va permettre à ces femelles d'allouer ces ressources à leur longévité tout en reportant leur oviposition à un moment où les conditions seraient optimales (Awmack et Leather, 2002).

D'autre part, on peut expliquer la diminution des réserves énergétiques et du poids vers la fin d'été par un phénomène d'épuisement après une longue période d'exposition des pucerons à une alimentation médiocre (moins de sucres totaux, quantité de tanins condensés stable et concentration en proline élevée). Il est établi depuis longtemps que face à des substances toxiques présentes dans la plante, les insectes ont développé diverses stratégies qui vont de l'emmagasinement à la désintoxication du principe actif. De ce fait, d'importantes réactions métaboliques seront mises en place pour diminuer ou éviter les dommages causés par les métabolites de la plante hôte. Ces mécanismes coûtent en énergie et en ressources ce qui entraîne une plus faible disponibilité pour la construction des réserves énergétiques (Vincent et Boivin, 1986). Les travaux qui ont suivi se sont cependant concentrés sur le compromis réalisé entre les différentes activités comportementales autres qu'alimentaires et la disponibilité des réserves énergétiques. En effet, leur variation temporelle induit des changements dans le comportement sexuel (Ringo, 1996), parental (Gauthier-Clerc *et al.*, 2001), social (Wright *et al.*, 2001) ou migratoire (Nunes *et al.*, 1998), car en fonction de ses réserves, l'individu devra choisir entre s'alimenter ou réaliser une autre activité.

Ces quelques exemples issus de nos travaux et de la littérature, confortent donc l'idée du fort lien existant entre les réserves énergétiques et les mesures pondérales avec valeur nutritive des feuilles dont dépendait bien la fitness de l'insecte.

#### **IV. Etude des effets des variations thermiques sur les traits de vies biochimiques et pondéraux de *Chaitophorus leucomelas* (Koch, 1854)**

Pour comprendre la distribution et l'abondance d'une espèce, il est nécessaire de connaître son histoire, les conditions environnementales favorables, les ressources nécessaires, ses paramètres démographiques (taux de natalité, de migration...), et les effets des interactions intra et interspécifiques (Begon *et al.*, 1996). Les **conditions environnementales** sont les facteurs abiotiques, tels que la température, l'humidité, le pH, la salinité, la pression, l'oxygénation, voire la pollution, qui posent les **limites physico-chimiques** de son aire de répartition.

Il est de plus en plus manifeste que le réchauffement global actuel influence les écosystèmes et, notamment, induit la modification des aires de répartitions de certains groupes animaux. Parmi les Homoptères, le genre *Chaitophorus* est un organisme modèle pour étudier l'adaptation aux variations climatiques. En particulier, à travers cette étude nous avons tenté de mettre en évidence l'impact de la sélection naturelle liée au stress thermique et à la réponse métabolique des différentes générations de *Chaitophorus leucomelas* en matière de réserves énergétiques. Des études précédentes en biologie moléculaire (Lacoste, 2001), et en écologie fonctionnelle (Fleming et Volney, 1995 ; Lavoit, 2004), ont permis d'aboutir à un schéma global **d'interaction milieu / individu / stress thermique** qui sélectionne des modes **d'adaptation** particulièrement représentatifs des **processus microévolutifs** selon les **niches microclimatiques**.

La théorie des traits d'histoire de vie cherche donc à fournir une explication évolutive pour interpréter la diversité et la complexité du cycle de vie d'une espèce, à élucider le mécanisme d'allocation des ressources destinées à la croissance et la maintenance des fonctions somatiques avec les performances reproductrices, ou "effort de reproduction" (Levins, 1968 ; Barbault, 1984 ; Roff, 1992).

Au cours de cette expérience préliminaire, il est possible de constater que cette apparente corrélation positive entre les réserves énergétiques des fondatrigenes de *C. leucomelas* et les variations thermiques constatées au niveau des régions d'étude durant la période printanière est systématiquement soutenue par les divers résultats relatives à la qualité nutritive de l'hôte. En général, la réponse physiologique des femelles fondatrigenes augmente avec l'élévation des températures et la disponibilité du feuillage en nutriments.

Les données bibliographiques (Hough et Pimentel, 1978 ; Scriber et Slansky, 1981 ; Rhoades, 1983 ; Lorenzetti, 1998) devraient également nous permettre de signaler que plusieurs facteurs exercent une influence sur la dynamique des populations d'insectes ravageurs, mais une connaissance de l'écologie nutritionnelle de ces insectes est essentielle pour compléter une image adéquate de ces facteurs et de leurs interactions. Dans leur environnement, les insectes phytophages sont susceptibles de rencontrer au cours de leur existence une gamme de

ressources dont la qualité nutritive est très variable. La qualité nutritive du feuillage dépend surtout de son contenu en éléments nutritifs (azote, sucres et eau) et peut être affectée par la présence de substances allélochimiques (phénols, terpènes, etc.). Cette variabilité dans la qualité nutritive du feuillage entre les plantes relève de plusieurs facteurs, tels que la nature des espèces et des conditions abiotiques dans l'environnement, et est susceptible d'influencer la biologie des insectes herbivores.

Les analyses biochimiques réalisées par Lorenzetti (1998) et Fortin (2000), ont démontré que le feuillage du peuplier apparu dans le cas d'un printemps tardif contient environ deux fois plus de sucres solubles par rapport aux phénols totaux (composés de défense), ce qui confirme la performance biologique (temps du développement larvaire et poids des individus) des opophages comparés aux autres ravageurs du peuplier.

Sous l'hypothèse que les femelles dépendent entièrement de la disponibilité de ses plantes hôtes pour survivre et se reproduire et que la capacité de sélectionner un endroit propice au bon développement de sa progéniture affecte le succès reproducteur d'un individu (Bell, 1991; Maher, 2002), on suppose que le succès reproductif qu'obtiennent les sexupares peut être intimement relié aux performances des fondatrigenes. Ce phénomène est sans équivoque lié au fait que les feuilles développées durant le printemps, représentent une bonne source d'acides aminés, de protéines de glucides et de lipides pour les générations aptères et ailées de fondatrigenes de *C. leucomelas* et par conséquent, elle servira pour maximiser la survie larvaire, et plus tard, augmenter le taux de survie de la progéniture des adultes.

Dans l'esprit d'interpréter l'importance des réserves énergétiques (lipides et sucres) et des mesures pondérales des fondatrigenes aptères (première génération) et ailées (deuxième génération), au niveau de la région de Soumâa, tel que démontré dans les résultats obtenus, il semble que la partition de l'effort de reproduction est destinée à la fois à la **reproduction** et au **conditionnement**. Cet investissement de l'espèce en quantité énorme d'énergie est alloué à l'effet température / qualité nutritionnelle du support alimentaire. Ceci nous conduit à penser de façon hâtive que la production d'un nombre très élevé de larves néonates par parthénogénèse constitue une adaptation de *C. leucomelas* à maintenir une fréquence des épisodes reproducteurs même si la période sèche se déclare supérieure à 6 mois. Plusieurs études portant sur l'effort de reproduction en matière d'adaptation des organismes à la forme **itéropares** et la forme **semélipares** (Cole, 1954 in Charnov et Schaffer, 1973 ; Ranta *et al.* 2002). Ces études démontrent que le schéma d'investissement dans la reproduction est particulièrement variable selon les espèces. Classiquement, on réalise une distinction entre les organismes dits **itéropares** où la vie reproductrice est constituée d'une succession d'épisodes reproducteurs, Alors que chez **seméliparites**, la vie reproductrice présente une seule opportunité de reproduction associée à la mort systématique de l'organisme.

L'élucidation des pressions sélectives favorisant l'adaptation à l'itéroparité ou à seméliparité ou à la transition entre les deux modes, reste néanmoins une question complexe, située au coeur même de l'étude des traits d'histoire de vie (Boyle, 1983 ; Corkum *et al.*, 1997 ; Crespi et Teo, 2002).

Les résultats obtenus dénotent un déficit des taux des réserves lipidiques et glucidiques des deux générations de sexupares de *C. leucomelas* et leurs importances au niveau des individus prélevés des régions de Gouraya et de Dar El Beida comparés à ceux prélevés de la région de Soumâa. Il s'agit également d'installation d'un ordre croissant des niveaux des biomarqueurs énergétiques avec l'augmentation des températures moyennes selon un gradient dépendant de

la période sèche dans les sites de Gouraya, Dar El Beida et Soumâa avec des durées respectives de 9 mois, 7 mois et 6 mois. De plus, les mesures pondérales des sexupares n'étaient plus concernées par la discrimination régionale.

Ce résultat peut s'expliquer par le degré d'associabilité de la disponibilité lipidique et glucidique avec le facteur thermique, qui à notre avis module l'expression physiologique des sexupares via des modifications opérées sur l'intégrité de la plante hôte.

Ainsi, notre hypothèse est une continuité de la synthèse très complète de nombreuses observations réalisées par Mattson et Haack (1987) ; Koricheva *et al.*, (1998), qui suggèrent que les sécheresses favorisent les pullulations d'insectes phytophages. Outre un effet indirect souvent bénéfique sur les insectes eux mêmes (températures plus élevées, précipitations plus faibles), les sécheresses ont aussi une action indirecte sur les phytophages via leur plante hôte. Ainsi, l'augmentation de la température de surface des feuilles du fait de la fermeture des stomates serait souvent de l'ordre de 2 à 4°C, et cet environnement thermique pourrait être idéal pour beaucoup d'insectes. De plus, la qualité nutritive des feuilles s'améliore généralement en cas de sécheresse, par suite de l'augmentation de la concentration en composés azotés solubles (acides aminés) ou en sucres. Également, une des conséquences majeures des sécheresses est de provoquer l'affaiblissement des arbres et de conduire à une baisse de leurs capacités de résistance. Souvent, on assiste à une augmentation de la concentration en certains composés secondaires dans les tissus des plantes. Celle-ci neutraliserait fréquemment l'effet bénéfique de l'augmentation de la concentration en azote soluble.

De même, Cates et Alexander (1992), avancent qu'un arbre mal alimenté en eau, peut aussi être plus attractif pour les insectes à cause d'une modification de son spectre d'odeurs (émission de volatiles attractifs tels que l'éthanol ou la modification du spectre de terpènes), composés qui permettent aux arbres de repousser les attaques des ravageurs pionniers.

Bien que les variations pondérales font ressortir l'existence de contraintes sur les traits d'histoire de vie des générations sexupares évoluant en fin d'été, par l'affichage de poids finaux parfois très faibles, ceci suggèrent une compensation de l'effort reproductif par rapport à celui du conditionnement. Dans notre cas, on peut interpréter la diminution de l'allocation de l'énergie pour les réserves, à poids constant, comme une augmentation de l'effort reproducteur. Par ailleurs, d'après Lessells (1991) et Stearns (1992), de telles variations, se justifient par d'importantes fluctuations ou limitations à la fois dans des facteurs biotiques (stades phénologiques de la plante hôte) et abiotiques (paramètres physiques : température, hygrométrie). Dans cette situation, les organismes ne vont disposer que d'une quantité limitante d'énergie qui devra être allouée à la reproduction aux dépens des autres des fonctions (la croissance et la maintenance). Dans un tel contexte, la maximisation du succès reproducteur à vie passera par une optimisation de l'investissement dans chaque épisode reproducteur.

De façon conjointe, les fortes valeurs des biomarqueurs énergétiques enregistrées chez les sexupares à Gouraya, indiquent des conditions globalement favorables. L'allocation des ressources est en conséquence dirigée vers le stockage des réserves à la fois lipidiques et glucidiques.

En outre, il est indispensable lorsqu'on traite le complexe interaction milieu / individu / stress thermique, de citer au passage que l'élévation de la température joue également sur les cortèges de parasites et prédateurs des insectes ravageurs (Mattson et Haack, 1987). Leurs optimums thermiques pouvant être différents, le réchauffement climatique serait parfois favorable aux insectes ravageurs (Fleming et Volney, 1995), et parfois favorable à ses ennemis naturels (Skirvin *et al.*, 1997). Un développement de l'insecte ravageur accéléré par rapport à celui de son parasite ou prédateur pourrait en outre lui permettre dans certains cas d'échapper à son agresseur, et donc de bénéficier d'un effet de **refuge temporel** (Hassell *et al.*, 1993).

Dans un tel contexte, il est légitime d'avancer que les modifications du climat (température ou pluviosité), qui sont susceptibles d'avoir des conséquences directes sur la disponibilité des insectes ravageurs, doivent être intégrées dans un processus de prédiction de façon à contenir les réponses physiologiques, comportementales et biologiques dans le cadre des changements globaux. Il est plutôt clair que des modifications à long terme de la pluviométrie ou des températures plus élevées semblent néanmoins exercer une influence déterminante sur l'importance des épidémies, même s'il est très difficile de prévoir quelles seraient les déprédateurs favorisés ou défavorisés.

Cependant, jusqu'à ce que les performances inter-génération des insectes (fécondité...) soient également considérées et ensuite placées dans le contexte de la dynamique des espèces sur le terrain (performance des ennemis naturels...), des prédictions sérieuses sur le devenir des insectes phytophages dans un environnement à variation thermique accru ne pourront pas être faites d'une manière définitive. En effet, même de faibles effets de la qualité de l'hôte et des actions anthropiques sur des paramètres de performance des individus (la survie, le développement, la croissance et la fécondité) peuvent, à travers des effets multiplicatifs, avoir un impact significatif sur les populations.

## **V. Etude des effets des doses de l'Oxamyle (pesticide) sur les traits de vies biochimiques et pondéraux de *Phloeomyzus passerinii* (Signoret, 1875)**

L'importance des dégâts provoqués par le puceron lanigère du peuplier *Phloeomyzus passerinii* rend indispensable la mise en œuvre d'un ensemble de procédés de lutte. Les précautions prophylactiques et les pratiques culturales consistent à éliminer les sources d'infestation et peuvent réduire la propagation du parasite. Le recours à la lutte chimique reste la méthode la plus employée et la plus appréciée par les agriculteurs. Malgré son efficacité rapide, elle est non durable. Les ravageurs peuvent souvent développer une résistance au bout d'un certain temps, parfois très court (Blancard, 1988 ; Urban, 1997).

L'action des produits phytosanitaires sur les déprédateurs des cultures peut avoir comme conséquence divers changements internes. Une fois qu'un produit chimique pénètre l'organisme, il peut altérer directement le système endocrinien. De même, il peut aussi altérer indirectement l'attribution d'énergie, ce qui affecte la capacité reproductrice de l'individu qui déterminera de sérieuses perturbations sur le plan individuel et interindividuel (Mayer *et al.*, 1992 ; Lagadic *et al.*, 1997).

