

**UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA**

**Faculté des Sciences Agro-Vétérinaires**

Département des Sciences Agronomiques

## **MEMOIRE DE MAGISTER**

en Sciences Agronomiques

Spécialité : Protection des plantes et environnement

**EFFET DE LA QUALITÉ DE LA PLANTE HÔTE SUR L'ALLOCATION  
DES RÉSERVES ÉNERGÉTIQUES DES PUCERONS DANS UN  
VERGER D'AGRUMES EN MITIDJA CENTRALE**

Par

**Houda MOSTEFAOUI**

Devant le jury composé de :

Z. KRIMI	Professeur, U. S.D.B.	Présidente
A. GUENDOUZ - BENRIMA	MCA., U. S.D.B.	Examinatrice
L. ALLAL- BENFEKIH	MCA., U. S.D.B.	Promotrice
Z.E. DJAZOULI	MAA., U.S.D.B.	Co-promoteur

Blida, Juin 2009

## RESUME

Les pucerons figurent parmi les déprédateurs majeurs des agrumes et les plus dangereux des phytophages par la gravité des nuisances dues à leur polyphagie ; leur pouvoir d'adaptation rapide et leur grand pouvoir de reproduction. L'étude des réserves énergétiques a montré la prédominance des réserves lipidiques en tant que biomarqueurs d'effet. Les variations temporelles des réserves énergétiques aphidiennes sur le clémentinier ont révélé une différence significative entre *Aphis citricola* et *A. gossypii*.

Les analyses effectuées sur les constituants phytochimiques de *Citrus clementina* des feuilles attaquées et non attaquées, nous a permis de quantifier les sucres totaux, l'azote total, la proline et les flavonoïdes. Leurs variations temporelles ne présentent pas de différence significative entre les constituants biochimiques chez les deux catégories foliaires. Par besoin d'explicitier nos résultats, nous avons eu recours à la comparaison des pentes des feuilles attaquées par rapport aux feuilles non attaquées dans les deux poussées de sève à l'ajustement du modèle MOTOMURA (1932) nous a permis de clarifier les changements des constituants phytochimiques au niveau des deux poussées de sève. L'analyse en composantes principales (ACP) nous a permis de résumer la variabilité entre les réserves énergétiques et les constituants phytochimiques de l'hôte. Quatre groupes dont deux groupes sont représentés par des quantités de proline et de C-glycosyls, corrélés positivement avec la 2<sup>ème</sup> poussée de sève (PSII). Un troisième groupe est représenté par des réserves énergétiques corrélées à la 3<sup>ème</sup> poussée de sève (PSIII). Le quatrième est représenté par des teneurs en sucres totaux, en azote total et en anthocyanes non corrélés avec la PSII ni la PSIII. Les résultats auxquels nous avons abouti stipulent que l'allocation des réserves énergétiques est fonction des changements biochimiques des poussées de sève de la plante hôte

Mots clés : réserves énergétiques, biomarqueurs d'effet, *Aphis*, *Citrus clementina*, phytochimie.

## ABSTRACT

### EFFECT OF HOST PLANT QUALITY ON ENERGY RESERVES ALLOCATION OF APHIDS IN A CITRUS ORCHARD LOCATED IN CENTRAL MITIDJA

Aphids are among the major depredators of citrus and most dangerous of phytophagous by the gravity of the harmful effects of their polyphagia; their capacity of fast adaptation and their great capacity of reproduction. Study on energy reserves has showed the prevalence of the fats as a biomarker of effect. Temporal variation of aphid energy reserves on *Citrus clementina* revealed a significant difference between *Aphis citricola* and *A. gossypii*.

The analyses carry out on the phytochemical components of attacked and non attacked sheets of *Citrus clementina* has allowed us to quantify total sugars, total nitrogen, proline and flavonoïdes contents. Their temporal variation did not differ significantly between the biochemical components at the two foliar categories. By need to clarify our results, we compared the slopes of attacked and non attacked leaves in both pushed sap with the adjustment of model MOTOMURA (1932). Components changes were observed in the two cases of pushed sap. Analysis in principal components (ACP) enabled us to summarize variability between the energy reserves and the phytochemical components. Two groups were represented by the quantities of proline and of C-glycosyls, positively correlated with the 2<sup>nd</sup> thorough sap (PSII). A third group is represented by energy reserves correlated with the 3<sup>rd</sup> pushed sap (PSIII). The last group is represented by total sugar contents, total nitrogen and anthocyanes contents with no correlation on pushed sap.

The results to which we ended, stipulate that the allowance of the energy reserves are accorded to the biochemical changes to pushed sap of the plants hosts.

**Key words:** energy reserves, biomarkers of effect, *Aphis*, *Citrus clementina*, phytochemicals.

## ملخص

### تأثير نوعية شجرة المعيلة على الاستعمال و توزيع الاحتياطي للمدخرات الطاقوية لحشرات المن في بستان الحمضيات الواقع في سهل متيجة الوسطى

تعد حشرات المن من أهم وأخطر آفات الحمضيات نظرا لحجم الخسائر المتعددة التي تسببها و خطورتها تتمثل في تأقلمها السريع على التكيف و قدرتها العالية على التكاثف

من خلال الدراسة التي أجريت المدخرات الطاقوية إظهرت النتائج غالبية الدهون باعتبارها من المعلمات البيولوجية استجابتا لتأثير في حين أن التغير الزمني للمدخرات الطاقوية لحشرات المن المتواجد على اليوسفية أوضحت فرق كبير في المدخرات بين *A.gossypii* و *Aphis citricola*

التحليل التي أجريت على مكونات الكيميونباتية لأوراق اليوسفية الغيرالمتعرضة والمتعرضة لهجوم حشرات المن سمحت لنا بتقدير إجمالي لكمية السكريات ، مجموع النيتروجين ، البرولين و flavonoïde وفي حين أظهرالتباين الزمني غياب الاختلاف بين مكونات البيوكيماوية في كل أصناف الأوراق.

لغرض توضيح النتائج المتحصل عليها استعنا بالمقارنة بين ميل التقريبي لأوراق المتعرضة و الغيرالمتعرضة للهجوم حشرات المن في فصلي الصيف و الخريف حسب نموذج التمثيلي (Motomura, 1932) ، بحيث أوضحت التغييرات الكيميونباتية بين فصلي الصيف و الخريف، إضافة إلى طريقة تحاليل المركبات الأولية (ACP) سمحت لنا بتلخيص التباين بين المدخرات الطاقوية و المكونات الكيميونباتية للشجرة المعيلة ، اظهرت 4 مجموعات اثنان منهم (1و2) تمثل كميات البرولين و C-glycosyl هما متلازمتان طرديا مع مرحلة النمو الثانية(PSII)المجموعة ثالثة تمثلها المدخرات الطاقوية متلازمة طرديا مع مرحلة النمو الثالثة(PSII) المجموعة الأخيرة ممثلة بالسكريات ، مجموع النيتروجين ، و anthocyane غير متلازمتين مع أي مرحلة النمو (PSII و PSIII)

النتائج التي تحصلنا عليها تظهر بان التغير في الاستعمال و توزيع الاحتياطي للمدخرات الطاقوية تتأثر بالتغيرات البيوكيماوية مع مراحل نمو الشجرة المعيلة

الكلمات الأساسية: المدخرات الطاقوية، المعلمات البيولوجية، *Aphis* ، الحمضيات ، والمواد الكيميونباتية

## REMERCIEMENTS

Avant tout, je remercie **Dieu** de m'avoir donné la force et le courage nécessaire pour réaliser ce travail.

Je tiens à exprimer mes remerciements et mes respects aux membres du jury de thèse d'avoir accepté d'honorer et d'enrichir mon travail. Pour cela, je leur exprime ma profonde reconnaissance.

Toute ma gratitude à Mme le docteur ALLAL-BENFEKIH L. et Mr. DJAZOULI Z. E. pour leur encadrement, leurs nombreux conseils et leur soutien constant tout au long de la réalisation de ma thèse.

J'exprime ma gratitude à tous mes enseignants de l'année théorique particulièrement Mme le professeur KRIMI Z. pour ses qualités humaines et scientifiques, le soutien qu'elle n'a pas cessé de me prodiguer, et Mr le docteur BENCHABANE pour ses conseils et ses apports tant enrichissants.

Mr AROUN pour ses enseignements depuis mon cycle d'ingénieur ; c'est grâce à lui que j'ai appris le sérieux et la discipline.

Je tiens particulièrement à remercier Mme OULD SLIMANE H. de m'avoir donné l'opportunité de réaliser mon travail au sein de la ferme « Cinq palmiers » à Oued El Alleug (wilaya de Blida), à tous le personnel et plus spécialement Mme BYAD Kheira pour ses précieux conseils, durant les sorties sur le terrain.

Je tiens à témoigner tout particulièrement ma sympathie à M<sup>elle</sup> DJAMAI Amina pour ses qualités humaines, sa patience; pour ses aides et pour sa disponibilité pendant l'expérimentation ainsi que tout le personnel du laboratoire de zoophytiatrie qui était toujours disponible et tous les chercheurs y compris les étudiants.

Je tiens à remercier Mr. BENCHERCHALI ; pour ses aides et ses précieux conseils.

Je remercie également tout le personnel administratif du département d'agronomie pour son service précieux.

Je tiens à remercier également tout le personnel administratif et les collègues au sein de l'institut national spécialisé de formation professionnelle en industrie agro-alimentaire de Sidi Abdelkader à Blida.

J'aimerais aussi remercier tous mes amis qui m'ont accompagné et soutenu. Enfin, je remercie spécialement, du fond du cœur tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail, pour leur soutien incroyable, leur patience et leur présence affectueuse à mes côtés jusqu'à la dernière minute.

## DEDICACES

Je dédie ce modeste travail, à mes très chers parents en témoignage de l'amour, du respect et de ma profonde et éternelle gratitude que je leurs porte et ma reconnaissance pour leur soutien, je ne les remercierai jamais assez, pour tout ce qu'ils m'ont fait.

A ma grande mère.

A l'âme de mon frère Mohamed.

A mon très cher frère Rabah, Noureddine et Hocine qui m'ont donné l'aide et le courage à surmonter des situations pénibles.

A mes sœurs Djamila, Samia et Radhia

A mes belles sœurs.

A mes beaux frères.

A mes nièces.

A mes neveux.

A toute la famille Mostefaoui et Messak.

A mes amies et collègues.