L'évaluation des conséquences physio-toxicologiques résultant de l'exposition d'un organisme à un stress chimique, implique une évaluation aussi précise que possible des causes

et des modalités de la perturbation. En outre, elle nécessite la connaissance des domaines de variations des paramètres écophysologiques dans la population exposée de l'espèce considérée. Il est nécessaire d'identifier les biomarqueurs permettant d'évaluer de façon aussi précoce que possible l'impact potentiel du produit susceptible de fluctuer selon les mécanismes d'exposition.

Dans le cadre des premiers résultats qui ont visé la sensibilité des réserves énergétiques (lipides et sucres) suite à l'exposition à un aphicide systémique, on constate une variabilité dans la teneur en lipides qui semble dépendre de la concentration du produit et du temps d'exposition.

Pour confirmer ce fait, l'analyse de la variance traduit une absence d'expression du poids par rapport à la dose est qui va se maintenir dans temps.

La liaison de la variabilité au sein du complexe lipido-glucidique révèle une corrélation positive à partir dès 3h d'exposition à la dose normale, avec une couverture lipidique plus prononcée comparais aux quantités des glucides.

La différence observée au niveau des lipides et des glucides peut être expliquée probablement par une modification des traits de vie des femelles de *P. passerinii* suite à leur exposition. Cette hypothèse peut traduire un phénomène d'hormesis (effet favorable d'un toxique sur la physiologie ou le comportement d'un organisme).

Calabrese (1999), signale en effet, que le phénomène d'hormesis, est relatif aux concentrations du produit, qui même à faible concentration peut induire une perturbation de l'homéostasie, à laquelle l'organisme réagit par une surcompensation de l'effet.

Ces surcompensations pourraient refléter :

1. Soit une augmentation des métabolites lipidiques, favorisant ainsi le stockage du toxique. Ceci est en accord avec les résultats de Van Gijndy *et al.* (1967), qui avancent que les concentrations du produit chimique testé sur les juvéniles du genre *Meloidogyne spp.* ont grandement influencé le métabolisme lipidique. D'un autre côté, l'étude stipule que les lipides emmagasinés peuvent avoir une fonction structurale plutôt que métabolique.

2. Soit une stimulation directe de la reproduction, ce qui indique l'augmentation rapide des lipides témoignant l'expression de leur mise en réserve, probablement pour débiter plus précocement l'ovogenèse ou pour produire une quantité plus importante d'oeufs. Cette hypothèse rejoindrait les résultats de Gilbert et O'Connor (1970) ; Beenackers *et al.*, (1981) et Testerink (1982), selon lesquels, il se peut que les produits phytosanitaires stimulent la reproduction, soit en augmentant la production d'oeufs et/ou en raccourcissant le temps requis avant la première ponte. De ce fait les modèles expérimentés ont plus d'oeufs développés et leur poids en est augmenté, tandis que les témoins ont développé moins d'oeufs ou pondent plus tardivement.

Un des exemples les mieux illustrés concerne la diminution de la durée de vie des invertébrés du sol exposés aux produits phytosanitaires. Cela a été signalé par Palevody (1985) qui a pu montrer que *Folsomia candida* (*Arthropleona, Isotomidae*). Hopkin (1997), soumis à des concentrations de dinosèbe aurait donc une croissance plus rapide dès le début de l'expérience pour atteindre la maturité sexuelle plus tôt afin de pondre plus rapidement.

Selon Thibaud (1980), le contenu en lipides des insectes peut varier de 1% à 50% du poids frais. Ce pourcentage dépend des espèces, de leur activité nutritionnelle et de leur constitution de réserves pour la production des œufs.

En revanche, la diminution du poids par rapport aux lipides, semble s'accroître avec le temps.

Cette diminution du poids peut être le fait :

1. D'une séquestration des réserves lipidiques au profit de l'ovogenèse. Cette hypothèse va dans le sens des observations de Levins (1968), quand il écrit que la ponte fait partie intégrante de la reproduction, nécessitant très vraisemblablement une dépense énergétique forte. Par conséquent, selon le principe de l'Allocation et si les ressources de l'organisme sont en quantités limitantes, certaines fonctions somatiques sont négligées au profit des fonctions de reproduction. Il existe alors un compromis entre les deux types de fonctions.

2. D'un épuisement des réserves énergétiques suite à la détoxification du produit phytosanitaire assimilé. Cette approche va dans le sens des observations de Martikainen et Rantalainen (1999), qui ont mis en évidence une réduction de la croissance de collemboles en présence de diméthoate (Insecticide).

Ainsi, il semble qu'après avoir subi une stimulation de leur croissance pour augmenter leur résistance et/ou pour accélérer la reproduction, et après avoir mis en jeu des moyens de détoxification, les collemboles en contact avec du dinosèbe voient leurs réserves énergétiques s'épuiser, ce qui se traduit par une diminution du poids au cours du temps.

Selon L'Hélias (1970), les réserves glycosidiques varient en accord avec les différentes étapes de développement. Elles augmentent pendant les périodes de repos et diminuent pendant les périodes d'activité métabolique. Chez les insectes, c'est le tréhalose qui est utilisé comme source primaire d'énergie pour de nombreuses fonctions. La transition du repos au travail chez de nombreux insectes implique souvent une très grande augmentation dans la vitesse d'utilisation de l'énergie. L'hypothèse de Lagadic *et al.* (1994) avance que la nature transitoire des changements dans les concentrations de glucose dans l'hémolymphe des insectes limite l'utilité du glucose comme indicateur de stress. De ce fait, peu d'études ont été conduites sur les effets induits par des toxiques sur le glucose des invertébrés.

Les résultats auxquels nous avons abouti dénotent que la quantité des lipides est bien plus importante que celle des sucres. Ainsi, il semble qu'au niveau des dosages de laboratoire, les lipides représentent un biomarqueur plus pratique que les sucres lorsqu'on travaille sur des individus en entier et de très petite taille.

Cependant, la relation entre la teneur en sucres et les produits phytosanitaires a été mise en évidence partiellement. Il n'est pas à exclure que ceux-ci puissent être utilisés comme biomarqueurs de toxicité. Mais pour cela, il importe de mieux comprendre le métabolisme des sucres chez les invertébrés en s'orientant vers les enzymes impliquées dans le métabolisme des sucres qui semblent des biomarqueurs potentiels plus prometteurs de la pollution chez les invertébrés.

Bien que les biomarqueurs lipidiques, glucidiques et pondéraux présentés dans cette étude ne sont pas exhaustifs dans la mise en évidence des déséquilibres biochimiques ou physiologiques, susceptibles de révéler précocement l'exposition des femelles de *P. passerinii* à différentes concentrations d'Oxamyle, il est nécessaire de prendre en considération les fluctuations naturelles (annuelles, saisonnières et circadiennes), inhérentes au stade de développement et de celles, intrinsèques, propres aux individus (âge, maturité, sexe, et état nutritionnel), voire même de celles associées à des processus adaptatifs comme le parasitisme.

En revanche, l'aspect traité par l'étude, ouvre une ébauche vers une voie de recherche dans un contexte écotoxicologique, permettant d'évaluer la nature et l'ampleur des perturbations générées par l'exposition chronique aux produits phytopharmaceutiques présents dans les agro-écosystèmes (Djazouli *et al.*, 2009<sub>b</sub>).

## **VI. Effet des matières actives des pesticides sur la biocénose associée à *Chaitophorus leucomelas* sur *Populus nigra***

L'évaluation des conséquences physio-toxicologiques résultant de l'exposition d'un organisme à un stress chimique, peut également être appréhendée au travers de l'étude des biocénoses.

Nous observons au niveau du peuplier noir dans un contexte urbain une succession de 2 communautés, une composée par les pucerons et les fourmis trophobiontes et l'autre par une faune non liée aux pucerons. C'est la première communauté qui subit le plus les effets des applications phytosanitaires. Au sein de la 2<sup>ème</sup> communauté, les Hyménoptères pollinisateurs sont également les plus sensibles aux effets de ces insecticides. Cependant, pour d'autres insectes, comme les Coléoptères phytophages, ou les Orthoptères, nous n'avons pas pu mettre en évidence de différences nettes par rapport aux témoins.

Nous pouvons avancer l'hypothèse que la répercussion des pesticides plus importante sur les pucerons et hyménoptères trophobiontes que sur la majorité des autres arthropodes pourrait venir de la faible taille des pucerons. Ces organismes auraient plus de difficultés à surmonter les molécules toxiques auxquelles ils sont confrontés que des organismes plus gros. Par voie de conséquence, les fourmis trophobiontes subiraient de manière directe par l'effet résiduel des mêmes produits présents sur les feuilles et de manière indirecte à travers leurs relations de mutualisme (appelées trophobioses) avec les pucerons. Pour Völkl *et al.*, (1999), et Delabie (2001) les interactions globales à l'intérieur des communautés font état d'évolutions ancestrales entre les différents groupes d'insectes, bien que ce phénomène ait atteint sa plénitude, à des degrés différents et avec des adaptations convergentes, dans le cas des relations fourmis-Homoptères. Comme les fourmis ne sont pas capables de s'alimenter directement de matière végétale, à l'exception des espèces champignonnistes, les fourmis ont développé plusieurs types de rapports trophobiotiques avec les producteurs de miellat. La quantité et la qualité de cette dernière sont responsables de la hiérarchie qui existe pour l'entretien des pucerons par les fourmis. Plus la qualité et la quantité du miellat sont importantes pour une espèce de puceron donnée et plus l'entretien par les fourmis sera important.

Concernant les Hyménoptères pollinisateurs, leur activité s'inscrit dans la recherche de la substance résineuse, gommeuse et balsamique existant au niveau des bourgeons qui semblent être la source principale de la production ultérieure de propolis (Lavie, 1975). A ce titre, la rémanence du produit pourra affecter à des degrés variables l'intégrité de ces insectes.

Sous l'hypothèse que les produits phytosanitaires ont provoqué un effet de choc (Knock Down), on suppose que la modification spatiale de la disponibilité faunistique est relative à la nature de la réponse déclenchée par chaque modèle biologique au stress subi pour recouvrer son homéostasie. Cette conception va dans le sens des observations de Cheroux (1980) qui signale que lorsque l'insecte reçoit une certaine quantité d'insecticide par contact, l'organisme s'organise pour essayer de neutraliser ces substances. Les applications en mélange de 2 produits ont d'une manière générale plus d'impact que l'action répétée d'une seule molécule. Une première partie de l'insecticide sera éliminée par voie naturelle et une deuxième partie sera métabolisée par l'insecte pour rendre le composé moins toxique, ce phénomène jouant un rôle très important dans la manifestation de l'effet K.D. De plus, la mortalité par unité de temps est liée au taux de détoxification par l'intermédiaire de l'effet K.D. Le rétablissement sera en conséquence plus aisé dans le cas d'une réaction face à une seule molécule.

Il aurait été intéressant de suivre l'évolution des structures des communautés au cours de l'été pour estimer cette faculté de récupération cénotique.

## CONCLUSIONS-PERSPECTIVES

Au terme de cette thèse, les résultats obtenus font ressortir un certain nombre de réponses aux objectifs déclarés.

- Les résultats de l'étude de la variation spatio-temporelle des groupes fonctionnels de l'entomocénose de *Populus nigra* dans la plaine de Mitidja, démontrent que le caractère successional de la zoocénose varie en rapport avec le stade phénologique de *Populus nigra* sur les différents compartiments (feuilles, rameaux, tronc et galle). La performance d'installation et la variation des abondances des groupes fonctionnels semble être tributaire de la valeur du site de recrutement des compartiments (55 espèces d'Hexapoda et 18 espèces d'Arachnida) qui change en fonction de l'allocation phytochimique dictée par les réponses métaboliques de la plante aux variations saisonnières. Nos analyses confirment que les comparaisons des structures des communautés au sein des compartiments des feuilles, des rameaux, des galles et du tronc sont significativement différentes et que le compartiment feuille abrite 2 communautés structurellement et fonctionnellement différentes, en terme de variation temporelles et d'abondance globale. Il est à noter que l'homogénéité globale des assemblages du début printemps-été et été observent un maximum de densités et de diversités, dus à un potentiel reproductif optimum correspondant à une variation de la teneur en éléments essentiels (comme l'eau, les protéines et les composés énergétiques) et en composés de défense (composés de la résine: terpènes et sesquiterpènes). Ces changements nutritionnels de la réserve des hydrates de carbone et de l'équilibre de l'eau peuvent aussi affecter la qualité de la défense de l'arbre dans la saison.

A travers les résultats obtenus, trois facteurs environnementaux majeurs expliquent le mieux la richesse taxonomique des communautés et en partie leur distribution sur les différents compartiments. Il s'agit dans l'ordre d'importance : d'une dichotomie entre les spécificités alimentaires des consommateurs primaires, d'un gradient de la ressource énergétique et enfin d'un gradient en ressources de défense des supports nourriciers. L'hypothèse abordée sur la différence fonctionnelle et structurelle en termes de variation temporelles et d'abondance globale au sein des compartiments a été en grande partie vérifiée et la forte individualité des communautés au sein de chaque compartiment bien élucidée. Il serait intéressant d'examiner la succession saisonnière et compartimentale sur des peuplements naturels par l'aspect énergétique : comment varient les réserves lipidiques par exemple au cours de la saison, en fonction de la position dans le groupe trophique (trophobiontes, pucerons et prédateurs de pucerons), en fonction des qualités phytochimiques des différents compartiments ?

- Le présent aspect d'étude constitue une première étude de la variation des ravageurs et de la composition chimique des espèces-hôtes (*Populus nigra* et *Populus deltoides*) évoluant dans une peupleraie naturelle. L'examen des résultats de la qualité phytochimique des feuilles des essences hôtes a montré l'existence d'une évolution contagieuse de *Chaitophorus leucomelas* et de *Phyllocnistis unipunctella* respectivement durant les périodes printanière et automnale et la période printano-estivale. Ces périodes sont cruciales pour le bon développement de ces deux espèces de peupliers. L'automne est une période de transition entre la saison de croissance et la dormance, tandis que le printemps constitue la période inverse correspondant à la reprise de la pleine croissance. De ce fait, la dépendance nutritive des nuisibles est très prononcée selon la variabilité des saisons.

Durant les deux périodes critiques de la croissance des peupliers, la variation de la teneur en calcium dans les feuilles des deux espèces-hôtes semble avoir un effet marqué sur la dynamique des populations des deux ravageurs étudiés. D'autres part, il apparaît qu'avant chaque évolution massive de *C. leucomelas* sur *Populus nigra*, un taux important de K est enregistré au niveau des feuilles. Cette relation est encore plus nette avec *P. unipunctella* sur *Populus deltoides*. De plus, des liens très faibles ont été enregistrés entre les protéines solubles pariétales et cytoplasmiques et la dynamique des populations des deux insectes étudiés a été notée. En revanche, la corrélation négative signalée entre les concentrations des protéines hydrosolubles de *P. nigra* et l'évolution spatio-temporelle des populations de *C. leucomelas* et de *P. unipunctella* montre leurs effets protecteurs vis-à-vis des deux ravageurs.

Le présent aspect d'étude mérite d'être approfondi et élargi à d'autres zones géographiques. Une étude plus exhaustive au niveau chimique, notamment les composés organiques volatiles tels les phénols pourraient accroître nos connaissances sur la défense des peupliers en conditions naturelles face aux agressions des ravageurs.

- Dans la peupleraie artificielle, l'expression de *Populus nigra* et *Populus deltoides* en différents métabolites se trouve sous la dépendance, non seulement des facteurs génétiques, mais aussi d'une série de facteurs écologiques et culturaux qui sont susceptibles d'influencer la composition du feuillage des essences hôtes selon la nature du stress. Ainsi, si l'on considère la répartition temporelle des principes actifs des peupliers selon les variables essence et les zones littorale (Zéralda) et sub-littorale (Soumâa) au cours de la période printano-estivale (mai, juin, juillet et août), on remarque que les teneurs foliaires en eau à Soumâa et Zéralda affichent des teneurs quantitatives relativement comparables selon le mois. Il apparaît aussi que les principes actifs étudiés chez les espèces *P. nigra* et *P. deltoides* dans les 2 régions étudiées (tanins condensés, sucres totaux, et proline) sont quantitativement moins prépondérants que la quantité d'eau et que chaque principe actif fluctue aux dépens des variations physiologiques de la plante selon sa réaction à la zone d'étude. Or l'étude quantitative fait ressortir que les sucres totaux des feuilles, étant des molécules produites en faible abondance chez les deux essences affiche une tendance à la diminution progressive au cours de la saison d'étude. De même, il est remarquable que les variations des tanins condensés eux-mêmes en quantités faibles, sont bien corrélées entre les 2 espèces de peuplier, en prenant les mesures sur les 2 sites et sur les 4 périodes. En revanche, les concentrations foliaires en proline, molécule marqueur de stress, sont très transitoires selon les stations et l'essence.

La compilation des différents résultats on permis de conclure que la composition phytochimique des 2 espèces de peuplier sont globalement différentes. Leur plus ou moins forte proximité est signalée pendant les mois juillet et août, les compositions des feuilles sont très voisines entre Zéralda et Soumâa. En dehors de cette période la qualité foliaire est contrastée et fait apparaître une bonne acclimatation de *P. deltoides* à la région de Zéralda. La projection de l'évolution spatiotemporelle des réserves énergétiques et des mesures pondéraux de *Chaitophorus leucomelas* sur le remaniement de la qualité phytochimique des feuilles de *P. nigra* et *P. deltoides* dans le but de comprendre l'effet de la variabilité saisonnières des éléments nutritifs sur l'allocation des réserves énergétiques, nous a conduit a confirmer la dépendance des réserves énergétiques et les mesures pondérales de la valeur nutritive saisonnière des feuilles du peuplier. En effet, les résultats montrent une prépondérance des réserves énergétiques des individus de *C. leucomelas* évoluant sur *P. nigra* par rapport à ceux évoluant sur *P. deltoïdes* au niveau de la région de Soumâa.. En revanche, chez les deux essences, on a noté que le poids des femelles est relié à la quantité des

réserves lipidiques et que la tendance globale à la diminution saisonnière de ces 2 paramètres est plus nette encore au niveau des réserves glucidiques. Bien que le poids suive la fluctuation des réserves lipidiques celui-ci reste toujours très faiblement représenté chez les individus des générations évoluant à Soumâa. Les mêmes résultats signalent l'existence d'une corrélation positive entre les réserves lipidiques et des mesures pondérales avec les quantités d'eau et de sucres totaux disponibles dans les feuilles.

Il serait très judicieux à partir de cette vision, d'apprécier la structure des générations de *C. leucomelas* pour retracer le potentiel biotique des femelles évoluant sur des essences à profil phytochimique différent, spécialement au courant de la saison printano-estivale. Plus précisément, la relation quantitative entre la nature des réserves et la fécondité des femelles devrait être abordée. Les différentes fractions lipidiques pourraient être analysées par HPLC couplée à un spectromètre de masse pour en quantifier les variations saisonnières. Certaines corrélations entre les facteurs du milieu et la quantité globale de lipides sont peut-être masquées par l'absence actuelle de précision.

- A travers cette expérience préliminaire sur l'étude d'impact de la sélection naturelle liée au stress thermique et à la réponse métabolique des différentes générations de *Chaitophorus leucomelas* en matière de réserves énergétiques. Les résultats ont permis de constater une apparente corrélation positive entre les réserves énergétiques des fondatrignes de *C. leucomelas* et les variations thermiques au niveau des différentes régions d'étude, durant la période printanière. L'importance des réserves énergétiques et des mesures pondérales des fondatrignes aptères et ailées, au niveau de la région de Soumâa, désigne une bonne partition de l'effort de reproduction qui est destinée à la fois à la reproduction et au conditionnement.

Chez les générations de sexupares de Gouraya et de Dar El Beida, on dénote un déficit des taux des réserves lipidiques et glucidiques comparé à ceux de Soumâa. De plus, les mesures pondérales des sexupares n'étaient plus concernées par la discrimination régionale. Ce changement dans les réponses métaboliques suit l'augmentation des températures moyennes selon un gradient dépendant de la période sèche dans les sites de Gouraya, Dar El Beida et Soumâa avec des durées respectives de 9 mois, 7 mois et 6 mois. En conséquence, ces populations restent bien confinées aux hautes températures. Il est donc primordial d'entreprendre des études comparatives, notamment en fonctions des altitudes et vers les régions semi aride et aride.

- La quantification des divers changements internes des prédateurs des cultures sous l'effet des produits phytosanitaires abordés dans cette partie a été réalisée sur le modèle biologique *Phloeomyzus passerinii*. Les résultats de la sensibilité des réserves énergétiques suite à l'exposition à un aphicide systémique, ont montré une variabilité dans la teneur en lipides et en glucides qui semble dépendre de la concentration du produit et du temps d'exposition.

Pour confirmer ce fait, l'analyse de la variance traduit une absence d'expression du poids par rapport à la dose est qui va se maintenir dans le temps. Alors que la variabilité au sein du complexe lipido-glucidique révèle une corrélation positive à partir dès 3h d'exposition à la dose normale, avec une couverture lipidique plus prononcée par rapport aux quantités des glucides. La différence observée au niveau des réserves lipidiques et des glucidiques chez les femelles de *P. passerinii* suite à leur exposition, est probablement due à une modification de leurs traits de vie. Cette modification peut traduire un phénomène d'hormesis (effet favorable d'un toxique sur la physiologie ou le comportement d'un organisme).

L'aspect traité par l'étude ouvre une ébauche vers une voie de recherche dans un contexte écotoxicologique, permettant d'évaluer la nature et l'ampleur des perturbations générées par l'exposition chronique aux produits phytopharmaceutiques présents dans les agro-écosystèmes. Par ailleurs, l'effet dose que nous avons testé nous a renseigné sur la rapidité des réponses métaboliques, surtout en ayant recours aux biomarqueurs énergétiques. En terme de lutte, il conviendrait d'évaluer les perturbations à l'issue de différents modes de perception du stress et de cibler d'autres biomarqueurs plus sensible tels que les biomarqueurs enzymatiques. Il serait également intéressant d'approfondir quelle fraction lipidique est particulièrement révélatrice d'un stress.

- Le recours à l'étude de la biocénose associé à *Chaitophorus leucomelas* a été entamé dans cette partie dans le but d'appréhender l'effet d'exposition à un stress chimique des organismes cibles et non cibles. Les résultats obtenus font état d'installation d'un effet choc (Knock Down) pour les pucerons et les fourmis trophobiontes, suivis par les Hyménoptères pollinisateurs. Les applications en mélange de 2 produits ont d'une manière générale plus d'impact sur la variation spatio-temporelle des arthropodes que l'action répétée d'une seule molécule. Il est très difficile de prévoir quelle peut être la conséquence des applications sur biocénose dans un laps de temps assez court par rapport à leurs fluctuations annuelles. Ceci tient en partie à la forte diversité des stratégies de réponses chez ces organismes. Il est clair que les arthropodes face à une augmentation de la fréquence du stress vont réagir d'une complexité remarquable pour recouvrir leur homéostasie. En ce sens, il aurait été intéressant de suivre l'évolution des structures des communautés au cours de l'été pour estimer cette faculté de récupération cénotique, sur davantage de blocs d'étude.

Enfin on estime que d'autres recherches tenteront d'évaluer via l'immuno-histochimie l'incidence des stress sur l'équilibre physiologique des invertébrés dans les écosystèmes naturels et cultivés. Ceci va nous permettre d'accroître nos connaissances sur les réponses des biocénoses, à la suite des perturbations sous l'effet des différents stress, afin de développer des outils de prédiction qui permettront une meilleure gestion des peuplements sylvicoles.

## BIBLIOGRAPHIE

- 1- **Abgrall J.F. et Soutrenon A., 1991-** *La forêt et ses ennemis*. Ed. CEMAGREF, Grenoble. p. 399.
- 2- **Acevedo E., Conesa A.P., Monneveux P. et Srivastava J.P., 1989-** *Physiology breeding of winter cereals for stressed Mediterranean environments*. Ed. INRA. Stat. Bioclimatologie. p. 50-66
- 3- **Agrawal A.A., 1998 -** Induced response to herbivory increased plant performance. *Science* 279: 1201-1202.
- 4- **Akberali H.B., 1985-** Effects of environmental stress on marine bivalve molluscs. *Adv. Mar.Biol.* 22: 101-198.
- 5- **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.
- 6- **Amiard JC, Caquet T. et Lagadic L., 1998-** *Les biomarqueurs parmi les méthodes d'évaluation de la qualité de l'environnement*. Lavoisier, Paris. p. 231.
- 7- **Ammar M., Barbouche N. et Benhamouda M.H., 1995-** Action des extraits de composés des feuilles de *Cestrum parquii* et d'*Olea europea* sur la longévité et la croissance du criquet pèlerin, *Schistocerca gregaria*, *Med. Fac. Landbouww Université Gent* 60/30a: 831-863.
- 8- **Anctil M., De Waele J.P., Miron M.J. et Pani A.K., 1990-** Monoamines in the nervous system of the tube-worm *Chaetopterus variopedatus* (Polychaeta): Biochemical detection and serotonin immunoreactivity. *Cell Tissue Res.* 259: 81-92.
- 9- **Anonyme, 2007-** Office Nationale de Météorologie. www. Meteo. msn.com.
- 10- **Appel H.M., 1993-** Phenolics in ecological interactions: the importance of oxidation. *Journal of Chemical Ecology* 19: 1521-1552.
- 11- **Archaimbault V., 2003-** Réponses bio-écologiques des macroinvertébrés benthiques aux perturbations: la base d'un outil diagnostique fonctionnel des écosystèmes d'eaux courantes, Thèse de doctorat en sciences, université de Metz. 218-226 p.
- 12- **Armande E., 1989 -** Dynamique des populations de *Psylla pyri* L. (Homoptera: Psyllidae) en verger de poirier dans la région d'Avignon: étude du cortège de ses parasitoïdes et relations avec l'environnement, Th. Doc., Univ. Sci. Tech. Languedoc, Montpellier, France. 200 p.
- 13- **Arzon A. et Vidano C., 1986-** Indagini su *Phloeomyzus passerini* (Sign.) in Piemonte. *Ann. Fac. di Scien. Agr. della Univ. degli Studi di Torino.* 13: 337-356.
- 14- **Auger J., Dugravot S., Naudin A., Abo-Ghaila A., Pierre D. et Thibout E., 2002-** Utilisation des composés allélochimiques des *Allium* en tant qu'insecticides, *Use of pheromones and other semiochemicals in integrated production IOBC wprs Bulletin.* 25(9).
- 15- **Awmack C. S. et Leather S. R. 2002-** Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. *Annual Review of Entomology* 47: 817-844.
- 16- **Baier P., 1996-** Inference of vigour and host quality of Norway spruce, *Picea abies*, towards the development of *Typographus* (Coleoptera: Scolytidae). *Entomologia Generalis* 21(1-2): 27-35.
- 17- **Baldwin I.T., 1998-** Jasmonate-induced responses are costly but benefit plants under native populations. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 95: 8113-8118.
- 18- **Barbagallo S., 1985-** Annatazioni faunistiche et ecologiche sugli aphidi della serdegna. *Frustula entomologica.* 11(8): 421-472.
- 19- **Barbault R., 1984-** *Ecologie des populations et des peuplements*. Ed. Masson, Paris. p. 200.
- 20- **Bauce É., Carisey N. et Dupont A., 2001-** Implications des relations alimentaires plante-insecte dans la lutte contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Actes du colloque

«Tordeuse des bourgeons de l'épinette : l'appriivoiser dans nos stratégies d'aménagement» tenu à Shawinigan, 27-29 mars 2001. p.27-32.