## TABLE DE MATIERES

RESUME  
ABSTRACT  
ملخص

REMERCIEMENTS  
DEDICACES

SOMMAIRE

LISTE DES ILLUSTRATIONS ET GRAPHIQUES  
LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION .....	13
<b>CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE LA PLANTE HOTE.....</b>	<b>17</b>
1.1. Taxonomie et caractères botaniques des agrumes.....	17
1.1.1. Origine.....	18
1.1.2. Origine du clémentinier.....	18
1.1.3. Taxonomie.....	18
1.1.4. Caractères botaniques et phénologiques .....	18
1.2. Aire de répartition géographique des agrumes en Algérie .....	22
1.3. Ecologie du clémentinier.....	23
1.3.1. Les conditions climatiques.....	23
1.3.2. Particularités édaphiques.....	24
1.4. L'entretien du verger .....	26
1.4.1. Les mauvaises herbes.....	26
1.4.2. La taille.....	27
1.5. Etat phytosanitaire des agrumes.....	27
1.5.1. Les accidents physiologiques .....	28
1.5.1.1. Les troubles génétiques.....	28
1.5.1.2. Les troubles physiologiques.....	28
1.5.1.3. Les effets des carences et excès des éléments minéraux .....	28
1.5.2. Les maladies et les ravageurs.....	29
1.5.2.1. Les maladies dues aux virus et aux phytoplasmes.....	29
1.5.2.2. Les maladies bactériennes ou bactérioses.....	29
1.5.2.3. Les maladies cryptogamiques.....	29
1.5.2.4. Les principaux ravageurs.....	30
<b>CHAPITRE 2 : LES PUCERONS DES AGRUMES ET MOYENS DE LUTTE.....</b>	<b>31</b>
2.1. introduction.....	31
2.2. Caractères généraux des aphides.....	32
2.2.1. Systématique.....	32

2.2.2.	Caractéristiques morphologiques et polymorphisme sexuel.....	32
2.2.2.1.	Caractéristiques morphologiques.....	32
2.2.2.2.	Polymorphisme.....	33
2.2.2.3.	Biologie.....	34
2.2.2.4.	Symbiose avec <i>Buchnera</i> .....	36
2.3.	Les principales espèces aphidiennes des agrumes.....	37
2.3.1.	<i>Aphis citricola</i> V.D.G. = <i>Aphis spiraecola</i> Patch. 1914.....	37
2.3.2.	<i>Aphis gossypii</i> Glov.(1877).....	38
2.3.3.	<i>Toxoptera aurantii</i> B.D.F.(1841).....	39
2.3.4.	<i>Myzus persicae</i> Sulz. (1776).....	40
2.3.5.	<i>Toxoptera citricidus</i> Kirkaldy.....	40
2.4.	Facteurs de fluctuation des populations aphidiennes.....	41
2.4.1.	Facteurs abiotiques.....	42
2.4.2.	Facteurs biotiques.....	42
2.5.	Dégâts des aphides.....	43
2.5.1.	Dégâts directs.....	43
2.5.2.	Dégâts indirects.....	44
2.5.2.1.	Miellat et fumagine.....	44
2.5.2.2.	Transmission des virus.....	44
2.6.	Moyens de lutte.....	45
2.6.1.	Moyens culturels.....	46
2.6.2.	Moyens biologiques.....	46
2.6.3.	Moyens chimiques.....	49
<b>CHAPITRE 3 : BIOMARQUEURS.....</b>		<b>50</b>
13.1.	Définition.....	50
13.2.	Types de biomarqueurs.....	51
13.3.	Choix du biomarqueur.....	52
3.3.1.	Les réserves énergétiques comme biomarqueurs .....	52
3.3.1.1.	Les lipides.....	54
3.3.1.2.	Les sucres.....	54
13.4.	Réponse cellulaire de l'organisme face à un stress.....	55
<b>CHAPITRE 4 : INTERACTIONS PLANTE HOTE-BIOAGRESSEURS.....</b>		<b>59</b>
4.1.	Introduction.....	59
4.2.	Importance de l'alimentation pour les insectes.....	60
4.2.1.	Éléments Nutritifs.....	60
4.2.2.	Balance nutritionnelle.....	60
4.3.	Les facteurs de stress.....	61
4.4.	Réponses de la plante face aux bioagresseurs.....	61
4.4.1.	Protections physiques ou mécaniques.....	62
4.4.2.	Défenses chimiques des plantes.....	62
4.4.3.	Mécanisme de réponse des plantes au niveau cellulaire.....	64
4.5.	Facteurs affectant les composés nutritifs et allelochimiques.....	67
4.5.1.	Facteurs biotiques.....	67
4.5.2.	Facteurs abiotiques : le stress hydrique.....	67
4.5.2.1.	Mécanisme de réponse de la plante vis-à-vis d'un stress hydrique.....	69
4.5.2.1.1.	Accumulation de la proline.....	69
4.5.2.1.2.	Accumulation des sucres solubles.....	70

4.5.2.1.3.	Réduction des besoins nutritionnels.....	70
4.5.3.	Facteurs anthropiques.....	71
4.5.3.1.	La fertilisation.....	71
4.5.3.2.	La taille.....	71
<b>CHAPITRE 5 : MATERIEL ET METHODES.....</b>		<b>72</b>
5. 1.	Introduction.....	72
5.2.	Objet .....	73
5.3.	Présentation de la région d'étude.....	74
5.3.1.	Présentation de la région Mitidja.....	74
5.3.1.1.	Situation géographique.....	74
5.3.1.2.	Le climat.....	75
5.3.1.2.1.	La pluviométrie.....	75
5.3.1.2.2.	La température.....	76
5.3.1.2.3.	Vents.....	76
5.3.1.2.4.	Hygrométrie.....	76
5.3.1.2.5.	Gelée.....	77
5.3.1.3.	Synthèse climatique.....	77
5.3.1.3.1.	Étage bioclimatique.....	77
5.3.1.3.2.	Diagrammes Ombrothermiques de BAGNOULS et GAUSSEN (1953) .....	77
5.3.2.	Présentation du site d'étude Oued El Alleug.....	80
5.3.3.	Présentation de la station d'étude.....	81
5.3.4.	Dispositif expérimental dans la parcelle étudiée.....	83
5.3.4.1.	Présentation du dispositif expérimental de la parcelle étudiée.....	83
5.3.4.2.	Echantillonnage sur le terrain.....	85
5.3.4.2.1.	Calendrier des sorties.....	85
5.3.4.2.2.	Méthodologie.....	85
5.4.	Méthode d'étude au laboratoire.....	86
5.4.1.	Matériel biologique.....	86
5.4.1.1.	Pucerons.....	86
5.4.1.2.	Feuillage.....	86
5.4.2.	Extraction et dosage des biomarqueurs énergétiques et des principes actifs.....	86
5.4.2.1.	Extraction et dosage des biomarqueurs énergétiques..	86
5.4.2.2.	Extraction et dosage des des principes actifs.....	88
5.4.2.2.1.	Extraction et dosage de l'azote.....	88
5.4.2.2.2.	Extraction et dosage des sucres totaux.....	88
5.4.2.2.3.	Extraction et dosage de la proline.....	89
5.4.2.2.4.	Extraction et dosage des flavonoïdes.....	89
5.4.3.	Mesure de la quantité d'eau dans les feuilles.....	91
5.5.	Analyse statistique des résultats.....	92
<b>CHAPITRE VI : RESULTATS.....</b>		<b>94</b>
6.1.	Quantification et variations temporelles des réserves énergétiques des pucerons <i>Aphis citricola</i> et <i>A. gossypii</i> .....	94
6.1.1.	Quantification des réserves énergétiques glucidiques et lipidiques.....	94
6.1.2.	Variations temporelles des réserves énergétiques.....	94

6.1.3	Analyse qualitative des réserves énergétiques sur les deux poussées de sève.....	97
6.1.3.1.	Cas des lipides.....	97
6.1.3.2.	Cas des glucides.....	98
6.2.	Quantification et variations temporelles des supports alimentaires et des principes actifs sur <i>C. clementina</i> .....	100
6.2.1	Quantification phytochimique du support alimentaire.....	100
6.2.2	Variations temporelles de la qualité phytochimique des feuilles attaquées et non attaquées.....	101
6.2.3	Analyse quantitative de la biochimie foliaire comparée entre les poussées de sève.....	101
6.2.3.1.	Cas des sucres totaux.....	101
6.2.3.2.	Cas de l'azote total.....	103
6.2.3.3.	Cas de la proline.....	104
6.2.3.4.	Cas des flavonoïdes.....	105
6.3.	Effet de la saison et de la quantité des constituants biochimiques de la plante hôte sur l'allocation des réserves énergétiques chez les aphides étudiés .....	107
<b>CHAPITRE 7 : DISCUSSION GENERALE.....</b>		<b>113</b>
CONCLUSION.....		125
APPENDICE.....		129
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....		167

## LISTE DES ILLUSTRATION, GRAPHIQUES ET TABLEAUX

<b>Figure 1.1.</b>	: Le clémentinier (personnelle).....	20
<b>Figure 1.2.</b>	: fruits du clémentinier (personnelle).....	20
<b>Figure 2.1.</b>	: Femelle fondatrigène aptère qui donne une naissance à une larve (personnelle).....	36
<b>Figure 2.2.</b>	: Femelle fondatrigène aptère <i>Aphis spiraecola</i> (personnelle)....	37
<b>Figure 2.3.</b>	: Femelle fondatrigène aptère d' <i>Aphis gossypii</i> (personnelle)....	38
<b>Figure 2.4.</b>	: Adultes ailé d' <i>Aphis gossypii</i> (personnelle).....	38
<b>Figure 2.5.</b>	: Caractéristiques des tubercules antennaire (droite) et de la cauda (gauche) d' <i>Aphis gossypii</i> [80].....	38
<b>Figure 2.6.</b>	: Femelle fondatrigène aptère <i>Toxoptera aurantii</i> (personnelle)..	39
<b>Figure 2.7.</b>	: Adulte ailé : <i>Toxoptera aurantii</i> (personnelle).....	39
<b>Figure 2.8.</b>	: Femelle fondatrigène aptère de <i>Myzus persicae</i> [80].....	40
<b>Figure 2.9.</b>	: <i>Toxoptera citricidus</i> (a : ailé, b : aptère) [80].....	41
<b>Figure 2.10.</b>	: Dégâts du puceron sur clémentinier dans la région de Mitidja (personnelle).....	45
<b>Figure 2.11.</b>	: Physiologie d'alimentations des pucerons [80].....	45
<b>Figure 2.12.</b>	: chrysope ramassé sur clémentinier a : Adultes b : œufs (personnelle).....	47
<b>Figure 2.13.</b>	: Coccinelle ramassé sur clémentinier a : Adultes b : larve (personnelle).....	47
<b>Figure 2.14.</b>	: Larve blanche camaemyiide du prédatrices de pucerons sur feuille de clémentinier (personnelle).....	47
<b>Figure 2.15.</b>	: Larve orange de Cecidomyiide prédatrices de pucerons sur feuille de clémentinier (personnelle).....	47
<b>Figure 2.16.</b>	: Cycles de parasitoides des pucerons [80].....	48
<b>Figure 3.1.</b>	: Les différents niveaux d'évaluation du risque, et leurs relations temporelles [107].....	51
<b>Figure 3.2.</b>	: Relations mettant en évidence l'effet d'un polluant sur un	52