- 21-Beenackers A.M.T., Van Der Horst D.J. et Van Marrewijks W.J.A., 1981-** Role of lipids in energy metabolism. *Energy Metabolism in Insects* : 53-100.
- 22-Begon M., Harper J.L. et Townsend C.R., 1996-** *Ecology: Individuals, Populations and Communities*, Oxford University Press, Ontario. p. 360.
- 23-Bell G., 1991-** The costs of reproduction and their consequences. *American Naturalist* 116: 45-76.
- 24-Bellinger Y. et Larher F. 1987-** Proline accumulation in higher plants: a redox buffer? *Plant Physiology* 6: 23-27.
- 25-Benderoth M., Pfalz M. et Kroymann J., 2008-** Methylthioalkylmalate synthases: genetics, ecology and evolution. [\*Phytochemistry Reviews\*](#) 8(1): 255-268
- 26-Ben Naceur M., 1994-** Contribution à l'évaluation du degré de résistance aux contraintes hydriques (sécheresse et excès d'eau) chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.) et la fétuque (*Festuca arundinacea* Schreb.). Thèse de doctorat d'état en Sciences, 113 p.
- 27-Bergmann H., Leinhos V., Machelett B. et Schönbeck F., 1997-** Amino alcohols as tools to improve stress tolerance. INRA, Inter drought, VIII-26.
- 28-Bernal E.M. et Simarro A.P., 1986-** *Pterocomma populeum* Kaltentbach, nueva plaga de las choperas, *Bol. San. Veg. Plagas* 12: 291-296.
- 29-Bezzala A. et Chorfi A., 2005-** Evaluation de quelques paramètres (physiologiques) de résistance à la sécheresse de l'arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels) sous un abri vitré : essai d'introduction de l'espèce dans la zone de M'doukel. Premières journées scientifiques sur la biodiversité et la qualité de vie et de l'environnement dans la région des Aurès. 13-14 et 15 mars 2006. Batna. Algérie.
- 30-Bidmon H.J. et Stumpf W.E., 1991-** Uptake, distribution and binding of vertebrate and invertebrate steroid hormones and time-dependence of ponasterone A binding in *Calliphora vicina*. Comparisons among cholesterol, corticosterone, cortisol, dexamethasone, 5 - dihydrotestosterone, 1,25-dihydroxyvitamin D3, ecdysone, estradiol-17, ponasterone and testosterone. *Histochemistry* 96: 419-434.
- 31-Bidon Y., 1993-** Influence des sucres solubles et de l'azote sur la croissance, le développement et l'utilisation de la nourriture par la tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana* (Clem.)). Thèse de Maîtrise ès Science. Université Laval, Ste-Foy (Québec), Canada. 63p.
- 32-Bintcliffe E.J.B. et Wratten S.D., 1982-** Antibiotic resistance in potato cultivars to the aphid *Myzus persicae*. *Annals of Applied Biology* 100: 383-391.
- 33-Bischoff M., Rosler J., Raesecke H. R., Gurlach J., Amrhein N. et Schmid J., 1996-** Cloning of a cDNA encoding a 3-dehydroquinate synthase from a higher plant, and analysis of the organ-specific and elicitor-induced expression of the corresponding gene. *Plant Mol. Biol.* 31: 69-76.
- 34-Blalock J.E., 1984-** The immune system as a sensory organ. *J. Immunol.* 132: 1067-1070.
- 35-Blancard D., 1988-** *Maladie de la tomate : observer, identifier, lutter*, INRA, Paris. p.173.
- 36-Bodenheimer F.S. et Swirski E., 1957-** *The Aphidoïdae of the East*. Ed. The Weizmann Science Press Jerusalem, p.47- 346.
- 37-Borner C., 1952-** Europae centralis Aphides. *Mitteilungen der Thüringischen Botanischen Gesellschaft, Weimar* 4 (3): 488 p.
- 38-Bornette G., Henry C., Barrat M.H. et Amoros C., 1994-** Theoretical Habitat Templates, Species Traits, and Species Richness - Aquatic Macrophytes in the Upper Rhône River and Its Floodplain. *Freshwater Biology* 31: 487-505.
- 39-Bourdu M., 1986-** *Forêt et sylviculture : Sylviculture appliquée*, Presses agronomiques de Gembloux : 244 pp.

- 40-Bournaud M., 1994-** Theoretical Habitat Templates, Species Traits, and Species Richness - Birds in the Upper Rhone River and Its Floodplain. *Freshwater Biology* 31: 469-485.
- 41-Boyle P.R., 1983-** *Cephalopods life cycles* vol I. In: Boyle PR Ed. Species accounts. Academic press, London. p. 228
- 42-Bradford M.M. 1976-** A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principal of protein dye binding. *Ann. Biochem.* 72: 248-254.
- 43-Brinis L., 1995-** Effet du stress hydrique sur quelques mécanismes morpho-physiologiques et biochimiques de traits d'adaptations et déterminisme génétique chez le blé dur (*T. durum* Desf.). Thèse de Doctorat d'Etat en Sciences, 156 pp.
- 44-Brodbeck B. et Strong D., 1987-** *Amino acids nutrition of herbivorous insects and stress to host plants*. In: Insect outbreaks. Edited by P. Barbosa & J.C. Schultz. Academic Press, New York. p. 347-364.
- 45-Buckley R.C., 1987-** Ant-plant-homopteran interactions. *Adv. Ecol. Res.* 16: 53-85.
- 46-Buet A., Roche H., Habert H., Caquet T. et Ramade F. 1998-** Evaluation du niveau de contamination par les micropolluants organiques des poissons de la Réserve de Biosphère de Camargue. Proposition d'un plan expérimental pour la validation de biomarqueurs utilisables *in situ*. *Ichthyophysiological Acta* 21: 61-76.
- 47-Burgio G., van Lenteren J.C. et Ferrari R., 1999-** Indagine sui parassitoidi e predatori di afidi su colture erbacee dell'Emilia-Romagna, in : Atti del 5e convegno nazionale biodiversità Biodiversità e sistemi ecocompatibili, Caserta, 9-10 settembre 1999, Italus Hortus 6 (4):43.
- 48-Burgio G., Ferrari R., Boriani L., Pozzati M. et Van Lenteren J., 2006-** The role of ecological infrastructures on Coccinellidae (Coleoptera) and other predators in weedy field margins within northern Italy agroecosystems. *Bull. Insectology* 59: 59-67.
- 49-Calabrese E.J., 1999-** Evidence that hormesis represents an Overcompensation response to a disruption in homeostatis. *Ecotox. Environm.* 42: 135-137.
- 50-Cannon W., 1935-** Stresses and strains of homeostasis. *Am. J. Med. Sci.* 189: 1-14.
- 51-Carceller J., 1995-** Proline and the export of N compounds from senescing leaves of Maize under water stress. INRA, Inter drought, VI-5.
- 52-Carrière Y. 1992-** Host plant exploitation within a population of a generalist herbivore, *Choristoneura rosaceana*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 65: 1-10.
- 53-Casado M.A., Ramirez-Sanz L., Castro I., De Miguel J.M. et De Pablo C.L., 1997-** An objective method for partitioning dendrograms based on entropy parameters. *Plant Ecology* 131: 193-197.
- 54-Cates R.G. et Alexander H., 1992-** *Host resistance and susceptibility*. In: *Bark Beetles of North American Conifers* / J.B. Mitton et K.B. Surgeon, Eds. University of Texas Press, p. 212-263.
- 55-Chaboussou F., 1975-** Les facteurs culturaux dans la résistance des agrumes vis-à-vis de leurs ravageurs. *St. Zool. Inst. Nat. Rech. Agro.*, Bordeaux, 39 p.
- 56-Chaboussou F., 1980-** *Les plantes malades des pesticides - Bases nouvelles d'une prévention contre maladies et parasites*. Ed. Debard, France. p. 320.
- 57-Chapman R.F., 1998-** *Nutrition* In: *The Insects*, Cambridge University press, p.69-93.
- 58-Chararas C., 1962-** *Scolytides des conifères*. Ed. Paul Lechevalier, Paris. p. 564.
- 59-Chararas C., 1972-** *Les insectes du peuplier, biologie, écologie, nocivité, méthodes de production*. Ed. Lib. Fac. Sci., Paris. p. 272.
- 60-Chararas C., 1979-** *Ecophysiologie des insectes parasites des forêts*, Chararas, Paris. 490 p.
- 61-Charnov, E.L. et Schaffer W.M., 1973-** Life-history consequences of natural selection: Cole's result revisited. *Am. Nat.* 107: 791-793.
- 62-Charvet S., Roger M.C., Faessel B. et Lafont M., 1998-** Evaluation de l'état de santé écologique des hydrosystèmes par l'utilisation des traits biologiques. *Annales de Limnologie*. 34: 455- 464.

- 63-Chaubet B., 1992-** Diversité écologique, aménagement des agroécosystèmes et favorisation des ennemis naturels des ravageurs : cas des aphidiphages, *INRA Courr. Envir.* 18: 45-63.
- 64-Cheroux ,1980-** Incidence des parasites *Aphidius matricariae*, Hal. (*Hym : Aphidiidae*) sur la fécondité de son hôte *Myzus persicae*. Sulz. (*Hom : Aphididae*) à différentes températures. *Ann. Zool. Ecol. Anim.* 11(3) : 359-369.
- 65-Chessel D., Dufour A.B. et Thioulouse J., 2003-** Analyse des Correspondances Multiples, <http://pbil.univ-lyon1.fr/R/fichestd/tdr54.pdf>.
- 66-Chevenet F., Doledec S. et Chessel D., 1994-** A fuzzy coding approach for the analysis of long-term ecological data. *Freshwater Biology* 31: 295-309.
- 67-Chrousos G.P., et Gold P.W., 1992 -** The concepts of stress and stress system disorders. Overview of physiol and behavioural homeostasis. *J. Med. Assoc.* 267: 1244-1252.
- 68-Chunyang L et Kaiyun W., 2003-** Differences in drought responses of three contrasting *Eucalyptus microtheca* F. Muell. Populations. Uni of Helsinki. Finland. *Forest Ecology and Management* 179: 377-385.
- 69-Collinge S.K. et Louda S.M., 1989-** Influence of plant phenology on the insect herbivore/bitterness interaction. *Oecologia* 79: 111-116.
- 70-Comeau A., 1992-** *La résistance aux pucerons, aspect théoriques et pratiques in la lutte biologique.* Ed. Gaëtan Morin. Boucheville (Canada). p. 433-449.
- 71-Convey P., 1992-** Seasonal lipid contents of Antarctic micro-arthropods. *Exp. Appl. Acarol.* 15: 219-231.
- 72-Coon S.L. et Bonar D.B., 1987-** Pharmacological evidence that 1-adrenoceptors mediate metamorphosis of the Pacific oyster *Crassostrea gigas*. *Neurosci.* 23: 1169-1174.
- 73-Cooper E.L., Franchini A. et Ottaviani E., 1995-** Earthworm coelomocytes possess immunoreactive cytokines and POMC-derived peptides. *Animal Biol.* 4: 25-29.
- 74-Corkum L.D., Ciborowski J.J.H. et Poulin R.G., 1997-** Effects of emergence date and maternal size on egg development and sizes of eggs and first-instar nymphs of a semelparous aquatic insect. *Oecologia* 111: 69-75.
- 75-Costes C., Chominot A., Culioli J., Douillard R., Gastineau I., Guy P., De Mathan O., Monties B., Mouranche A., Petit L. et Sauvant D., 1981-** *Protéines foliaires et alimentation*, Bordas, Paris. p 266
- 76-Crasnier M., Moustacas A.M. et Ricard J., 1985-** Electrostatic effects and calcium ion concentration as modulators of acid phosphatase bound to plant cell walls. *European Journal of Biochemistry* 151(1): 187-190.
- 77-Crespi J.B. et Teo R., 2002-** Comparative Phylogenetic Analysis of the evolution of semelparity and life history in Salmonid fishes. *Ecology* 56: 1008-1020.
- 78-Dadd R.H., 1985 -** *Nutrition: organisms.* In: *Comprehensive Insect physiology, Biochemistry and pharmacology.* Vol. 4. Ed. Pergamon press. Oxford, pp. 313-390.
- 79-Dajoz R., 1980-** *Ecologie des insectes forestiers*, Gauthier-Villars, Paris, 580 p.
- 80-Dajoz R., 1985-** Précis d'écologie. Bordas, Paris, 505 p.
- 81-Dajoz R., 1998-** *Les insectes et la forêt. Rôle et diversité des insectes dans le milieu forestier*, Lavoisier, Paris, p 240
- 82-David J.C. et Coulon J.F., 1985-** Octopamine in invertebrates and vertebrates. A review. *Prog. Neurobiol.* 24: 141-185.
- 83-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.
- 84-Delabie J. H. C., 2001-** Trophobiosis between Formicidae and Hemiptera (Sternorrhyncha and Auchenorrhyncha): an overview. *Neotrop. Entomol.* 30: 501-516.
- 85-Delplanque A., 1998-** *Les insectes associés aux peupliers*, Ed. Memor, Bruxelles. p. 428.
- 86-De Tillesse V., Nef L., Charles J., Hopkin A., Augustin S., 1999-** *Damaging Poplar Insects: Internationally Important Species*, FAO, Italy. p. 525