	organisme [107].....	
<b>Figure 3.3<sub>a</sub>.</b>	: Représentation schématique de la répartition de l'énergie dans la théorie DEB (DYNAMIC ENERGY BUDGET) [111]....	53
<b>Figure 3.3<sub>b</sub>.</b>	: Flux des réserves énergétiques: assimilation par la nourriture et mobilisation lors des besoins énergétiques [110].....	53
<b>Figure 3.4.</b>	: Interrelations simplifiée des tissus chez les insectes entre le métabolisme du glucose (G), du tréhalose (T), et du glycogène [107].....	55
<b>Figure 3.5.</b>	: Chaîne de réactions cellulaires allant de la détection du stress à la synthèse des protéines de stress [105].....	57
<b>Figure 3.6.</b>	: Schéma des voies majeures conduisant à la détoxification et la toxification des xénobiotiques organiques chez les animaux [105] .....	58
<b>Figure 4.1.</b>	: Les métabolites secondaires produits par la plantes suite à des agressions biotique et/ou abiotiques [160].....	63
<b>Figure 4.2.</b>	: Réactions de défense contre un agent pathogène [182].....	65
<b>Figure 4.3.</b>	: Mécanismes de défense cellulaire contre les ravageurs [183].....	66
<b>Figure 4.4.</b>	: Effets du stress hydrique au niveau cellulaire chez le blé [205].....	68
<b>Figure 5.1.</b>	: Limite géographique de la Mitidja.....	74
<b>Figure 5.2.</b>	: Localisation de la Mitidja dans le climagramme D'EMBERGER.....	78
<b>Figure 5.3.</b>	: Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN relatif à la région d'étude (a : 1998 à 2008, b: 2008).....	79
<b>Figure 5. 4.</b>	: Limite géographique d'Oued El Alleug.....	81
<b>Figure 5.5.</b>	: Plan parcellaire de l'EURL FSPP Cinq Palmiers Oued El Alleug Blida.....	82
<b>Figure 5.6.</b>	: Dispositif expérimental de la parcelle étudiée.....	84
<b>Figure 6. 1.</b>	: Variations temporelles des réserves énergétiques (glucides, lipides) chez <i>A. citricola</i> (a) et <i>A. gossypii</i> (b).....	96

<b>Figure 6.2.</b>	: Variation des lipides chez les deux pucerons en fonction de la poussée de sève.....	97
<b>Figure 6.3.</b>	: Variation des glucides chez <i>A. citricola</i> et <i>A. gossypii</i> sur <i>C. clémentina</i> en fonction de la pousse de sève.....	99
<b>Figure 6.4.</b>	: Distribution quantitative des supports alimentaires et des principes actifs sur <i>C. clementina</i> .....	100
<b>Figure 6.5.</b>	: Variations temporelles des principes actifs des feuilles attaques et non attaques de (ns) (a) sucre totaux, (b) azote total, (c) proline, (d) C-glycosyles flavones, (e) anthocyanes, (f) quantité d'eau dans les feuilles.....	102
<b>Figure 6.6.</b>	: Distribution des constituants biochimiques sur <i>C. clementina</i> en fonction des deux poussées de sève.....	108
<b>Figure 6.7.</b>	: Corrélations des réserves énergétiques et des principes actifs de la plantes hôte.....	110
<b>Figure 6.8.</b>	: Projections des réserves énergétiques aphidiennes et des constituants foliaires alimentaires et non alimentaires sur les deux axes de l'ACP.....	111
<b>Figure 6.9.</b>	: Classification ascendante hiérarchique des échantillons sur les pousses des sèves (calculé par le biais des distances euclidiennes à partir des coordonnées des stations d'étude sur les trois axes de l'ACP).....	112
<b>Tableau 5.1.</b>	: Méthode suivie pour l'obtention de la courbe standard de cholestérol [239].....	87
<b>Tableau 6.1.</b>	: Comparaison des pentes lipidiques à l'ajustement du modèle de MOTOMURA (1932).....	98
<b>Tableau 6.2.</b>	: Comparaison des pentes glucidiques à l'ajustement du modèle MOTOMURA (1932).....	100
<b>Tableau 6.3.</b>	: Comparaison des pentes des teneurs en sucres totaux à l'ajustement du modèle MOTOMURA (1932).....	103
<b>Tableau 6.4.</b>	: Comparaison des pentes des teneurs en azote total à l'ajustement du modèle MOTOMURA (1932).....	104

<b>Tableau 6.5.</b>	: Comparaison des pentes des teneurs en proline à l'ajustement du modèle MOTOMURA (1932). .....	105
<b>Tableau 6.6.</b>	: Comparaison des pentes des teneurs en C-glycosyl-flavones à l'ajustement du modèle MOTOMURA (1932).....	106
<b>Tableau 6.7.</b>	: Comparaison des pentes des teneurs en anthocyanes à l'ajustement du modèle MOTOMURA (1932)..... ..	106

## INTRODUCTION

Le bassin méditerranéen est la principale zone de production des agrumes; l'Espagne, le Maroc et l'Algérie en sont les grands producteurs [1]. Les agrumes constituent la première production fruitière algérienne ; celle-ci est inégalement répartie dans les différentes régions agrumicoles du pays. La surface agrumicole algérienne s'étend sur 41.380 ha [2] d'où la région de la plaine de la Mitidja présente une plus grande surface avec 44% du total, la plus grande partie de production est utilisée dans la consommation en frais (97%) et le reste est destiné à la transformation agro-alimentaire et autre[2].

Les agrumes qui sont natifs de la région de la Mitidja, sont sujets à plusieurs contraintes d'ordre hydrique, technique, et sanitaire. Le vieillissement du verger a accéléré la multiplication de nombreux parasites qui ont contribué à l'altération quantitative et qualitative des produits. De part les insectes nuisibles, les pucerons restent le groupe le plus menaçant à cause de leurs pullulations qui dépassent souvent le seuil tolérable ainsi qu'à leur capacité vectrice des agents responsables du dépérissement [3 ; 4].

Les études menées à ce jour sur les fluctuations des populations des pucerons dans plusieurs régions d'Algérie montrent que la situation est très grave et nécessite une intervention urgente. Les moyens de lutte utilisés jusqu'à ce jour sont strictement chimiques, pourtant les inconvénients des pesticides, tels que le phénomène de concentration dans les organes vivants, les effets cancérigènes, l'altération organoléptique des produits agricoles et surtout l'apparition de souches de ravageurs de plus en plus résistantes, ne sont plus à démontrer [5 ; 6 ; 7 ; 8 ; 9 ; 10 ; 11 ; 12 ; 13].

Pour faire face à cette situation, les recherches doivent se pencher plus spécialement, sur les relations plantes hôte – insectes ravageurs afin de cerner les exigences d'installation primaire et les facteurs du succès reproducteurs.

Dans le cadre des relations alimentaires entre les insectes opophages et leurs plantes hôtes, l'antibiose est principalement dictée par les variations de composition chimique du feuillage alors que la tolérance est dictée par la quantité de feuillage produit. La relation entre la quantité de feuillage produit et la tolérance est un élément déterminant pour la résistance d'un arbre à un bioagresseur, en effet ce n'est pas la quantité de feuillage attaqué par l'insecte qui importe mais plutôt la quantité de feuillage qui reste indemne au niveau de l'arbre pour effectuer sa photosynthèse après le passage de l'insecte [14].

La phytophagie peut parfois induire des dommages importants qui peuvent affecter le succès reproducteur d'une plante, ou la dynamique de populations végétales. Pour faire face à cette pression, les végétaux ont développé de nombreuses stratégies de défense contre cette phytophagie. Cependant, à leur tour, les insectes phytophages sont parvenus à s'adapter à ces innovations, afin de pouvoir continuer à exploiter leur habitat. Les deux spécimens se livrent donc à une perpétuelle confrontation pour atteindre l'équilibre dynamique dont la rupture peut entraîner soit la prolifération des insectes au détriment de la plante soit l'autodéfense de cette dernière [15].

Le stade phénologique de la plante-hôte agit sur la sélection des insectes phytophages, en effet on assiste à une variation temporelle de la présence et de l'attaque des différents pucerons. Cette variation va être matérialisée par des changements de distribution des réserves énergétiques des pucerons en fonction de la composition biochimique de la plante hôte. Le degré de synchronisation de l'insecte avec la plante va donc au-delà de la simple disponibilité de la nourriture, sa qualité est aussi un facteur clé [16 ; 17].

Les études de LAWRENCE *et al.* [18] ont mis en évidence la variation saisonnière de la chimie foliaire qui est en effet hautement corrélée avec la

performance des insectes qui se nourrissent de la feuille. Il y'a lieu de signaler que les besoins énergétiques et nutritionnels d'une espèce phytophage sont tels qu'un apport minimal dans la diète est requis pour la survie et la croissance [19]. Ces besoins varient selon l'espèce et le stade de l'insecte.

L'alimentation est particulièrement cruciale pour les femelles de plusieurs espèces phytophages puisqu'elles doivent produire des progénitures viables. En ce sens, le développement larvaire et la métamorphose sont aussi des étapes coûteuses en termes d'énergie et d'éléments nutritifs tels que l'azote, les glucides et les acides aminés notamment. Cependant, les larves sont confrontées à une source de nourriture qui n'est pas stable dans le temps. Des changements physico-chimiques s'opèrent dans la plante hôte tout au long de la saison de croissance. Ces changements impliquent une variation dans la qualité de sa nourriture [19]. En général, plus la saison de croissance avance, plus la qualité des ressources alimentaires diminue [20; 21]. C'est ce qui explique le grand nombre d'espèces printanières de ces ravageurs opophages qui profitent de cette période où la ressource est riche en qualités nutritives. En somme, il y aurait une période autour d'un point plus ou moins précis dans le développement saisonnier de la plante, qui correspondrait à une qualité optimum pour la fitness d'une espèce phytophage. On appelle cette période la fenêtre phénologique de susceptibilité [18; 20; 21].

Le concept de fenêtre phénologique a particulièrement été étudié à partir d'insectes « folivores chez les lépidoptères» [22; 23; 24]. Pour ces espèces, la variation biochimique à l'intérieur des feuilles est telle que la qualité de la nourriture devient rapidement insuffisante pour le développement des larves. Ces auteurs montrent en effet que la performance des insectes folivores, comme chez la tordeuse des bourgeons de l'épinette *Choristoneura fumiferana*, est influencée par la variation de la qualité nutritive et cette variation détermine de manière substantielle la date de ponte optimale, car le développement phénologique des feuilles a une influence très marquée sur les insectes qui s'en nourrissent.

En ce qui concerne les insectes opophages des plantes cultivées, les études sont beaucoup moins nombreuses et l'effet de la qualité de la plante hôte

sur l'allocation saisonnière des réserves énergétiques des aphides est très peu documenter. Dans ce contexte, la présente étude met en diapason la variation de la qualité phytochimique des feuilles des agrumes au cours de deux poussées de sève et leurs effets sur le remaniement des réserves énergétiques d'*Aphis citricola* et *Aphis gossypii*. A travers notre démarche scientifique nous cherchons à répondre aux hypothèses suivantes:

1. Les variations des réserves énergétiques d'*Aphis citricola* et *Aphis gossypii* sur le clémentinier sont-elles différentes en fonction des poussées de sève?
2. Les réserves énergétiques sont-elles variables d'un puceron à l'autre ?
3. Les variations temporelles des constituants biochimiques sont-elles différentes ?
4. L'allocation des réserves énergétiques chez les espèces étudiées est-elle influencée par la poussée de sève et par la qualité biochimique de la plante hôte ?

## **CHAPITRE 1**

### **PRESENTATION DE LA PLANTE HOTE**

#### 1.1. Taxonomie et caractères botaniques des agrumes

##### 1.1 .1. Origine

Issus de lointains ancêtres « spontanés », les arbres fruitiers sont devenus des plantes « cultivées » grâce aux artifices de la culture. Ils ont acquis des caractères voulus par l'Homme comme leur adaptation au milieu, la qualité de leurs fruits, et leur production,[25].

Les agrumes sont originaires des pays du sud-est asiatique où leur culture se confondait avec l'histoire des civilisations anciennes de la chine, qui les cultivèrent d'abord pour leur parfum, puis pour leurs fruits. Ce n'est qu'avec le rayonnement des civilisations chinoises et hindoues que leur culture commença à se propager au cours du premier millénaire avant notre ère [26].

Les cédratiers furent probablement les premiers agrumes cultivés en Méditerranée à l'époque des Mèdes au VII<sup>e</sup> siècle. C'est aux alentours de l'an 1400, après le voyage de Marco Polo en Chine (1287), que les portugais introduisirent l'oranger en Méditerranée.

A l'époque des navigateurs arabes les agrumes ont été propagé sur les côtes orientales de l'Afrique jusqu'au Mozambique. Christophe Colomb, à l'occasion de son second voyage en 1493, les a introduits en Haïti, dans les Caraïbes, à partir de laquelle la diffusion s'est faite vers le Mexique (1518), puis vers les Etats-Unis d'Amérique (1569 à 1890) [27]. Enfin, ce sont les Anglo-

hollandais qui, en 1654, ont introduit les premiers agrumes en Afrique du Sud, selon LOUSSERT, [26].

### 1.1.2. Origine du clémentinier

Cet hybride issu du mandarinier et dont le père supposé serait le Bigaradier Granito, a été semé il y a une quarantaine d'années par le frère Clément, de l'orphelinat de Misserghin (près d'Oran) et lancé en culture par le docteur TRABUT [28].

D'après REBOURS [29], le clémentinier est l'objet de plusieurs opinions partagées au sujet de son origine. Certains auteurs comme TRABUT et REBOUR [in 30] pensent que la clémentine est née en Algérie d'un granito.

Pour d'autres, WEBER, TANAR et CHAPOT [26] ; il s'agirait d'une variété de mandarine probablement originaire d'extrême orient du fait de sa ressemblance avec certains mandariniers, comme par exemple le mandarine de canton qui est en fait une clémentine.

### 1.1.3. Taxonomie :

Le terme d'agrumes (citrus en anglais) correspond à trois genres botaniques : *Citrus*, *Poncirus* et *Fortunella*. Ils appartiennent à la famille des *Rutacées*, à la sous famille des *Aurantioideae*, à la tribu des *Citreae* et à la sous tribu des *Citrinea* [31]. Le genre *Citrus* est le plus important avec 145 espèces cultivées: les orangers, les clémentiniers, les mandariniers, les citronniers et les pomelos, avec une dominance des variétés précoces du groupe oranger tel que : *Washington navel* et *Thomson navel*. Ces dernières occupent 50% de la superficie du groupe oranger [26].

La classification systématique des agrumes et des genres voisins est un problème que les spécialistes s'accordent à qualifier de complexe [30]. Le concept d'espèce surtout à l'intérieur du gène *Citrus* n'est pas universel [32 ; 33]. Ces divergences se manifestent entre les opinions des auteurs systématiciens

SWINGLE, TANAKA, HUME, HODGSON et CHAPOT. Selon les mêmes auteurs, quelles que soient ces divergences, la classification de SWINGLE et REECE [34] représente une base suffisante à partir de laquelle il est possible, aux intéressés, d'approfondir leurs connaissances. La taxonomie du clémentinier d'après TANAKA et SWINGLE [30], et LOUSSERT [1] est la suivante : Division : *Embryophytes*; Sous division : *Angiospermes* ; Classe : *Dicotyledoneae* ; Sous classe : *Archichlonideae* ; Série : Dixiflores ; S/Série : Diplosternane ; Ordre : Gerniales ; Sous ordre : *Gerniineae* ; Famille : *Rutaceae* ; Sous famille : *Aurantioideae* ; Tribu : *Citreae* ; Sous tribu : *Citrinae* ; Genre : *Citrus* ; Espèce : *C. clementina*.

#### 1.1.4. Caractères botaniques et phénologiques

Le clémentinier est un arbre de taille supérieure à la moyenne, plus importante que toutes les autres variétés de mandarinier, les rameaux sont fins mais d'un diamètre moyen supérieur à celui des autres mandariniers, ils sont pratiquement sans épis à feuillage dense et persistant [32] (Figure I. 1).

Les clémentines obtenues spontanément en Algérie donnent des fruits superbes, très gros, bien colorés et bien juteux [29].

D'après PARLORAN [30], la meilleure variété de mandarine est le clémentinier grâce à ses fruits, qui mûrissent peu de temps après ceux de la variété satsuma (Brésil). Les fruits sont arrondis à la base, la peau brillamment colorée en orangé-rougeâtre est finement granitée. La pulpe, de couleur orange foncée, est juteuse, tendre et parfumée, [35]. Selon REBOUR [36], le clémentinier est caractérisé par des fruits semblables à ceux du mandarinier, mais à pépins mono-embryonnés (Figure 1.2).

Selon GUIGNARD [37], dans chaque quartier du fruit on trouve une ou plusieurs graines fixées au placenta axile : ce sont les « pépins », en les décortiquant, nous isolons plusieurs embryons.



**Figure 1.1** : Le clémentinier (personnelle).



**Figure 1.2** : fruits du clémentinier (personnelle).

D'après PRALORAN [30], le système racinaire des agrumes est composé d'un pivot simple, double ou triple qui s'enfonce à plus de 1,50 m et n'émet de racines secondaires que dans la partie supérieure vers un maximum de 0,50 m. Ces dernières sont sensiblement horizontales et peuvent atteindre les 6 à 7 m chez les arbres adultes, elles forment avec le pivot un système d'aspect fortement turbiné.

Les agrumes représentent un cycle annuel dont les étapes sont aussi marquées, où on distingue la croissance végétative qui se manifeste sur les jeunes ramifications dès que la température atteint 12°C et se poursuit jusqu'à 35°C - 36°C au cours de trois périodes ou poussées de sève [1; 26 ; 30] qui se résument comme suit :

- La première poussée de sève (PSI) ou la poussée de printemps se manifeste de la fin de février au début mai. Au début, elle se manifeste par des ramifications qui s'allongent et développent de jeunes feuilles de coloration claire, très distinctes des autres feuilles plus âgées, colorées en vert sombre. Sur ces nouvelles ramifications apparaissent en avril-mai les pousses fructifères qui sont les boutons floraux, puis les fleurs [1].
- En été, au courant du mois de juillet- Août, se développe la poussée d'été qui est la deuxième poussée de sève (PSII) dite la poussée estivale plus au moins vigoureuse suivant les températures, les irrigations et la vigueur des arbres. Cette poussée est en général moins importante que les deux autres poussées [1].
- La troisième poussée de sève (PSIII), se manifeste en automne entre octobre et la fin novembre dite poussée automnale, qui assure en partie le renouvellement du feuillage [1].

Ces trois poussées sont les résultats de trois flux de sève qui commandent le développement végétatif de l'arbre, en présence des apports fractionnés d'engrais azotés et d'eau d'irrigation. Elles se traduisent par une intense activité

d'absorption au niveau du système racinaire ainsi qu'une intense activité de la synthèse chlorophyllienne au niveau de la frondaison qui sont indispensables au soutien équilibré de ces trois poussées [1].

## 1.2. Aire de répartition géographique des agrumes en Algérie

L'ALGERIE est l'un des pays des mondes les mieux placés pour la culture des arbres fruitiers. La diversité de ses régions et son climat permet d'envisager les productions les plus élevées, dans les conditions les plus avantageuses [38].

L'agrumiculture représente pour le pays un intérêt certain non seulement sur le plan social puisqu'elle exige une importante main d'œuvre, mais aussi sur le plan économique, car elle offre une haute rentabilité quand elle est bien conduite [39 ; 40].

A l'origine, le verger agrumicole algérien a été créé et développé par la colonisation à des fins d'approvisionnement de la métropole. Au regard de leurs exigences pédoclimatiques, les agrumes sont principalement localisées sur les terres riches des zones potentielles à savoir [39]:

**Le Centre** : 30325,5 ha soit 65% du verger national situé principalement à

- Blida : 13390 ha soit 29% du verger total et 44% du verger national.
- Chlef : 5140 ha soit 11% du verger total et 17% du verger régional.

**L'Ouest** : 11375 ha soit 24,5% de verger national et situé surtout à

- Mascara : 3368 ha soit 7% du verger national.
- Relizane : 2940 ha soit 600% du verger national.

**L'Est** : 4715,5 ha soit 50% du verger national et situé principalement dans la wilaya de Skikda 2170 ha soit 5% du verger national.