- 87-Deshayes A, 1991-** Les transferts des capacités phytosanitaires aux plantes elles-mêmes. INRA Ed., Paris, 163 p.
- 88-Dhainaut-Courtois N., Dubois M.P., Tramu G. et Masson M., 1985-** Occurrence and coexistence in *Nereis diversicolor* O.F. Muller (Annelida Polychaeta) of substances immunologically related to vertebrate neuropeptides. *Cell Tissue Res.* 242: 97-108.
- 89-Dib T.A., Monneveux P. et Araus J.L., 1992-** Adaptation à la sécheresse et notion d'idéotype chez le blé dur. II : caractères physiologiques d'adaptation. Elsevier, INRA, *Agronomie* 12: 381-393.
- 90-Dixon A.F.G. et Stewart W.A., 1975-** Function of the siphunculi in aphid with particular reference to the sycamore aphid *Drepanosiphum platanae*, *J. Zool. London* 175: 279-289.
- 91-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.
- 92-Djazouli Z.E., 1996-** Inventaire et interaction de l'entomofaune inféodée au peuplier noir *Populus nigra* L. Etude de la dynamique des populations et développement ovarien de *Chaitophorus leucomelas* (Koch, 1854) (Homoptera : Aphididae) en Mitidja. Thèse Mag. Agro. I.N.A. El Harrach, Alger, 102 p.
- 93-Djazouli Z.E., 2008-** Évaluation de l'utilisation des réserves énergétiques (lipides, sucres) en tant que biomarqueurs pour l'effet des variations thermiques sur *Chaitophorus leucomelas* (Homoptera, Aphididae) sur le peuplier noir *Populus nigra*, in : Diversité biologique des invertébrés en milieux Agricoles et Forestiers, Congrès International, 14–17 Avril, Alger.
- 94-Djazouli Z.E., Doumandji-Mitiche B. et Petit D., 2009<sub>a</sub>-** Spatio-temporal variations of functional groups in a *Populus nigra* L. entomocenosis in the Mitidja plain (Algeria). *C. R. Biologies* 332: 848–860.
- 95-Djazouli Z.E., Doumandji-Mitiche B. et Nowbahari E., 2009<sub>b</sub>-** Evaluation of the use of energetic reserves as bio-markers for an insecticidal effect on woolly poplar aphid *Phloeomyzus passerinii* (Homoptera, Aphididae). *Jordan Journal of Agriculture Science* 2, sous presse.
- 96-Dodelin B., 2006-** Ecologie des coléoptères saproxyliques dans les forêts de l'étage montagnard des Alpes du nord françaises, *Ann. Soc. Entomol. Fr.* 4: 231-243.
- 97-Dolédec S. et Chessel D., 1994-** Co-inertia analysis - an alternative method for studying species environment relationships. *Freshwater Biology* 31: 277-294.
- 98-Dreir W. et Goring M., 1974-** Der einfluss boher. Salzkonzentrationen auf physiologische parameter von aisswurzeln. *Wiss. Der H. V. Berlin, Nath. Naturwiss.* 23: 641-646.
- 99-Dubois M.K.A., Gilles Y.K., et Hamilton P.A., 1956-** Colorimetric method for determination of sugars and related substance. *Anal. and Chem. Jour.* 28: 350-356.
- 100-Duffey S.S. et Stout M.J., 1996-** Antinutritive and toxic components of plant defense against insects. *Arch. Insect. Biochem. Physiol.* 32: 3–37.
- 101-Durzan D.J. et Lopushanski S.M., 1968–** Free and bound amino acids of spruce budworm larvae feeding on balsam fir and red and white spruce. *Journal of Insect Physiology* 14: 1485-1497.
- 102-Duvaux-Miret O. et Capron A., 1992-** Proopiomelanocortin in the helminth *Schistosoma mansoni*. Synthesis of -endorphin, ACTH, and alpha-MSH. Existence of POMC-related sequences. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 650: 245-250.
- 103-Dy A., 1991-** Comportement hydrique au cours de la saison sèche et place dans la succession de trois arbres guyanais : *Trema miwantha*, *Goupia glabra* et *Eperua grandiflora*. *Ann. Sci. For.* 48: 101-112.
- 104-Edwards P.B. et Wanjura W.J., 1989-** Eucalypt-feeding insects bite off more than they can chew: sabotage of induced defences? *Oikos* 54: 246-248
- 105-Eggen R.I.L., 2001-** Moderne biologische Analyse: Potenzial, Entwicklung und Anwendung. *Gas Wasser Abwasser* 3: 167-171.

- 106-Engel D.W. et Vaughan D.S., 1996-** Biomarkers, natural variability, and risk assessment: can they coexist? *Human and Ecological Risk Assessment* 2: 257-262.
- 107-Escher B.I. et Hermens J.L.M., 2002-** Modes of action in ecotoxicology: their role in body burdens, species sensitivity, QSARs, and mixture effects. *Environmental Science and Technology* 36: 4201-4217.
- 108-FAO, 1982-** *La demande et l'offre mondiale de produits forestiers en 1990 et l'an 2000*. p. 245. Etude FAO: forêts 29.
- 109-FAO, 1988-** *Produits forestiers: perspectives mondiales projections 1987-2000*. p. 325. Etude FAO: forêts 84.
- 110-Feeny P.P., 1976-** Plant apparency and chemical defense. *Rec. Adv. Phytochem.* 10: 1-40.
- 111-Fleming R.A. et Volney W.J.A., 1995-** Effects of climate change on insect defoliator population processes in Canada's boreal forest: some plausible scenarios. *Water, Air, and Soil Pollution* 82: 445-454.
- 112-Ferry N., Edwards M.G., Gatehouse J.A. et Gatehouse A. M.R., 2004-** Plant–insect interactions: molecular approaches to insect resistance. *Current Opinion in Biotechnology* 15: 155-161.
- 113-Fery R.L. et Cuthbert J.F.P., 1979-** Measurement of podwall resistance to the cowpea *Cucurlio* in the southern pea, *Vigna unguiculata* (L.). *Walp. Hort. Sci.* 14: 29-30.
- 114-Flammarion P., Garric J. et Monod G., 2000-** Use of EROD enzymatic activity in freshwater fish. Pp. 59-77 in L. Lagadic, T. Caquet, J.C. Amiard & F. Ramade (eds) *Use of biomarkers for environmental quality assessment*. Science Publishers, Inc.
- 115-Forlin L. et Haux C., 1990-** Sex differences in hepatic cytochrome P450 monooxygenase activities in rainbow trout during an annual reproductive cycle. *J. Endocrinol.* 124: 207-213.
- 116-Fortin M., Lorenzetti F., Panzuto M. et Mauffette Y., 1999-** La livrée des forêts et son environnement. *Antennae* 6 : 36–39.
- 117-Fortin, M., 2000-** Les effets de l'hétérogénéité de la nourriture et de la température sur la performance biologique de la livrée des forêts (*Malacosoma disstria* Hbn.) s'alimentant dans une érablière. Thèse de doctorat, UQAM. 142p.
- 118-Forkner R. E., Marquis R. J. et Lill J. T., 2004-** Feeny revisited: condensed tannins as antiherbivore defences in leaf-chewing herbivore communities of *Quercus*. *Ecological Entomology* 29: 174-187.
- 119-Fraenkel G. S., 1959-** The raison d'être of secondary compounds. *Science* 129:1466-1470.
- 120-Franchini A., Miyan J.A. et Ottaviani E., 1996-** Induction of ACTH- and TNF- like molecules in the hemocytes of *Calliphora vomitoria* (Insecta, Diptera). *Tissue Cell.* 28: 585-592
- 121-Fritig B., Heitz T. et Legrand M., 1998-** Antimicrobial proteins in induced plant defense. *Curr. Opin. Immunol.* 10: 16-22.
- 122-Frontier S., 1983-** *Stratégies d'échantillonnage en écologie*, Masson et les presses de l'Université Laval, Paris. p 494.
- 123-Furuya K., Harper M.A., Schegg K.M. et Schooley D.A., 2000-** Isolation and characterization of CRF-related diuretic hormones from the whitelined sphinx moth *Hyles lineata*. *Insect Biochem. Mol. Biol.* 30: 127-133.
- 124-Gate P., 1995-** *Ecophysiologie du blé*. Ed Tec et Doc Lavoisier, 429 p.
- 125-Gaume L. et McKey D., 2002-** How identity of the homopteran trophobiont affects sex allocation in a symbiotic plant ant: The proximate role of food. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 51: 197-205.
- 126-Gaussen H., 1954-** Saison sèche et indice xérothermique. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse.* 88: 193-239.

- 127-Gauthier-Clerc M., Lemaho Y., Gendner J.P., Durant J. et Handrich Y., 2001-** State-dependent decisions in long-term fasting king penguins, *Aptenodytes patagonicus*, during courtship and incubation. *Animal Behaviour* 62 (4): 661-669.
- 128-Gerino M., Stora G., François-Carcaillet F., Gilbert F., Poggiale J.-C., Mermillod-Blondin F., Desrosiers G. et Vervier P., 2003-** Macro-invertebrate functional groups in freshwater and marine sediments: a common mechanistic classification. *Vie et Milieu* 53: 221-231.
- 129-Geigenberger P., Reimholz R., Geiger M., Merlo L., Canale V. et Stitt M., 1997-** Regulation of sucrose and starch metabolism in potato tubers in response to short-term water deficit. *Planta* 201: 502-518.
- 130-Gershenzon J., 1984-** *Changes in the levels of plant secondary metabolites under water and nutrient stress.* In: *Phytochemical adaptations to stress.* Edited by B.N. Timmermann, C. Steelink & F.A. Loewus. Plenum Press, New York and London. p. 273-320.
- 131-Gilbert L.I. et O'Connor J.D., 1970-** Lipid metabolism and transport in arthropods. *Chemical Zool.* 5: 229-253.
- 132-Gimeno L., Ferrando M.D., Sanchez S., Gimeno L.O. et Andreu E., 1995-** Pesticide effects on eel metabolism. *Ecotox. Environ. Saf.* 31: 153-157.
- 133-Giordanengo P., Febvay G. et Rahbé Y., 2007-** Comment les pucerons manipulent les plantes. *Biofutur* 279: 35-38.
- 134-Gorbman A., 1995-** Olfactory origins and evolution of the brain-pituitary endocrine system: facts and speculation. *Gen. Comp. Endocrinol.* 97: 171-178.
- 135-Grasman K.A., Scanlon P.F. et Fox G.A., 2000-** Geographic variation in hematological variables in adult and pre fledgling herring gulls (*Larus argentatus*) and possible associations with organochlorine exposure. *Arch. Environ. Contamin. Toxicol.* 38: 244-253.
- 136-Grassé P., 1951-** *Traité de zoologie, anatomie, systématique, biologie, insectes supérieurs et Hémiptéroïdes.* Ed. Masson & Cie, Paris, Tom.X, p. 974.
- 137-Grassé P., Poisson R.A. et Tuzet O., 1970-** *Zoologie I Invertébrés.* Ed. Masson, Paris. p. 935.
- 138-Grime J.P., 1979-** *Plant strategies and vegetation processes,* Ed. Wiley, Chichester. p. 352.
- 139-Gruppe A., Fußeder M., Schopf R., 1999-** Short rotation plantations of aspen and balsam poplar on former arable land in Germany: defoliating insects and leaf constituents. *Forest Ecology and Management* 121: 113-122.
- 140-Gustafsson M.K.S. et Eriksson K., 1991-** Localisation and identification of catecholamines in the nervous system of *Diphyllobothrium dendriticum* (Cestoda). *Parasitol. Res.* 77: 498-502.
- 141-Hall G. J., Hart C. A. et Jones C.A., 2000-** Plants as sources of cations antagonistic to glyphosate activity. *Pest Manag. Sci.* 56: 351-358.
- 142-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](http://palaeoelectronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm).
- 143-Hammond J.H.E., Langor D.W. et Spence J.R., 2004-** Saproxylic beetles (Coleoptera) using *Populus* in boreal aspen stands of western Canada: Spatiotemporal variation and conservation of assemblage. *Can. J. For. Res.* 34: 1-19.
- 144-Hansen B.L., Hansen G.N. et Scharrer B., 1986-** *Immunocytochemical demonstration of a material resembling vertebrate ACTH and MSH in the corpus cardiacum-corpora allatum complex of the insect Leucophaea maderae.* In *Handbook of Comparative Aspects of Opioid and Related Neuropeptide Mechanisms.* Volume 1. Ed. Stefano GB. CRC Press, Boca Raton. p 213-222.

- 145-Hara K., Yonezawa K., Weng Q. P., Kozlowski M. T., Belham C. et Avruch J., 1998-** Amino acid sufficiency and mTOR regulate p70 S6 kinase and eIF4E BP1 through a common effector mechanism. *J. Biol. Chem.* 273: 14484-14494.
- 146-Hare P.D., Cress W.A. et Van Staden J., 1998-** Dissecting the roles of osmolyte accumulation during stress. *Plant Cell and Environment* 21: 535-553.
- 147-Hassell M.P., Godfray H.C.J., et Comins H.N., 1993-** *Effects of global change on the dynamics of insect host-parasitoid interactions.* In: *Biotic interactions and global change.* Kareiva P.M., Kingsolver (J.G.), Huey R.B. eds. Sinauer Associates, Sunderland, MA., p. 402-423.
- 148-Haukioja E., 1980-** On the role of plant defenses in the fluctuation of herbivore populations. *Oikos* 35: 202-213.
- 149-Heie Ole E., 1982-** *The Aphidoidea (Hemiptera) of Fennoscandia and Denmark.* Ed. Fau, Entom, Scan, Vol.11, Tom.II, the family *Drepanosiphidae*, p. 106-141.
- 150-Heliovaara K., et Vaisanen R., 1984-** Effects of modern forestry on Northwestern European forest invertebrates: A synthesis. *Acta For. Fenn.* 189: 1-32.
- 151-Hemptinne J.L., Dixon A.F.G., Coffin J., 1992-** Lutte biologique en verger, *Harmonia axyridis* Pallas, nouveau prédateur exotique pour lutter contre les pullulations Aphidiennes. Infos-CTIFL, pp.41-94.
- 152-Henderson I.W., 1997-** *Endocrinology of the vertebrates.* In *Handbook of Physiology. Section 13: Comparative Physiology*, Volume I. Ed. Dantzler WH. Oxford University Press Inc., New York, USA. p 623-749.
- 153-Higuchi H., 1972-** *Insecta matsumurana, A taxonomic study of the subfamily Callipterinae in Japan (Homoptera: Aphididae).* Ed. Entomological Institute, faculty of Agriculture Hokkaido University, Sapporo. p. 126.
- 154-Hilker M. et Schultz S., 1994-** Composition of larval secretion of *Chrysomela lapponica* (Coleoptera: Chrysomelidae) and its dependence on host plant. *J. Chem. Ecol.* 20: 1075-1093.
- 155-Hopkins P., 1997-** *Biology of the Springtails (Insecta: Collembola).* Oxford University Press, Oxford. p. 157
- 156-Hopkins P., 1999-** *Introduction to plant physiology. Second edition.* The University of Western Ontario. Edit. John Wiley and sons., Inc, 512 p.
- 157-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.
- 158-Hulle M., Turpeau E., et Leclant F., 1998-** *Les pucerons des arbres fruitiers, cycle biologique et activités de vol.* Ed. ACTA. Paris. p.80
- 159-Hunter A.F., 1991-** Traits that distinguish outbreaking and nonoutbreaking Macrolepidoptera feeding on Northern hardwood trees. *Oikos* 60: 275-282.
- 160-Hunter M.D., 1992-** A variable insect-plant interaction: The relationship between trees budburst phenology and population levels of insect herbivores among trees. *Ecol. Entomol.* 16: 91-95.
- 161-Hunter A.F. et Lechowicz M.J., 1992-** Foliage quality changes during canopy development of some northern hardwood trees. *Oecologia* 89: 316-323.
- 162-Hunter A.F. et Elkinton J.S., 2000-** Effects of synchrony with host plant on populations of spring-feeding lepidopteran. *Ecology* 81: 1248-1261.
- 163-Hwang S.Y. et Lindroth R.L., 1997-** Clonal variation in foliar chemistry of aspen: effects on gypsy moths and forest tent caterpillars. *Oecologia* 111: 99-108.
- 164-Ildiko K. et Galiba G., 1995-** *Carbohydrates in wheat and maize plants under water stress.* INRA, Inter drought, V-10. In : *Physiologie des arbres et arbustes des zones arides et semi-arides* – Paris, 465- 472.
- 165-Kameli A. et Lösel D.M., 1995-** Carbohydrates and water status in wheat plants under water stress. *New Phytol.* 125: 609-614.