### 1.3. Ecologie du clémentinier

#### 1.3.1. Les conditions climatiques

Dans le cas des agrumes, le caractère pérenne de la culture va augmenter l'importance des facteurs météorologiques. Les agrumes prospèrent bien là où les conditions climatiques Méditerranéennes sont favorables avec quelques différences suivant les espèces. Les moyennes hivernales favorables à la culture des *Citrus* sont de l'ordre de 10°C à 12°C et entre 22 à 24°C pour les moyennes estivales, avec un optimum de végétation oscillant entre 22°C et 26°C. Au-delà de 30°C on constate un arrêt de végétation des arbres, [26].

La pluviométrie annuelle est généralement comprise entre 600 et 1200 mm [30 ; 36]. Cette quantité d'eau reste toujours au dessous des exigences de l'agrumiculture, d'où le retour à l'irrigation devient une étape obligatoire pendant la période estivale [39].

Les paramètres climatiques ont par ailleurs une importance primordiale pour l'écologie des agrumes. Ces paramètres semblent être lié à l'humidité de l'air, qui dans certaines circonstances peut endommager l'arbre et la production en favorisant les installations des champignons et des ravageurs. Dans le cas contraire, une humidité basse (ou insuffisante) provoque une intense respiration du végétal et ainsi les besoins en eau augmentent [1].

Le vent en tant que facteur clé est un ennemi redoutable des agrumes .Par son action mécanique, il peut provoquer directement des blessures sur les fruits [41 ; 42 ; 43]. En Mitidja, selon MUTIN [44], les vents d'Ouest et du Nord-Ouest sont à craindre pendant l'hiver. Les vents desséchants du sud peuvent aussi provoquer des dommages. Même ces vents sont moins brutaux ; ils accroissent les besoins en eau en augmentant très sensiblement l'évaporation potentielle du milieu, comme ils accentuent les accidents liés aux écarts de température, notamment les brûlures par vents chauds et la destruction des fleurs par temps froid. Il est, donc, nécessaire de protéger les vergers avec des brises vents.

L'espèce la plus sensible au vent est le clémentinier alors que la plus résistante est le citronnier [29].

### 1.3.2. Particularités édaphiques

D'après LOUSSERT [26], le choix du porte-greffe est déterminant concernant l'adaptation des agrumes aux différents types de sol ; l'utilisation du bigaradier comme porte-greffe des *Citrus* en région méditerranéenne est due, en particulier, à ses grandes facultés d'adaptation aux différents types de sols qui caractérisent cette région. Les sols favorables à la culture des agrumes sont les terres à texture argilo-sablo limoneuse ayant un taux de calcaire compris entre 5 et 10% avec un pH neutre à légèrement acide de 6,5 [1].

L'arbre fruitier mobilise chaque année une certaine quantité d'éléments nutritifs pour assurer sa croissance, son développement, puis sa fructification. Vu sa longévité ces éléments nutritifs peuvent présenter une quantité considérable, d'où un appauvrissement et même une dégradation du sol au fil du temps quelque soit la richesse et la fertilité du sol. Une fertilisation bien étudiée et continuellement suivie est donc nécessaire [45].

Selon REBOUR [28], il est nécessaire de fournir aux agrumes adultes 0,5 kg d'azote sous forme organique, par arbre, par adulte et par an. D'après les travaux de BATCHELER et PARKER *in* ANONYME [46], un arbre adulte en plein apport, a besoin de 1 Kg à 1,5 Kg d'azote par an. Ces mêmes auteurs ont remarqué que, passé par une certaine limite, il n'y a plus d'augmentation de la récolte due à l'azote ; néanmoins, selon PATRICK [47], l'utilisation de l'azote par l'arbre dépend de deux conditions très importantes qui sont une bonne disponibilité dans le sol autour des racines, et une bonne photosynthèse et une bonne respiration dépendant du climat et de l'état du feuillage (stade de développement et état hydrique).

Dans le cas des agrumes, les feuilles qui ne présentent que le 5<sup>ème</sup> du poids total de l'arbre, renferment 41% d'azote total [48]. L'azote constitue 1 à 5% de la matière sèche. Il rentre directement dans la composition des protéines, des acides

nucléiques (bases azotées) [49]. Son abondance dans les feuilles jeunes [50], s'explique par son incorporation aux enzymes dans les réactions biochimiques de la plante surtout dans la chlorophylle. Sa teneur diminue au fur et à mesure du vieillissement de la plante. Son effet sur l'arbre est généralement fort et rapide et sa disponibilité intervient directement sur les paramètres physiologiques [51 ; 52]. On peut citer :

- la vitesse de croissance des pousses (facteur essentiel des multiplications et des croissances cellulaires),
- la durée de croissance de la végétation,
- le nombre et la vigueur des ramifications,
- le grossissement des bourgeons floraux,
- l'aptitude des fleurs à la fécondation et à la nouaison,
- la multiplication des cellules du jeune fruit,
- la croissance de la pulpe.

L'azote a un effet indirect sur la photosynthèse et donc sur la qualité des organes floraux et des fruits ; l'azote ammoniacal favorise l'absorption du phosphore ; l'azote nitrique rend plus efficace le transfert du potassium et du calcium.

Le phosphore est dix fois moins présent dans l'arbre que l'azote ou le potassium [47]. Il a un rôle primordial dans des activités biochimiques telles que la respiration, la synthèse des protéines, [49].

Le potassium est très important dans la vie de l'arbre (rendement) et du fruit (la qualité et la grosseur). On le trouve à des teneurs voisines ou supérieures à celle de l'azote dans les organes en développement. [53], Sa fraction minérale dans les fruits constitue 4% de la matière sèche. Sa teneur chez les feuilles des agrumes est très variable (entre 0,3 et 2%) et fortement modifiée par la variété et le porte-greffe [54].

Le calcium, on le trouve également à un niveau équivalent de potassium dans les feuilles et notamment les plus âgées. Environ 60% du calcium est absorbé et fixe sur les parois cellulaires et concourt à leur consolidation. Il intervient dans la régulation osmotique, [49].

Les oligo-éléments tels le Fer, Manganèse, Zinc, Cuivre, Bore et Molybdène sont retenus comme essentiels participent au métabolisme de la plante. Ils sont nécessaires aux enzymes soit comme activateurs, soit comme constituants spécifiques de systèmes enzymatiques [55].

#### 1.4. L'entretien du verger

Un mauvais entretien des vergers entraîne une diminution marquée de la production du point de vue quantitatif et qualitatif. L'entretien de ces derniers doit commencer à partir de leurs implantations [56].

Pour atteindre ses objectifs, l'agrumiculteur algérien doit conduire son verger par des différentes techniques adaptées aux conditions environnementales des vergers, [57].

##### 1.4.1. Les mauvaises herbes

Selon LOUSSERT [1], les mauvaises herbes sont des concurrents redoutables des arbres pour l'alimentation minérale : surtout pendant les périodes où les besoins des arbres sont élevés. Les adventices ont une incidence considérable sur l'évaporation des réserves en eau du sol. Elles sont souvent le refuge de nombreux insectes, et favorisent le développement de certaines maladies cryptogamiques. Leur présence est une gêne pour l'exécution des travaux d'entretien ; de plus, leur couverture freine le réchauffement du sol et augmente les risques du gel.

Cette végétation concurrente dans le verger peut être éliminée soit par des sarclages répétés, tôt, et sans attendre que les plantules soient grandes. Dans ce

dernier cas, il faut lutter par pulvérisation de produits chimiques, ce qui permet de résoudre le problème de main d'œuvre [56].

D'après LOUSSERT [1], dans la pratique, l'élimination de la végétation spontanée commence dès la fin de l'hiver, elle sera répétée au fur et à mesure de l'apparition de nouvelles mauvaises herbes pendant le printemps et jusqu'à la fin de l'été.

#### 1.4.2. La taille

La taille d'entretien a pour but d'obtenir une production régulière, en favorisant la formation de nouveaux rameaux et en éliminant ceux âgés et épuisés. Son principe est d'obtenir un équilibre tout en ayant une forme facilement exploitable et une charpente suffisamment solide. Il n'existe pas de règles strictes ; l'efficacité de la taille dépend du jugement du tailleur [58].

Le clémentinier a tendance à se ramifier d'une façon exagérée et à s'embrouiller ; il faut bien surveiller sa formation et éviter la constitution d'une charpente trop serrée. Dans ce cas la taille d'entretien doit tenir compte de grande fertilité du clémentinier et de sa tendance à son développement saisonnier. Il sera donc taillé et éclairci sévèrement par rapport aux autres espèces [58].

La meilleure période de taille est février - mars, juste avant le redémarrage de la végétation et de la mise à fleur, dans les conditions algériennes. Elle consiste principalement à éliminer les gourmands, à supprimer les bois morts et les rameaux qui se croisent. La taille permet également de maintenir une dimension raisonnable pour les agrumes cultivés [31].

#### 1.5. Etat phytosanitaire des agrumes

Les agrumes souffrent de différentes maladies et ravageurs qui peuvent affecter considérablement la récolte en détruisant les fruits et/ou les arbres.

### 1.5.1. Les accidents physiologiques

#### 1.5.1.1. Les troubles génétiques

Les troubles génétiques les plus souvent rencontrés sont :

- la Panachure sur feuilles et fruits.
- Les fentes des fruits et de l'ombilic.
- La fasciation des rameaux et des fruits.

Aucun traitement curatif ne peut être conseillé. Dans tous les cas on évitera de prélever des greffons sur arbres présentant de ces troubles [59].

#### 1.5.1.2. Les troubles physiologiques

Parmi les troubles physiologiques [59], les plus importants sont :

- **Le gaufrage** : c'est un phénomène accidentel, fréquent (sauf chez le citronnier). Les fruits présentent sur l'épiderme des dépressions et des bosses légèrement marquées. Ils éclatent rarement sur l'arbre mais plus souvent en emballage. Les remèdes contre le gaufrage n'existent pas.
- **L'altération du col** : On observe autour du calice de petites zones nécrosées qui s'aggravent après la récolte.
- **L'altération de l'écorce** : Les symptômes se présentent sous forme de zones irrégulières nécrosées sur l'écorce de fruits.
- **La nécrose de la partie stylaire.**
- **L'éclatement de fruits.**

#### 1.5.1.3. Les effets des carences et excès des éléments minéraux

Nous avons consigné en annexe les principaux effets des déficiences et excès de quelques éléments minéraux sur les agrumes, (APPENDICE B<sub>1et2</sub>). Par ailleurs, l'excès d'eau, entraîne un jaunissement entier des arbres, le feuillage flétrit se dessèche et tombe en grande partie [59].

### 1.5.2. Les maladies et les ravageurs

La liste des maladies et des ravageurs des agrumes est longue. Dans cette partie nous évoquerons les principales maladies et ravageurs animaux rencontrés régulièrement par les agrumiculteurs dans leurs vergers et qui causent très souvent des dommages considérables aux agrumes, et affectent considérablement la récolte en détruisant les fruits et/ou les arbres.

Pour cela les planteurs doivent apporter un soin particulier au cours de la croissance des arbres et les fruits, ainsi qu'avant la récolte des fruits.

#### 1.5.2.1. Les maladies dues aux virus et aux phytoplasmes

Les agrumes sont soumis aux problèmes de la propagation des maladies à virus et à phytoplasmes ces derniers temps. Ce sont des maladies transmissibles par bouturage, greffage, ou par des Homoptères agrumicoles polyphages. Les virus et les viroïdes déterminent un certain nombre d'effets généraux tels que les anomalies de la croissance et les inhibitions de la formation des pigments, [60 et 61], (APPENDICES C 1, 2 et 3).

#### 1.5.2.2. Les maladies bactériennes ou bactérioses

Les bactéries provoquent sur les végétaux la pourriture, la Tumeur, les chancres par les toxines qu'elles émettent. Elles peuvent causer des lésions à distances. L'infection peut se faire aussi bien par les orifices naturels comme les stomates ou les lenticelles et/ou par des agents de propagation des maladies bactériennes sont nombreux citons en particulier le vent, l'eau et les semences [60]. (APPENDICES D<sub>1</sub> et 2)

#### 1.5.2.3. Les maladies cryptogamiques

Les maladies d'origine cryptogamique qui s'attaquent aux agrumes sont assez nombreuses. Certaines sont économiquement très importantes. [60]. (APPENDICES E<sub>1, 2</sub> et 3)

#### 1.5.2.4. Les principaux ravageurs

Selon PRALORAN [30], le nombre d'espèces animales qui se développent et se nourrissent au dépens des agrumes sont extrêmement nombreuses et variées. Dans la liste dressée par EBELLING, on trouve 5 espèces de gastéropodes, 12 espèces d'acariens, 352 espèces d'insectes, 11 espèces de nematodes. Nous avons reporté dans l'appendice des ravageurs des agrumes uniquement les espèces qui causent d'importants dégâts aux vergers. (APPENDICES F<sub>1</sub> à 12).

## **CHAPITRE 2**

### **LES PUCERONS DES AGRUMES ET MOYENS DE LUTTE**

#### 2.1. Introduction

Les pucerons sont des phytophages. Grâce à leurs pièces buccales de type piqueur-suceur, ils se nourrissent de la sève des plantes. De même, ils peuvent transmettre à celles-ci des particules virales. Ils sont d'autant plus nuisibles que leur cycle est complexe. Leur polymorphisme leur permet d'exploiter leurs plantes-hôtes d'une manière maximale tout en répondant très rapidement aux modifications de leur environnement. Ils s'installent précocement et présentent souvent un taux de croissance exponentiel [62].

En Algérie les pucerons sont parmi les principaux ravageurs des cultures, leurs pullulations dépassent souvent le seuil tolérable. Les études menées à ce jour sur l'inventaire et les fluctuations des populations des pucerons dans plusieurs régions d'Algérie montrent que la situation est très grave et nécessite une intervention urgente [5 ; 6 ; 7 ; 8 ; 9 ; 12 ; 63 ; 64 ; 65 ; 66 ; 67] .

Dans le contexte de la protection phytosanitaire, la lutte chimique doit être bien souvent effectuée dès l'installation des premières colonies, pour réduire le nombre des pucerons. Les armes que l'industrie chimique nous a données sont très nombreuses et variées dans leur action [68]. Mais elle pose de nombreux problèmes environnementaux et par conséquent est soumise à des législations de plus en plus drastiques. Ainsi, les conséquences de l'industrie chimique entraîne un phénomène de concentration dans les organes vivants, des effets cancérogènes, l'altération organoleptique des produits agricoles et surtout l'apparition de souches de ravageurs de plus en plus résistantes. Les traitements

sont souvent fort coûteux et s'avèrent presque toujours insuffisamment efficaces [69 ; 70].

Les ennemis naturels, prédateurs et parasites, notamment les coccinelles ont un rôle important dans la régulation naturelle des populations de pucerons. Cela est possible si les conditions sont favorables pour l'accomplissement de leur action. [70]

## 2.2. Caractères généraux des aphides

### 2.2.1. Systématique

BALACHOWSKY et MESNIL [71], classent les aphides dans :  
Embranchement : Arthropodes ; S/Embranchement : Mandibulates ; Classe : Insectes ; S/Classe : Ptérygotes ; Section : Néoptères ; Sup./Ordre : Hémiptéroïdes ; Ordres : Homoptères ; Série : Sternorhynques ; S/Ordre : *Aphidinea* ; Sup./Famille : *Aphidoidea* ; Famille : *Aphididae* ; S/Famille : *Aphidinae*.

### 2.2.2. Caractéristiques morphologiques et polymorphisme sexuel

#### 2.2.2.1. Caractéristiques morphologiques

Les pucerons sont de petits insectes globuleux ou aplatis, ovales ou sphériques, de couleur très variable, dont la taille oscille entre 0.5 et 6 millimètres [71]. Ils peuvent être nus ou recouverts d'une pulvéulence plus ou moins épaisse ou parfois d'une cire abondante et floconneuse [72]. Les pucerons sont uniquement opophages, grâce à leurs pièces buccales de type piqueur-suceur [62]. Ils sont caractérisés par un polymorphisme tout à fait remarquable qui ne se trouve nulle part parmi les hémiptères [71] (APPENDICES G<sub>1, 2 et 3</sub>)

Leur corps est divisé en trois parties : la tête, le thorax et l'abdomen.

- La tête : Elle est généralement bien séparée du thorax chez les formes ailées. Elle porte une paire d'antennes et des yeux composés [62]. Les

antennes possèdent au plus six articles, sur lesquelles apparaissent des organes olfactifs, les rhinaries ou sensorias. Le dernier article comporte une partie terminale le plus souvent effilée, le fouet ou flagelle ou processus terminal [73]. Les yeux composés sont bien développés. Ils sont fréquemment pigmentés en rouge [9]. Le rostre est inséré à la limite postérieure de la tête. Il sert comme un organe sensoriel de contrôle de la piquûre [74]. Il comprend quatre articles bien individualisés qui abritent les stylets [72] (APPENDICES G<sub>1et 2</sub>).

- Le thorax : Le thorax est composé de trois segments de taille progressivement croissante chez les aptères [75]. Il porte trois paires de pattes de longueur inégale [62]. Elles se terminent habituellement par un tarse à deux articles et un crochet bifide [73]. Chez les ailés, le thorax est fortement bombé [71]. Il porte deux paires d'ailes membraneuses dont la nervation est plus ou moins complète selon les familles [72] (APPENDICES G<sub>1et 3</sub>).
- L'abdomen : L'abdomen est formé d'un ensemble de huit segments [76 ; 5]. Le cinquième porte les cornicules par où le puceron excrète des gouttes de liquide contenant des hormones d'alarme ou favorisant la rencontre des sexes [73]. Le dernier segment abdominal se prolonge par une cauda plus ou moins conique et sous lequel s'ouvrent l'anus et plus ventralement l'orifice génital [74] (APPENDICES G<sub>1et 3</sub>).

#### 2.2.2.2. Polymorphisme

Les pucerons sont caractérisés par un polymorphisme tout à fait remarquable de formes, tantôt ailés, tantôt aptères, souvent complètement différentes les unes des autres. Ces formes se succèdent suivant la saison, la plante hôte et les conditions climatiques [71].

En cas de cycle complet, les sexués assurent la survie hivernale de l'espèce. Les ailés parthénogénétiques assurent la dissémination des pucerons [62].

En effet, même si le processus de production de formes aptères et ailées est très largement gouverné par l'environnement agroclimatique, il semble avoir une composante génétique [76].

### 2.2.2.3. Biologie

La parthénogenèse cyclique est le mode de reproduction général des pucerons. Le cycle annuel complet comporte une génération sexuée, suivie de nombreuses générations parthénogénétiques d'où chaque femelle donne naissance à 50 à 70 larves qui se développent sur la face inférieure des feuilles. On peut les trouver aussi sur les pousses et sur les bourgeons à fleurs. Ces espèces dites holocycliques, peuvent présenter une alternance de plantes hôtes. L'hôte primaire est celui sur lequel a lieu la reproduction sexuée. Le ou les hôtes secondaires abritent les générations parthénogénétiques [76] (APPENDICES H<sub>1</sub> et 2).

D'autres espèces dites anholocycliques ont perdu totalement ou partiellement la possibilité de se reproduire par la voie sexuée. Elles se multiplient parthénogénétiquement durant toute l'année [62].

Sous les climats tempérés, les pucerons ont presque tous gardé la possibilité d'effectuer un cycle biologique complet avec une phase de reproduction sexuée. La température optimum de développement se situe entre 20°C et 25°C. Les basses températures hivernales et surtout les chaleurs de l'été (supérieur à 30°C) ralentissent le développement des individus [73]. Selon VANLERBERGHE [76], la reproduction sexuée a lieu à l'automne et aboutit à la formation d'un œuf d'hiver diapausant [78 ; 79].

Au printemps, émerge une femelle fondatrice dont l'éclosion coïncide avec le bourgeonnement de l'hôte primaire, elle se développe en 6-8 jours. La fondatrice engendre par parthénogenèse une ou plusieurs générations de femelles virginipares aptères. Le potentiel de reproduction dépend plutôt de l'abondance de sève.

Les virginipares ailées sont produites au cours du printemps, au moment du départ de l'hôte primaire vers l'hôte secondaire où elles donnent naissance à de nouvelles infestations. La fréquence de vol est en corrélation avec les précipitations. Sur l'hôte secondaire, les virginipares forment une colonie d'aptères qui se multiplient rapidement grâce à une fécondité élevée. Des virginipares ailées apparaissent à partir d'une certaine densité de population, disséminent à plus ou moins grande distance la population vers de nouveaux habitats, sur lesquels elles produisent à nouveau des générations de virginipares aptères.

A la fin de l'été, les virginipares donnent naissance à des sexupares qui vont engendrer soit des mâles ailés, soit des femelles gynopares ailés qui vont migrer vers l'hôte primaire, pour produire les femelles sexuées ovipares avec lesquels vont s'accoupler les mâles. (APPENDICES H<sub>1</sub> et 2). Les périodes d'infestation de *T. citricidus* se situent surtout au printemps et de manière plus réduite en automne [4].