- 166-Kazi-Aoual F., Hitier S., Sabatier R. et Lebreton J.D., 1995-** Refined approximations to permutation tests for multivariate inference. *Computational statistics & data analysis* 20: 643-656.
- 167-Kechroud H., 1996-** Etude phénologique des mauvaises herbes sur culture de féverole (*Vicia faba*) dans la région de El Harrache, Th. Ing. d'Etat Agro; El-Harrache, 63p.
- 168-Kessler A. et Baldwin I.T., 2002-** Plant responses to insect herbivory: the emerging molecular analysis. *Rev. Annu. Plant Biol.* 53: 299-328.
- 169-Kennedy J.S., 1965-** Mechanisms of host plant selection. *Ann. Appl. Biol.* 56: 317-322.
- 170-Kim J.Y., Mache A., Brangeon J. et Prioul J. L., 2000-** A Maize vacuolar invertase, IVR2, is induced by water stress. Organ/Tissue specificity and diurnal modulation of expression. *Plant physiology* 124: 71-84.
- 171-Kogan M., 1975-** *Plant resistance in pest management.* In *Introduction to insect pest management*, ed. W. and Sons; New York, pp. 103-146.
- 172-Kooijman, S.A.L.M., 2000-** *Dynamic energy and mass budgets in biological systems.* Cambridge University Press, Cambridge. 424 p.
- 173-Koricheva J., Larsson S. et Haukioja E., 1998-** Insect performance on experimental lystressed woody plants: a meta-analysis. *Annu. Rev. Entomol.* 43: 195-216.
- 174-Kozlowski T.T., Kramer P.J. et Pallardy S.G., 1991-** *The Physiological Ecology of Woody Plants*, Academic Press, Toronto. p. 340.
- 175-Lacoste F., 2001-** Dynamique de recolonisation du frêne oxyphylle (*Fraxinus angustifolia* Valh.) et d'hybridation avec le frêne commun (*Fraxinus excelsior* L.) face aux changements globaux. Rapport de recherche, UMR CNRS-ENGREF-UPS 8079, Université Paris XI. 125p.
- 176-Lagadic L., Caquet T.H. et Ramade F., 1994-** The role of biomarkers in environmental assessment: Invertebrate populations and communities. *Ecotoxicology* 3: 193-208.
- 177-Lagadic L., Caquet T.H., Amirad J.C. et Ramade F., 1997-** *Biomarqueurs en Ecotoxicologie : Aspects Fondamentaux*, Masson, Paris. p. 241.
- 178-Landau M., Biggers W.J. et Laufer H., 1997-** *Invertebrate endocrinology.* In *Handbook of Physiology. Section 13: Comparative Physiology*, Volume II. Ed. Dantzler WH, Oxford University Press Inc., New-York, USA. p 1291-1390.
- 179-Larsson S., 1989-** Stressful times for the plant stress-insect performance hypothesis. *Oikos* 56(2): 277-283.
- 180-Larsen K.J., Heady S.E., Nault L.R., 1992-** Influence of ants (Hymenoptera: Formicidae) on honeydew excretion and escape behaviors in a myrmecophile, *Dalbulus quinquenotatus* (Homoptera: Cicadellidae) and its congeners. *J. Insect Behav.* 5: 109-122.
- 181-Lavie P., 1975-** The relationship between propolis, poplar buds (*Populus spp*) and castoreum. Proc. XXV Int. Beekeeping Congr., Grenoble, 1975, Apimondia Publ. House, Bucharest, pp. 229-233.
- 182-Lavoir A.V., 2004-** Résistance aux stress thermique et lumineux et émissions de COV chez deux espèces de chênes méditerranéens (*Quercus ilex* et *Quercus suber*). Mémoire de DEA Biosciences de l'Environnement, Chimie et Santé, Université d'Aix-Marseille III. 46p.
- 183-Lawrence R.K., Mattson W.J. et Haack R.A., 1997-** White spruce and the spruce budworm: Defining the phenological window of susceptibility. *Can. Entomol.* 129: 291-318.
- 184-Leach L., Trudgill D.L. et Gahan P.B., 1987-** Immunocytochemical localization of neurosecretory amines and peptides in the free-living nematode, *Goodeyus ulmi*. *Histochem J.* 19: 471-475.
- 185-Lebreton P., Jay M. et Voirin B., 1967-** Sur l'analyse qualitative et quantitative des flavonoïdes. *Chim. Anal.* 49(7): 375-383.
- 186-Le Gal Y., Lagadic L., Le Bras S. et Caquet T.H., 1997-** *Biomarqueurs en Ecotoxicologie: Aspect Fondamentaux.* Collection d'Ecologie, Masson Editeur, Paris, p. 241-285.

- 187-Lessells C., 1991-** *The evolution of life histories*. In: Krebs R & Davies ND (eds) *Behavioural Ecology*, Blackwell, Oxford, London. p. 32-68.
- 188-Leung M.K., Boer H.H., Van Minnen J., Lundy J. et Stefano G.B., 1990-** Evidence for an enkephalinergic system in the nervous system of the pond snail, *Lymnaea stagnalis*. *Brain Res.* 531: 66-71.
- 189-Levins R., 1968-** *Evolution in changing environments*. Princeton University Press, Princeton. p. 120
- 190-Levitt J., 1980** – *Water stress*. In *Responses of plants to environmental stresses*. Vol. II, 2<sup>ème</sup> edit. by T.T. Kozlowski. Academic press, p. 25-229.
- 191-L'hélias C., 1970 -** *Chemical aspects of growth and development in Insects Chemical Zoologie*, Florkin M. et Scheers B.T., Chemical Zoologie, London Academic Press. p. 343-400.
- 192-Lorenzetti F., 1998-** Performances relatives de la livrée des forêts, *Malacosoma disstria* Hbn. sur l'érable à sucre, *Acer saccharum* Marsh. Sain et déperé et sur le peuplier faux-tremble, *Populus tremuloides* Michx., en relation avec la chimie foliaire. Mémoire de maîtrise, UQAM. 110 p.
- 193-Loucif Z. et Bonafonte P., 1977-** Observation des populations du pou de San José dans la Mitidja. *Rev. Fruits* 32(4): 253-261.
- 194-Louis S., 2004-** Diversité structurale et d'activité biologique des Albumines entomotoxiques de type 1b des graines de légumineuses, Th. Doct., Inst. Nat. Sc. Nat. Lyon, France, p 260.
- 195-MacLauchlan L.E. et Borden J.H., 1995-** Discrimination between pine shoots with and without oviposition by *Pissodes terminalis* hopping (Coleoptera: Curculionidae). *Can. Entomol.* 127: 267–269.
- 196-Magel E., Mayrhofer S., Müller A., Zimmer I., Hampp R. et Schnitzler J.P., 2006-** Photosynthesis and substrate supply for isoprene biosynthesis in poplar leaves. *Atmospheric Environment* 40: 138-151.
- 197-Maher, N. 2002-** Sélection du site de ponte *Lobesia botrana* (lep. Tortricidae) influence de l'information chimique non-volatile présente sur les fruits de plants hôtes, Thèse Doc., Uni. Bordeaux 2 ; Sci. Bio. Méd., opt. œnologie et ampélogie, 204 p.
- 198-Malagoli D., Franchini A. et Ottaviani E., 2000-** Synergistic role of cAMP and IP(3) in corticotropin-releasing hormone-induced cell shape changes in invertebrate immunocytes. *Peptides* 21: 175-182.
- 199-Martikainen E. et Rantalainen L.M., 1999-** Temperature-time relationship in collembolan response to chemical exposure. *Ecotoxicology and environmental safety* 42: 236-244.
- 200-Margand A., 2001** – Evaluation de l'utilisation des réserves énergétiques (lipides, sucres) en tant que biomarqueurs pour l'effet du dinosèbe sur l'invertébré du sol *Folsomia candida* (Arthropleona, Isotomidae), Travail de diplôme, Faculté des Sciences, Université de Genève, Suisse.101p.
- 201-Martikainen E. et Rantalainen L.M., 1999-** Temperature-time relationship in collembolan response to chemical exposure. *Ecotox. and Environm.* 42: 236-244.
- 202-Martínez G. et Rivera A., 1994-** Role of monoamines in the reproductive process of *Argopecten purpuratus*. *Invertebr. Reprod. Dev.* 25: 167-174.
- 203-Martin-Prevel P., Gagnard J. et Gautier P., 1984-** *L'analyse végétale dans le contrôle de l'alimentation des plantes tempérées et tropicales*, Lavoisier, Paris. p 810.
- 204-Mason J.W. 1971-** A re-evaluation of the concept of non-specificity in stress theory. *J. Psychiatr. Res.* 8: 323-333.
- 205-Mattson W.J. et Addy N.D., 1975-** Phytotophagous insects as regulators of forest primary production. *Science* 190: 515-522.
- 206-Mattson W.J. et Haack R.A., 1987-** The role of drought in outbreaks of plant-eating insects. *BioScience* 37(2): 110-118.

- 207-Mattson W.J. et Scriber J.M., 1987-** *Nutritional ecology of insect folivores of woody plants*. In: Slansky F Jr, Rodriguez JG (eds). *Nutritional ecology of insects, mites spiders, and related invertebrates*. Wiley, New-York, p. 105-146.
- 208-Mattson W.J., Levieux J. et Bernard-Dagan C., 1988-** *Mechanism of woody plant defenses against insects search for pattern*, Springer-Verlag, New-York. p. 180.
- 209-Maugard F., 2002 -** *Le puceron lanigère du peuplier s'installe dans le Sud-Ouest de la France*, les Cahiers du DSF, 1-2002 (La santé des forêts [France] en 2000 et 2001), p. 38-40.
- 210-Mayer F.L., Versteeg D.J., Mckee M.J., Folmar L.C., Graney R.L., McCume D.C. et Ratter B.A., 1992-** *Biomarkers: biochemical, physiological, and histological markers of anthropogenic stress*, SETAC Special Publication Series, Lewis Publishers, Boca Raton. p. 85.
- 211-McKey D., Meunier L., 1996-** Évolution des mutualismes plantes-fourmis : quelques éléments de réflexion. *Actes Coll. Insectes Sociaux* 10: 1-9.
- 212-Métraux J.P., 2001-** Systemic acquired resistance and salicylic acid: current of knowledge. *Eur. J. Plant Pathol.* 107: 13-18.
- 213-Miles P.W., 1989-** *Feeding porcess of Aphidoïdae in relation to effects on their food plants in Aphids, their biology, natural enemies and control*. Ed. Elsevier, Amsterdam; A.K. Minks & P. Harrewijn, 2A: 321-340.
- 214-Molven, A. et Goksoyr A., 1993-** Biochemical Effects and Biomonitoring of Organochlorines and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Marine Environment. *Biochemical Monitoring* 18: 137-161.
- 215-Monneveux P. et Nemmar M., 1986-** Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et chez le blé dur (*Triticum durum*, Desf.) : étude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. *Agronomie* 6: 583-590.
- 216-Montgomery M.E., 1983-** *Biomass and nitrogen budgets during larval development of Lymantria dispar and Choristoneura fumiferana: allometrics relationships*. In: Talerico R.L., Montgomery M. (ed) *CANUSA workshop on forest defoliator-host interactions: a comparison between gypsy moth and spruce budworm*, New-Haven, CT, 5-7 April 1983. General Technical Report NE-85. USDA Forest Service, Broomall, PA. p. 133-140.
- 217-Mutin G., 1977-** *La Mitidja, décolonisation et espace géographique*. OPU, Alger, 597 p.
- 218-Myers N. et Cowling R. M., 1999-** *Mediterranean Basin*, in Mittermeier R. A., Meyers N., Gil P.R. & Mittermeier C.G. (eds), *Hotspots: Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions*. CEMEX, Mexico: 254-267.
- 219-Nef L., Janssens F., 1982-** *Les insectes nuisibles au peuplier en Belgique et en Europe occidentale*, CRLIF, UCL Belgique. p. 189.
- 220-Nef L., 1988-** Etude quantitative de populations de *Phyllocnistis suffusella* Z. (Lepid. Lithocolletidae) en Belgique. *Ann. For. Sci.* 45: 255-264.
- 221-Nemmar M., 1983-** Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez les variétés de blé dur (*Triticum durum*. Desf.) et blé tendre (*Triticum aestivum* L.). Evolution des teneurs en proline au cours du cycle de développement. Thèse Doct. Ing. Montpellier 108 p.
- 222-Noiraud N., Delrot S. et Lemoine R., 2000-** The sucrose transporter of Celery. Identification and expression during salt stress 1. *Plant physiol.* 122: 1447-1456.
- 223-Nunes S., Ha C.-D.T., Garrett P.J., Mueke E.-M., Smale L. et Holekamp K.E., 1998-** Body fat and time of year interact to mediate dispersal behavior in ground squirrels. *Animal Behavior* 55: 605-614.
- 224-Ohgusui T., 1992-** *Resource limitation on insect herbivore populations*. In: *Effects of resource distribution on animal-plant interactions*. Ed. Academic press. Inc. New York, p. 199-241.
- 225-Ohnmeiss T.E. et Baldwin I.T., 2000-** Optimal defense theory predicts the ontogeny of an induced nicotine defense. *Ecology* 81: 1765-1783.