Sur les citrus, la contamination est assurée par les ailés qui proviennent des différents hôtes présents dans le verger et dans son environnement (*A. gossypii* et *A. citricola*) ou d'autres arbres de Citrus (*T. aurantii*). La reproduction est exclusivement parthénogénétique sur toute l'année par : Parthénogenèse et viviparité [80].

Dans les vergers agrumicoles, les premières colonies s'observent au cours du mois de mars. Selon les régions, elles se multiplient plus ou moins activement pendant le printemps en envahissant les jeunes pousses et même les fleurs. Les feuilles sont parfois fortement enroulées sous l'action des piqûres des pucerons.



**Figure 2.1** : Femelle fondatrigrène aptère qui donne naissance à une larve (personnelle).

*Aphis spiraecola* et *A. gossypii* se manifestent, en plus, par l'excrétion d'un abondant miellat. À partir de juin, on note une réduction des populations, probablement à cause des températures élevées de l'été. Une reconstitution progressive des colonies aphidiennes est constatée en automne. Celles-ci disparaissent des vergers en hiver, selon [80].

#### 2.2.2.4. Symbiose avec *Buchnera*

Les aphides sont adaptés à un éventail de plantes-hôtes dont ils prélèvent la sève pour s'en nourrir grâce particulièrement à des bactéries symbiotiques qui leur sont indispensables. Les relations nutritionnelles et les caractéristiques génétiques de ces relations sont maintenant très bien connues, [81 ; 82 ; 83].

Les bactéries du genre *Buchnera* sont obligatoires pour tous les pucerons. Elles vivent seulement dans des cellules spécialisées du tube digestif les bactériocytes. Elles leur procurent des acides aminés essentiels ainsi que des vitamines notamment faisant défaut dans la sève. [84 ; 85].

Ni les pucerons ni leurs bactéries symbiontes ne peuvent fixer l'azote atmosphérique [84 ; 86]. Par conséquent, les pucerons doivent ingérer une

quantité nécessaire d'azote de la sève du phloème pour la synthèse des protéines.

Ainsi, *Buchnera* peut améliorer la nutrition du puceron "en corrigeant" la composition des acides aminés ingérés dans la sève, en utilisant de plus larges possibilités biosynthétiques [87]. *Buchnera* participe donc au développement de son hôte, mais également à son adaptation à la plante et à la modification de la composition biochimique de la sève tout en fournissant au puceron un régime équilibré.

### 2.3. Les principales espèces aphidennes des agrumes

#### 2.3.1. *Aphis citricola* V.D.G. = *Aphis spiraecola* Patch. 1914



**Figure 2. 2 :** Femelle fondatrigène aptère *Aphis spiraecola* (personnelle).

Ce puceron est reconnaissable par des cornicules et une cauda noires. Cette espèce est peu polyphage. En plus des Agrumes, l'espèce a été trouvée sur poirier et aussi sur plantes ornementales (*Cotoneaster pyranantha*, *Jacaranda acutifolia*) [80].

### 2.3.2. *Aphis gossypii* Glov. (1877)

Cette espèce est de teinte variable, (verdâtre et parfois rougeâtre à brunâtre du jaune pâle au vert très foncé) a une taille de 0,9 à 2,0 mm. Le corps est arrondi, les tubercules antennaires sont réduits ou absents ; les cornicules sont courtes et noires foncées sur toute la longueur et la cauda est effilée portant deux à quatre paires de soies latérales. Résistant très bien aux chaleurs estivales, ce puceron peut développer près d'une soixantaine de générations par an [80].

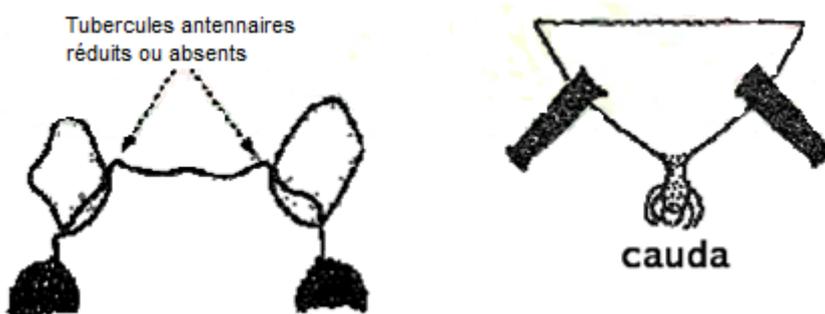
Cette espèce est polyphage. Au Maroc, elle est très nuisible sur cucurbitacées (Melons, pastèques, courges, concombres etc.), elle attaque aussi diverses plantes ornementales et spontanées, [80]. Ce puceron est fréquent également sur les agrumes et considéré, comme vecteur, entre autres, du virus de la Tristeza des agrumes [80].



**Figure 2. 3 :** Femelle fondatrigrène aptère d'*Aphis gossypii* (personnelle).



**Figure 2. 4 :** Adultes ailé d' *Aphis gossypii* (personnelle).



**Figure 2. 5 :** Caractéristiques des tubercules antennaire (droite) et de la cauda (gauche) d'*Aphis gossypii* [80].

### 2.3.3. *Toxoptera aurantii* B.D.F. (1841)

Selon BALACHOWSKY [88] et REBOUR [36], *Toxoptera aurantii* appelé communément puceron noir des *citrus*, se distingue des 2 autres pucerons par sa couleur noire et par un ptérostigma noir et la nervure médiane bifurquée une seule fois, chez les ailés. Au niveau des antennes, le troisième article porte 6 sensorias secondaires. Les cornicules sont plus longues que la cauda qui porte 12 soies caudales. Chez les virginipares aptères, les antennes sont formées de 6 articles dont le troisième est plus long que le quatrième. La partie basale du troisième, du quatrième et du cinquième, ainsi que la partie apicale du sixième article, appelé processus terminalis est plus claire que le reste de l'antenne (APPENDICES G<sub>2</sub>). La cauda est digitiforme et porte 18 soies caudales. Les cornicules sont plus longues que la cauda. A proximité des cornicules, il y a des sclérites post-corniculaires à aspect très réticulé, bien caractéristique de l'espèce. [80]

En Algérie cette espèce est rencontrée sur agrumes et d'autres plantes ornementales [5 ; 9]. Au Maroc, cette espèce n'a été observée, jusqu'à présent, que sur Citrus, [80]. CHAPOT et DELUCCHI, [4] signalent leur polyphagie sur un grand nombre de plantes économiquement importantes.



**Figure 2. 6 :** Femelle fondatrigrène aptère *Toxoptera aurantii* (personnelle).



**Figure 2. 7 :** Adulte ailé *Toxoptera aurantii* (personnelle).

#### 2.3.4. *Myzus persicae* Sulz. (1776)

Appelé communément le puceron vert du pêcher, le corps de cet aphide est en forme de poire. Sa couleur est variable (vert pâle, jaune pâle à vert, rose à rougeâtre), de taille petite entre 1,5 à 2,5 mm. Les antennes sont plus courtes que le corps, l'abdomen est vert ou jaune de forme ovale avec des taches présentes uniquement sur la face dorsale. Les cornicules sont courtes, la queue est courte et triangulaire [5].

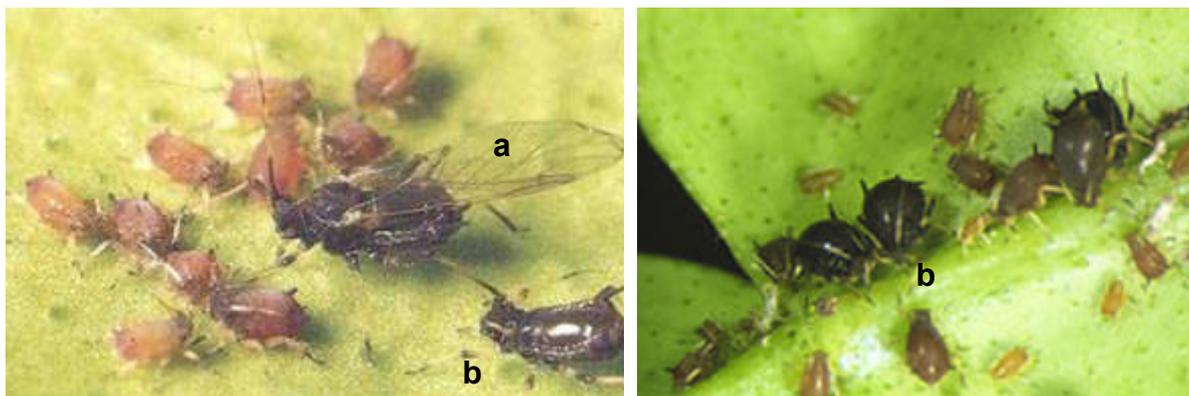


**Figure 2. 8** : Femelle fondatrigrène aptère de *Myzus persicae* [80].

En Algérie cette espèce est rencontrée sur agrume et d'autres plantes ornementales [5 ; 9].

#### 2.3.5. *Toxoptera citricidus* Kirkaldy

Ce puceron est appelé communément Puceron tropical de l'oranger. L'adulte est vigoureux, de taille moyenne, 1,5 - 2,4 mm de longueur, luisant, marron rougeâtre à noir. Les individus ailés peuvent être identifiés, avec une loupe, par leur 3ème segment antennaire totalement noir suivi d'un 4ème segment pâle. La nervure médiane des ailes antérieures est ramifiée. Les cornicules mesurent environ 1/6 de la longueur du corps et sont fortement sculptées, la partie caudale est arrondie en forme de bulbe à son extrémité.



**Figure 2. 9** : *Toxoptera citricidus* (a : ailé, b : aptère) [80].

Les individus aptères doivent être examinés au microscope pour que les très longs poils fins et droits sur les pattes et sur les côtés du corps soient visibles. Les cornicules sont similaires à ceux des individus ailés mais plus courts. La partie caudale est épaisse et arrondie à son extrémité [89].

Pour distinguer *T. citricidus* de *T. aurantii*, (toujours confondus), il est utile de savoir qu'une colonie de ces derniers produit un grincement très distinct, perceptible jusqu'à 45 cm de la feuille, alors que les colonies de *T. citricidus* ne le font pas. De plus, des spécimens de *T. citricidus* plongés dans de l'alcool le teignent en rouge, alors que les autres espèces de *Toxoptera* ne le font pas [90 ; 91; 92].

Les plantes-hôtes principales sont les *Citrus spp.*, mais *T. citricidus* attaque également parfois d'autres *Rutaceae* [93].

#### 2.4. Facteurs de fluctuation des populations aphidiennes

La multiplication des pucerons est en fonctions de leur fécondité, leur parthénogenèse, la stabilité quantitative et qualitative de leur source d'alimentation pendant une longue durée. La réalité est tout à fait différente en condition naturelles. De nombreux facteurs interviennent dans la dynamique des populations aphidiennes qui ont à la fois un rôle favorable ou défavorable, favorisant les naissances ou la mortalité, selon l'intensité de leur action [94].