- 226-Osier T.L., Hwang S.Y. et Lindroth R.L., 2000-** Within- and between-year variation in early season phytochemistry of quaking aspen (*Populus tremuloides* Michx.) clones in Northern Michigan, USA. *Biochem. Syst. Ecol.* 28: 197-208.
- 227-Ottaviani E., Franchini A., Caselgrandi E., Cossarizza A. et Franceschi C., 1994-** Relationship between corticotropin-releasing factor and interleukin-2: evolutionary evidence. *FEBS Lett.* 351: 19-21.
- 228-Ottaviani E. et Franceschi C., 1996-** The neuroendocrinology of stress from invertebrates to man. *Prog. Neurobiol.* 48: 421-440.
- 229-Ottaviani E., Franchini A. et Franceschi C., 1998-** Presence of immunoreactive corticotropin-releasing hormone and cortisol molecules in invertebrate haemocytes and lower and higher vertebrate thymus. *Histochem. J.* 30: 61-67.
- 230-Pacak K., Palkovits M., Yadid G., Kvetnansky R., Kopin I.J. et Goldstein D.S., 1998-** Heterogeneous neurochemical responses to different stressors: a test of Selye's doctrine of nonspecificity. *Am. J. Physiol.* 275: 1247-1255.
- 231-Pacheco M. et Santos M.A., 2001-** Tissue distribution and temperature-dependence of *Anguilla anguilla* L. EROD activity following exposure to model inducers and relationship with plasma cortisol, lactate and glucose levels. *Environ. Intern.* 26: 149-155.
- 232-Painter R. H., 1951-** *Insect resistance in crop plants*. University of Kansas Press, USA. p. 520.
- 233-Palevody C., 1985-** Adaptation de *Folsomia candida*. *Bull. Scien. de Bourgogne. Soc. des Scien. Nat. de Dijon.* 23: 155-193.
- 234-Pani A.K. et Anctil M., 1994-** Quantitative survey of biogenic amines, their precursors and metabolites in the coelenterate *Renilla koellikeri*. *Biogenic Amines* 10: 161-180.
- 235-Pani A.K. et Croll R.P., 1998-** Pharmacological analysis of monoamine synthesis and catabolism in the scallop, *Placopecten magellanicus*. *Gen. Pharmacol.* 31: 67-73.
- 236-Pautov A., 1999-** The structure and development of the hypoderm into the leaves of the genus *Populus* (Salicaceae). *Acta Bot. Gall.* 146: 123-137.
- 237-Park C.J., Shin R., Park J. M., Lee G.J., You J.S. et Paek K.H., 2002-** Induction of pepper cDNA encoding a lipid transfer protein during the resistance response to tobacco mosaic virus. *Plant Mol Biol.* 48: 243-254.
- 238-Perala D.A., 1990-** *Populus tremuloides* Michx. *Quaking Aspen*, in: R.M. Burns, B.H. Honkala (Eds.), *Silvics of North America*, Forest Service, Washington, p. 555-569.
- 239-Perry S.F. et Gilmour K.M., 1999-** *Respiratory and cardiovascular systems during stress*. In: *Stress physiology in animals*. Ed. Balm, PHM. Sheffield Academic Press Ltd, Sheffield, U.K.. p. 52-107.
- 240-Pertseva M.N., Kuznetzova L.A., Pestneva S.A. et Grishin A.V., 1992-** Agonist-induced inhibitory-guanine-nucleotide-binding regulatory protein coupling to adenylate cyclase in mollusc *Anodonta cygnea* foot muscle sarcolemma. *Eur. J. Biochem.* 210: 279-286.
- 241-Pesson P., 1974-** *Ecologie forestière, la forêt : son climat, son sol, ses arbres, sa faune*, Bordas, Paris. p. 346.
- 242-Pestarino M. et Facchinetti F., 1995-** Immunocytochemical localization and biochemical characterization of melanotropin-like peptides in the gonads of a protochordate. *Peptides* 16: 1269-1272.
- 243-Picimbon J.F. et Lea W.S., 1999-** Olfactory soluble proteins of cockroaches. *Insect Biochemistry and Molecular Biology* 29: 973-978.
- 244-Pires A., Coon S.L. et Hadfield M.G., 1997-** Catecholamines and dihydroxyphenyl-alanine in metamorphosing larvae of the nudibranch *Phestilla sibogae* Bergh (Gastropoda, Opisthobranchia). *J. Comp. Physiol.* 181A: 187-194.
- 245-Pike N., Whitfield J.A. et Foster W.A., 2007-** Ecological correlates of sociality in *Pemphigus* aphids, with a partial phylogeny of the genus. *BMC Evol. Biol.* 185: 1-12.

- 246-Pillemer E.A. et Tingey W.M., 1978-** Hooked trichomes and resistance of *Phaseolus vulgaris* to *Empoasca fabae* (Harris). *Entomol. Exp. Appl.* 24: 83-94.
- 247-Pintara A., 1987-** Taxonomic revision of the Species genus *Chaitophorus* Koch in Palaearectis Hom: Aphidoïdae. *Dtsch. ento.Z.N.F.* 34 (4-5): 219-340.
- 248-Pottinger T.G., 1999-** *Impact of stress on animal reproductive activities.* In: *Stress physiology in animals.* Ed. Balm, PHM, Sheffield Academic Press Ltd, Sheffield, U.K. p. 205-245.
- 249-Prokopy, R.J. et Owens E.D., 1983-** Visual detection of plants by herbivorous insects. *Annu. Rev. Entomol.* 28: 337-364.
- 250-Ramade, F., 1992-** *Précis d'Écotoxicologie.* Masson, Paris, p. 177.
- 251-Ramanjulu S., Sreenivasulu N. et Sudhakar C., 1997-** Effect of water stress on photosynthesis in two mulberry genotypes with different drought tolerance. *Photosynthetica* 35(2): 279-283.
- 252-Ranta E., Kaitala V., Alaja S. et Tesar D., 2000-** Nonlinear dynamics and the evolution of semelparous and iteroparous reproductive strategies. *The American Naturalist* 155: 294-300.
- 253-Resh V.H., Hildrew A.G., Statzner B. et Townsend C.R., 1994-** Theoretical habitat templates, species traits, and species richness: a synthesis of long-term ecological research on the Upper Rhône River in the context of concurrently developed ecological theory. *Freshwater Biology* 31: 539-554.
- 254-Rhoades, D.F., 1983-** *Herbivore population dynamics and plant chemistry.* In: Denno, R.F. et M.S. McClure (eds). *Variable plants and herbivores in nature and managed systems.* New-York. Academic Press, p. 155-220
- 255-Richoux P., 1994-** Theoretical habitat templates, species traits, and species richness – Aquatic coleoptera in the upper Rhône river and its floodplain. *Freshwater Biology* 31: 377-395.
- 256-Ringo J., 1996-** Sexual receptivity in insects. *Annual Reviews in Entomology* 41: 473-494.
- 257-Ristola T., Pellinen J., Roukolainen M., Kostamo A. et Kukkonen J. V. K., 1999-** Effect of sediment type, feeding level and larval density on growth end development of a midge (*Chironomus riparius*). *Environ. Toxicol. Chem.* 18: 756-764.
- 258-Redmer J.S., Wallin K.F. et Raffa K., 2001-** Effect of host tree seasonal phenology on substrate suitability for the pine engraver (Coleoptera: Scolytidae): Implications for population dynamics and enemy free space. *J. Econ. Entomol.* 94: 844-849.
- 259-Rémy C., Tramu G. et Dubois M.P., 1982-** Immunohistological demonstration of a CRF-like material in the central nervous system of the annelid *Dendrobaena*. *Cell Tissue Res.* 227: 569-575.
- 260-Roberti D., 1939-** Contributi alla conoscenza degli Afidi d'Italia: II. *Chaitophorus Hickeliana* Mimeur, *Phloeomyzus Passerinii* Sign., *Patchiella Réaumurii* Kalt., *Pemphigus protospirae* Licht.. *Boll. Lab. Zool. gen. e agr. Portici* 31: 137-157.
- 261-Roche H. et Bogé G., 1996-** Fish blood parameters as a potential tool for identification of stress caused by environmental factors and chemical intoxication. *Marine Environ. Res.* 41: 27-43.
- 262-Roche H. et Bogé G., 2000-** *In vivo* effects of phenolic compounds on blood parameters of a marine fish (*Dicentrarchus labrax*). *Comp. Biochem. Physio.* 125C: 345-353.
- 263-Roff D.A., 1992-** *The evolution of life histories: theory and analysis.* Ed. Chapman & Hall, London. 115p.
- 264-Ross A.F., 1966-** *Systemic effects of local lesion formation.* In Beemster ABR., Dijkstra J. (Eds). *Viruses of plants.* Amsterdam: North-Holland Publishing, p. 127-150.
- 265-Sakharov D.A. et Salanski J., 1982-** Effects of dopamine antagonists on snail locomotion. *Experientia* 38: 1090-1091.

- 266-Salzet M., Salzet-Raveillon B., Cocquerelle C., Verger-Bocquet M., Pryor S.C., Rialas C.M., Laurent V. et Stefano G.B., 1997-** Leech immunocytes contain proopiomelanocortin: nitric oxide mediates hemolymph proopiomelanocortin processing. *J. Immunol.* 159: 5400-5411.
- 267-Schiegg K., 2001-** Saproxylic insect diversity of beech: limbs are richer than trunks. *For. Ecol. Managem.* 149: 295–304.
- 268-Shimizu T., Mihara M. et Takeda N., 1991-** High-performance liquid chromatography of biogenic amines in the corpus cardiacum of the American cockroach, *Periplaneta americana*. *J. Chromatogr.* 539: 193-197.
- 269-Schultz J.C., 1988-** Many factors influence the evolution of herbivore diets, but plant chemistry is central. *Ecology* 69: 896-897.
- 270-Schols D., Verhaert P., Huybrechts R., Vaudry H., Jegou S. et De Loof A., 1987-** Immunocytochemical demonstration of proopiomelanocortin- and other opioid-related substances and a CRF-like peptide in the gut of the american cockroach, *Periplaneta americana* L. *Histochemistry* 86: 345-351.
- 271-Scriber, J. M. et F. Slansky Jr. 1981-** The nutritional ecology of immature insects. *Annual Review of Entomology* 26: 183–211.
- 272-Selye H., 1936-** A syndrome produced by diverse nocuous agents. *Nature* 138, 32.
- 273-Selye H., 1950-** Stress and the general adaptation syndrome. *Brit. Med. J.* 1: 1383-1392.
- 274-Selye H., 1973-** The evolution of the stress concept. *American Scientist* 61: 692-699.
- 275-Simpson S.J. et Simpson C.L., 1990-** *The mechanisms of nutritional compensation byphytophagous insects.* In: *Insect-Plant interactions.* Vol. II. Ed. CRC press, Florida, p. 111-160.
- 276-Skirvin D.J., Perry J.N. et Harrington R., 1997-** The effect of climate change on an Aphid-coccinellid interaction. *Global Change Biology* 3: 1-11.
- 277-Smith-Becker J., Marois E., Huguet E.J., Midland S.L., Sims J. J. et Keen N.T., 1998-** Accumulation of salicylic acid and 4-hydroxybenzoic acid in phloem fluids of cucumber during systemic acquired resistance is preceded by a transient increase in phenylalanine ammonia-lyase activity in petioles and stems. *Plant Physiol.* 116: 231-238.
- Sneddon L.U., Taylor A.C., Huntingford F.A. et Watson D.G., 2000-** Agonistic behaviour and biogenic amines in shore crabs *Carcinus maenas*. *J. Exp. Biol.* 203: 537-545.
- 278-Sokal R.R. et Michener C.D., 1958-** A statistical method for evaluating systematic relationships. *University of Kansas Science Bulletin* 38: 1409-1438.
- 279-Sonetti D., Vacirca F. et Fasolo A. 1986-** Localization of substance P (SP)-, neuropeptide Y (NPY)- and corticotropin-releasing factor (CRF)-like immunoreactive cells in the CNS of the freshwater *Planorbarius corneus*. *Neurosci. Lett Suppl.* 26, 322.
- 280-Southwood T.R.E., 1988-** Tactics, strategies and templets. *Oikos* 52: 3-18.
- 281-S.P.S.S. Inc., 2009-** SYSTAT 7.0 for Windows, statistics and graphics.
- 282-Statzner B., Hoppenhaus K., Arens M.F. et Richoux P., 1997-** Reproductive traits, habitat use and templet theory: a synthesis of world-wide data on aquatic insects. *Freshwater Biology* 38: 109-135.
- 283-Stearns SC., 1992-** *The evolution of life histories.* Oxford University Press, New-York. p. 215-245.
- 284-Stefano G.B., 1982-** Comparative aspects of opioid-dopamine interaction. *Cell. Mol. Neurobiol.* 2: 167-178.
- 285-Stefano G.B. et Salzet M., 1999-** Invertebrate opioid precursors: evolutionary conservation and the significance of enzymatic processing. *Int. Rev. Cytol.* 187: 261-286.
- 286-Stefano G.B., Salzet-Raveillon B. et Salzet M., 1999-** *Mytilus edulis* hemolymph contains proopiomelanocortin: LPS and morphine stimulate differential processing. *Brain Res.* 63: 340-350.

- 287-Steffens A.B. et De Boer S.F., 1999-** *Impact of stress on animal intermediate metabolism.*  
In: *Stress physiology in animals.* Ed. Balm, PHM, Sheffield Academic Press Ltd, Sheffield, U.K. p. 205-245.
- 288-Stegeman, J.J. et Hahn, M.E., 1994-** *Biochemistry and molecular biology of monooxygenases: current perspectives on forms, functions, and regulation of cytochrome P450 in aquatic species.* In: Malins, D.C., Ostrander, G.K. (Eds.), *Aquatic Toxicology, Molecular, Biochemical, and Cellular Perspectives.* Lewis Publishers, Boca Raton, p. 87-206.
- 289-Stevenson P.A., Hofmann H.A., Schoch K. et Schildberger K., 2000-** The fight and flight responses of crickets depleted of biogenic amines. *J. Neurobiol.* 43: 107-120.
- 290-Stewart C.R., 1978 –** Role of carbohydrates in proline accumulation wilted Barley leaves. *Plant Physiol.* 61: 775-778.
- 291-Sticher L., Mauch-Mani B. et Métraux J.P., 1997-** Systemic acquired resistance. *Annu. Rev. Phytopathol.* 35: 235-270.
- 292-Stobrawa K. et Lorenc-Plucińska G., 2007-** Changes in carbohydrate metabolism in fine roots of the native European black poplar (*Populus nigra* L.) in a heavy-metal-polluted environment. *Science of the Total Environment* 373: 157-165.
- 293-Stroyan H.L.G., 1977-** *Homoptera: Aphidoïdae part Chaitophoridae et Callophidae.* Handbk. Indent. Br. Insectes, II (4).
- 294-Syed N.I. et Winlow W., 1991-** Respiratory behavior in the pond snail *Lymnaea stagnalis*. II. Neural elements of the central pattern generator. *J. Comp. Physiol.* 169A: 557-568.
- 295-Szelegiewicz H., 1961-** *Die polnischen Arten der Gattung Chaitophorus Koch. (Homoptera, Aphididae).* *Anneles Zoologici* 19. Ed. Warszawa 30 v, 350 p.
- 296-Tchaker F. Z. 2007-** Evaluation de l'utilisation des réserves énergétiques (lipides, sucres) en tant que biomarqueurs pour l'effet de stress thermique sur *Chaitophorus leucomelas* (Homoptera, Aphididae) sur le peuplier noir *Populus nigra* Thèse Ing. Agro. Inst. Agro. Blida, 57 p.
- 297-Te Brugge V.A., Miksys S.M., Coast G.M., Schooley D.A. et Orchard I., 1999-** The distribution of a CRF-like diuretic peptide in the blood-feeding bug *Rhodnius prolixus*. *J. Exp. Biol.* 202: 2017-2027.
- 298-Ter Braak, C. J. F. et Prentice I. C., 1988-** A theory of gradient analysis. *Advances in ecological research* 18: 271-317.
- 299-Testerink J.H., 1982-** Starvation in a field population of litter-inhabiting Collembola: methods for determining foods reserves in small arthropods. *Pedobiologia* 21: 427-433.
- 300-The S.J., Adams S.M. et Hintond. E., 1997-** Histopathologic biomarkers in feral fresh-water fish populations exposed to different types of contaminant stress. *Aquat. Toxicol.* 37: 51-70.
- 301-Thibaud J.M., 1980-** Croissance pondérale et linéaire chez les insectes Collemboles. *Rev. Ecol. Biol. du Sol.* 17(3): 405-418.
- 302-Thieme H. et Benecke R., 1969-** Isolierung und Konstitutionsaufklärung eines Cyclolignanglykoside aus dem Blätter von *Populus nigra*. *Pharmazie* 24: 567-572.
- 303-Thomas Palo R., 1984-** Distribution of birch (*Betula* spp.), willow (*Salix* spp.), and poplar (*Populus* spp.) secondary metabolites and their potential role as chemical defense against herbivores. *J. Chem. Ecol.* 10: 499-520.
- 304-Thomas M., Marinescu I. et Ionescu F., 1979-** Flavonoidese din muganii de plop, *St. Cerc. Biochem.* 22: 202-213.
- 305-Thompson J. N. et Pellmyr O., 1991-** Evolution of oviposition behavior and host preference in Lepidoptera. *Annual Review of Entomology* 36: 65-89.
- 306-Townsend C.R. et Hildrew A.G., 1994-** Species traits in relation to a habitat template for river systems. *Freshwater Biology* 31: 265-275.

- 307-Townsend C.R., Doledec S. et Scarsbrook M.R., 1997-** Species traits in relation to temporal and spatial heterogeneity in streams: a test of habitat templet theory. *Freshwater Biology* 37: 367-387.
- 308-Troll W. et Lindsley J., 1955-** A photometric method for the determination of proline. *J. Biol. Chem.* 216: 655-660.
- 309-Tsitsipis, et Mittler, 1978 -** *Les pucerons des cultures*. Ed. Acta, Bercy. p. 763.
- 310-Turley D.B., Chaudhry Q., Watkins R.W., Clark J.H. et Deswarte F.E.I., 2006-** Chemical products from temperate forest tree species developing strategies for exploitation industrial. *Crops and Products* 24: 238-243.
- 311-Urban L. 1997-** *Introductions à la production sous serres*. Tec-Doc., Paris. p.125.
- 312-Urban J., 2004-** Occurrence, development and natural enemies of cecidogenous generations of *Pemphigus gairi* Stroyan (Sternorrhyncha, Pemphigidae). *J. For. Sci.* 50: 415-438.
- 314-Usseglio-Polatera P. et Tachet H., 1994-** Theoretical habitat templates, species traits, and species richness - Plecoptera and Ephemeroptera in the Upper Rhône River and its floodplain. *Freshwater Biology* 31: 357-375.
- 315-Usseglio-Polatera P., Bournaud M., Richoux P. et Tachet H., 2000-** Biological and ecological traits of benthic freshwater macroinvertebrates: relationships and definition of groups with similar traits. *Freshwater Biology* 43: 175-205.
- 316-Vaal M., Van der Wal J.T., Hoekstra J. et Hermens J., 1997-** Variation in the sensitivity of aquatic species in relation to the classification of environmental pollutants. *Chemosphere* 35: 1311-1327.
- 317-Vaal M., Van Leeuwen C.J. et Hoekstra J.A., 2000-** Variation in sensitivity of aquatic species to toxicant: practical consequences for effect assessment of chemical substances, *Environmental Management* 25: 415-423.
- 318-Van Brummeln T.C. et Suijzand S.C., 1993-** Effects of benzofalpyrene on survival, growth and energy reserves in the terrestrial isopods *Oniscus asellus* and *Porcellio scaber* . *The Science of the Total Environment, Suppl.* 51: 921-929.
- 319-Vanderwel M.C., Malcolm J.R., Smith S.M. et Islam N., 2006-** Insect community composition and trophic guild structure in decaying logs from eastern Canadian pine-dominated forests. *For. Ecol. Manage.* 225: 190-199.
- 320-Van Gijndy S.D., Bird A.F. et Wai-Lace H.R., 1967-** Aging and starvation in larvae of *Meloidogyne javanica* and *Tylenchulus semipenetrans*. *Phytopathol.* 57: 559-571.
- 321-Van Loon L.C. et Van Strien E., 1999-** A physiological and molecular plant. *Pathology* 55: 85-97.
- 322-Vannote R.L., Minshall G.W., Cummins K.W., Sedell J.R. et Cushing C.E., 1980-** The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 37: 130-137.
- 323-Verhaert P., Marivoet S., Vandesande F. et de Loof A., 1984-** Localization of CRF immunoreactivity in the central nervous system of three vertebrate and one insect species. *Cell Tissue Res.* 238: 49-53.
- 324-Vincent C.H. et Boivin G., 1986-** Les relations insectes-plantes: perspectives de recherche. *Revue d'Entomologie du Québec* 31: 5-15.
- 325-Völkl W., Woodring J., Fisher M., Lorenz M.W. et Hoffmann K.H., 1999-** Ant aphid mutualisms: the impact of honeydew production and honeydew sugar composition on ant preferences. *Oecologia* 118: 483-491.
- 326-Ward J., 1958-** Hierarchical grouping to optimise on objective function. *Journal of the American Statistical Association* 63: 236-244.
- 327-Watt A.D., Leather S.R., Hunter M.D. et Kidd N.A.C., 1990-** *Population dynamics of forest insects*. Intercept, Andover, U.S.A. p. 408.
- 328-Wendelaar-Bonga S.E., 1997-** The stress response in fish. *Physiol. Rev.* 77: 591-625.

- 329-Williams G.C., 1966-** Natural Selection, the Costs of Reproduction, and a Refinement of Lack's Principle. *The American Naturalist* 100: 687.
- 330-Win Decoen T., 2000-** Influence of metals on reproduction, mortality and population growth in *Onychiurus armatus* (Collembola). *Jour. Applied Ecol.* 22: 967-978.
- 331-Winks M. et Schimmer O., 1999-** *Modes of action of defensive secondary metabolites*, In: M. Wink, (Ed.), *Function of Plant Secondary Metabolites and their Exploitation in Biotechnology*, Sheffield Academic Press, Sheffield. UK. p 17–133.
- 332-Wogram J. et Liess M., 2001-** Rank ordering of macroinvertebrate species sensitivity to toxic compounds by comparison with that of *Daphnia magna*, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 67: 360-367.
- 333-Wright J., Maklakov A.A. et Khazin V., 2001-** State-dependent sentinels: an experimental study in the Arabian babbler. *Proceedings of the Royal Society of London* 37: 821-826.
- 334-Xu H. et Heath M.C., 1998-** Role of calcium in signal transduction during the hypersensitive response caused by basidiospore-derived infection of the cowpea rust fungus. *Plant Cell* 10: 585-597.
- 335-Zangerl A.R. et Bazzaz F.A., 1992-** *Theory and pattern in plant defense allocation*. In: R.S. Fritz, E.L. Simms (eds.), *Plant resistance to herbivore and pathogens*, University of Chicago Press, Chicago. p. 363–391.
- 336-Zatta F., 1987-** Dopamine, noradrenaline and serotonin during hypo-osmotic stress of *Carcinus maenas*. *Mar. Biol.* 96: 479-481.



# ANNEXE I Inventaire et groupes fonctionnels

Comp.	Ordre	Famille	Espèce s	Gr. fonct.	nl
Trunk	Arachnida	Zodariidae	<i>Zodarium algivorum</i>	C. II	24
		Uropythidae	<i>Leptyphantes djaziri</i>	C.II	5
		Phlodromidae	<i>Phlodromus cespitus</i>	C.II	8
			<i>Phlodromus sp.</i>	C.II	12
		Gnaphosidae	<i>Nomisla castanae</i>	C.II	9
	Therididae	<i>Enoplognatha sp</i>	C.II	28	
	Orthoptera	Acrididae	<i>Anacridium aegyptium</i>	C.I	5
			<i>Ochrotella filicornis</i>	C.I	1
	Hymenoptera	Formicidae	<i>Aphaenogaster-testaceo pilosa</i>	Troph	55
	Heteroptera	Nabidae	<i>Himacerus apterus</i>	C.II	11
Hemiptera	Aphididae	<i>Phloeomesus passerini</i>	C.I	356	
Tiges	Hemiptera	Aphididae	<i>Pemphigus lichtensteini</i>	C.I	198
			<i>Phloeomyzus passerini</i>	C.I	146
			<i>Pterocomma populum</i>	C.I	56
		Issidae	<i>Hysteropterum gryllodes</i>	C.I	9
	Asterolecaniidae	<i>Asterolecanium muni</i>	C.I	15	
	Coleoptera	Coccinellidae	<i>Psyllora vingintiduo-punctata</i>	C. II	17
			<i>Oenopia dublieri</i>	C. II	14
			<i>Coccinella algerica</i>	C. II	8
		Buprestidae	<i>Capnodis millaris</i>	C. I	3
			<i>Melanophila picta</i>	C. I	5
		Cerambycidae	<i>Saperda cartharalis</i>	C. I	11
		Carabidae	<i>Calathus melanocephalus</i>	C. II	6
			<i>Calathus fuscipes</i>	C. II	3
	Mantoptera	Mantidae	<i>Sphodromantis viridis</i>	C. III	5
	Galls	Arachnida	Salticidae	<i>Salticus sp5</i>	C. II
Gnaphosidae			<i>Zelotes bernardi</i>	C. II	13
Psocoptera		/	<i>Troctes divinatorius</i>	Succ	106
Coleoptera		Coccinellidae	<i>Oenopia dublierie</i>	C. II	63
		Curculionidae	<i>Rhynchites sp</i>	C. I	48
Hymenoptera		Formicidae	<i>Crematogaster scutellaris</i>	Troph	39
		Chalcididae	???????	C. III	11

Comp.	Ordre	Famille	Espèce s	Gr. fonct.	nl
Liane s	Hemiptera	Aphididae	<i>Chalophorus leucomelas</i>	C.I	1629
			<i>Chalophorus populivora</i>	C.I	556
			<i>Hemipigus prostospirae</i>	C.I	78
			<i>Hemipigus bursarius</i>	C.I	90
			<i>Hemipigus versicarius</i>	C.I	19
			<i>Monostera uncostata</i>	C.I	201
			<i>Platynaspis luteovirata</i>	C.II	56
			<i>Hyperaspis algerica</i>	C.II	76
			<i>Adalia decempunctata</i>	C.II	44
			<i>Scymnus mimulus</i>	C.II	9
	<i>Scymnus subvillosus</i>	C.II	12		
	<i>Chrysomelidae</i>	<i>Synthonus rascocroceratus</i>	C.I	32	
	Mantoptera	Mantidae	<i>Sphodromantis viridis</i>	C.III	18
			<i>Iris oratoria</i>	C.III	8
			<i>Armeles adjecta</i>	C.III	7
			<i>Armeles africana</i>	C.III	3
			<i>Lyoneitidae</i>	<i>Paraleucoptera sinuella</i>	C.I
	Lepidoptera	<i>Lymantiridae</i>	<i>Lymantira dispar</i>	C.I	7
		<i>Stiphodon s alvici</i>	C.I	1	
		<i>Uthocollidae</i>	<i>Phytocentra sumatra</i>	C.I	28
		<i>Stigmellidae</i>	<i>Stigmella trimaculella</i>	C.I	24
		<i>Notodontidae</i>	<i>Dicranura vinula</i>	C.I	17
	Hymenoptera	Formicidae	<i>Crematogaster scutellaris</i>	Troph	277
			<i>Tapinoma nigerrimum</i>	Troph	1652
			<i>Cataglyphis bicolor</i>	C.II	99
			<i>Messor barbara</i>	Troph	9
			<i>Heleodes pallidus</i>	Troph	51
			<i>Apis mellifera</i>	Troph	21
			<i>Vespa</i>	<i>Hortus ganicus</i>	C.II
	<i>Chrysididae</i>	<i>Chrysis ignita</i>	C.III	6	
	Arachnida	Salticidae	<i>Salticus sp2</i>	C.II	6
			<i>Salticus sp3</i>	C.II	8
			<i>Salticus sp4</i>	C.II	4
			<i>Salticus sp1</i>	C.II	6
			<i>Oonopidae</i>	<i>Gastromorpha roriculata</i>	C.II
		<i>Lycoidae</i>	<i>Tridasa paradoxa</i>	C.II	2
		<i>Clubionidae</i>	<i>Mesolobus mauritanicus</i>	C.II	3
		<i>Scotina celans</i>	C.II	10	
		<i>Gnaphosidae</i>	<i>Zelotes apochloaeformis</i>	C.II	2
		<i>Harpimanidae</i>	<i>Harpimanus sp1</i>	C.II	2
	Heteroptera	<i>Anthracoridae</i>	<i>Anthracoris nemorum</i>	C.II	29
		<i>Pentatomidae</i>	<i>Zizrona coerulea</i>	C.II	12
		<i>Nabidae</i>	<i>Himacerus mirmicoides</i>	C.II	19

C I : Consommateurs primaires      C II : Consommateurs secondaires  
 C III : Consommateurs tertiaires      Troph. : trophobiontes.

**ANNEXE II** Classification ascendante hiérarchique de l'échantillon de la zoocénose de *Populus nigra* (calculée à partir des coordonnées des 91 espèces sur les 3 premiers axes de l'DCA). Les 5 groupes mis en évidence sont matérialisés par des doubles flèches.