### 2.4.1. Facteurs abiotiques

La durée de développement, la fécondité et la longévité, sont très largement influencées par le facteur température [76]. Ainsi, à la température 24°C, le développement larvaire est optimal [95]. Des températures extrêmes sont létales. La survie au froid et à la chaleur dépend par ailleurs de la durée d'exposition. Ainsi, il a été montré que la plupart des espèces cessent de voler la nuit [94].

Une humidité relative de l'air supérieure à 85% et une température basse, inhibent le vol des formes ailées et favorisent le développement des champignons Entomophthorales [95].

Les pluies violentes entraînent la mort d'un grand nombre d'individus par noyade, à la suite de lessivage des colonies sur les plantes [95].

Le vent affecte les déplacements des ailés et détermine leur distribution spatiale sur les plantes [94].

### 2.4.2. Facteurs biotiques

Les facteurs physiques (abiotiques) agissent directement ou indirectement sur les potentialités biologiques des pucerons. Donc ils sont liés à l'espèce aphidienne et à son polymorphisme. Ils s'expriment également en fonction de la source d'alimentation, en l'occurrence la plante hôte et de l'action des ennemis naturels et des méthodes de lutte déployées par l'homme [94].

Les pucerons peuvent régler eux-mêmes leur population par des mécanismes intraspécifiques soit par la formation des ailes, sous l'effet de groupe, suite à l'augmentation des individus dans espaces restreints. Cette formation d'ailés peut, dans d'autre cas, être le résultat d'une diminution de la qualité nutritionnelle de la sève liée ou non à des modifications physiologiques normales de la plantes au cours de sa vie, ou soit par la diminution de la fécondité des adultes, sous l'effet direct de comportements agrégatif intraspécifiques et

l'effet de modifications de la composition de la nourriture. Les aptères pondent un plus grand nombre de larves que les ailés (au moins dans les vingt premiers jours de ponte) [94].

Le rôle de la plante hôte s'exerce surtout au niveau des processus de résistance dont deux composantes, la non préférence et l'antibiosis [94]. Selon la plante hôte, on peut observer une variabilité du potentiel biotique entre les clones du puceron d'une même espèce, qui sont alors qualifiés de *biotypes*. Les biotypes correspondent à des groupes de clones préférentiellement adaptés à une plante hôte, sur laquelle leur taux intrinsèque de multiplication est maximal [76].

Les pucerons représentent à leur tour, une manne alimentaire très abondante pour tout un cortège d'espèces prédatrices comme les araignées ou des insectes, comme les syrphes, les coccinelles et les chrysopes. Ils peuvent également être parasités, soit par des champignons du groupe des Entomophthorales, soit par des insectes hyménoptères aphidiinés et aphélinidés dont les larves se développent au dépend du puceron [73].

## 2.5. Dégâts des aphides

Les dommages causés aux cultures par les pucerons sont de différent ordre et sont produits à tous les stades phénologiques. Ils sont répartis en deux catégories [96].

### 2.5.1. Dégâts directs

Les pucerons sont phytophages. Leur système buccal de type piqueur-suceur est composé de stylets perforants. Au fur et à mesure qu'il pique la plante et enfonce ses stylets, le puceron émet une salive qui durcit en formant un fourreau. Ce mode de nutrition peut entraîner au niveau de la plante un affaiblissement par perte directe de sève élaborée [73], éventuellement des déformations de types variés sur les feuilles et les rameaux [72]. Ces déformations se résument en l'enroulement et la crispation des jeunes feuilles (Figure 2.10) et par la suite, la réduction du développement des pousses. En plus des réactions

phytotoxiques induites par la salive, les pucerons peuvent entraîner la chute des fleurs et des jeunes fruits [80].

Les dégâts de *T.aurantii* sont signalés surtout sur les jeunes feuilles. Les boutons floraux, les fleurs, les jeunes fruits, ainsi que sur les feuilles des rejets des branches et du tronc de l'arbre. Ces attaques provoquent l'enroulement des feuilles, l'avortement et la chute des fleurs, [93]. L'intensité des attaques varie en fonction de la plante-hôte. Ainsi, d'après AROUN [5], les attaques de *T.aurantii* sont plus graves sur clémentinier que sur oranger (Figure 2.10).

### 2.5.2. Dégâts indirects

#### 2.5.2.1. Miellat et fumagine

Les pucerons ingèrent une très grande quantité de sève pour subvenir à leurs besoins en protéines. Le produit de la digestion, encore très riche en sucres est excrété par l'anus, c'est le miellat qui attire les fourmis [72]. Des champignons agents de fumagine se développent sur ce substrat et entravent la respiration de la plante et son assimilation chlorophyllienne [73].

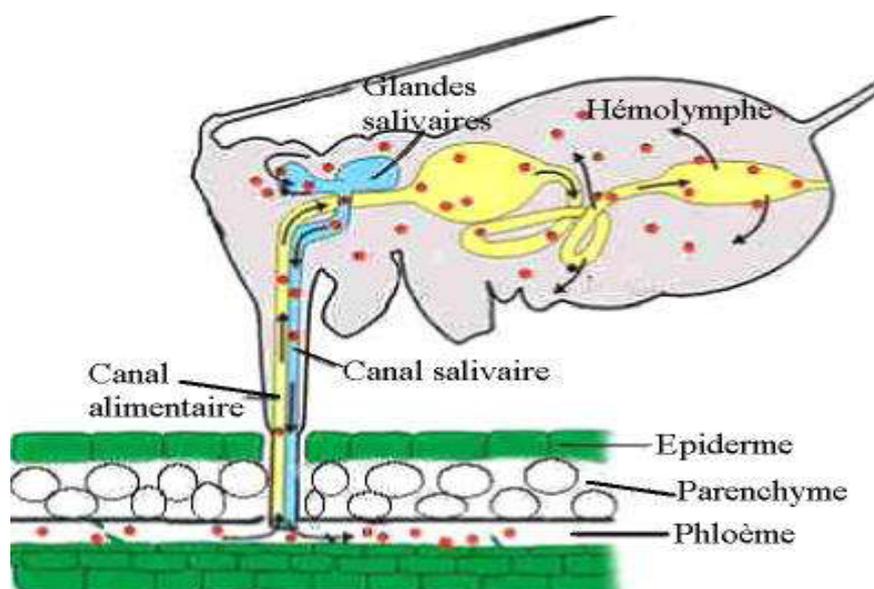
#### 2.5.2.2. Transmission des virus

Les pucerons occupent un rôle de premier plan dans la dissémination des maladies à virus. Ils sont susceptibles de transmettre un nombre important de virus [72; 96]. La recherche active de la plante-hôte par les pucerons ailés favorise également la dissémination des virus (Figure 2.11).

Le risque potentiel majeur surtout par les pucerons *T.aurantii* et *A. spiraecola* ; pour les pays méditerranéens vient de leur capacité vectrice du citrus tristeza closterovirus, plus élevée que celle des espèces indigènes [97].



**Figure 2.10 :** Dégâts du puceron sur clémentinier dans la région de Mitidja (personnelle).



**Figure 2.11 :** Physiologie d'alimentations des pucerons [80].

## 2.6. Moyens de lutte

Une population de puceron peut doubler tous les deux jours [98], et souvent elle est favorisée par la destruction sélective de leurs ennemis naturels (hyménoptères) [99]. Donc les mesures de lutte sont destinées à prévenir les dégâts sur les fruits et sur les jeunes pousses, et en particulier à empêcher la formation d'individus ailés, qui disséminent les virus [89].

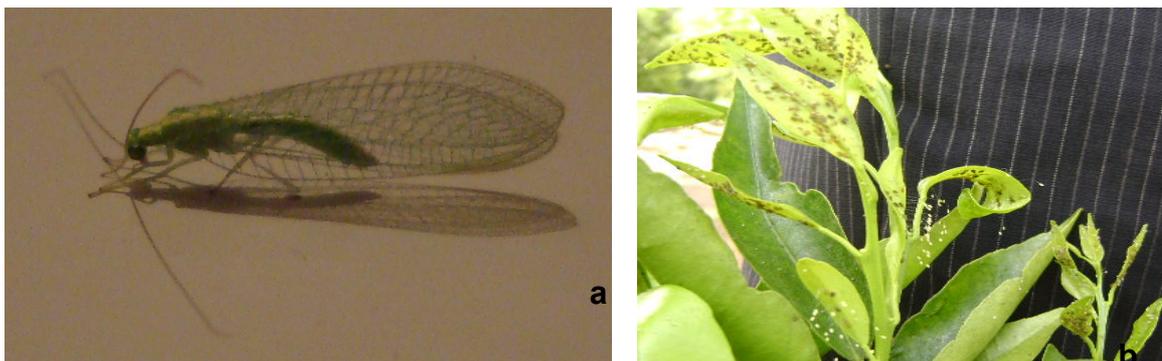
### 2.6.1. Moyens culturaux

Il est utile de penser à la destruction des mauvaises herbes. Ces dernières servent de refuge à l'espèce en hiver et en été.

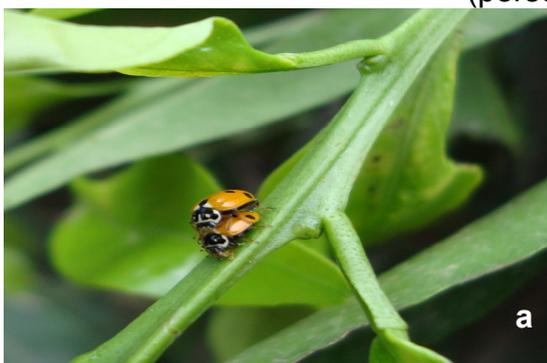
### 2.6.2. Moyens biologiques

Les ennemis naturels, prédateurs et parasites ont un rôle important dans la régulation naturelle des populations de pucerons (Figure 2.12, 13, 14, 15 et 16). Cela est possible si les conditions sont favorables pour l'accomplissement de leurs actions. Selon IPERTI [100], parmi les prédateurs il y a les coccinelles (Coléoptère), larves et adultes qui jouent un rôle très important dans la décimation des colonies des pucerons, à noter que 65% des coccinelles sont aphidiphage. Elles attaquent les pucerons au moment de leur plein développement. Au printemps les coccinelles aphidiphage (*Coccinella septempunctata* (L)) déposent fréquemment leurs œufs à proximité immédiate d'une colonie des pucerons. Toutes les descendances évoluent dans le champ jusqu'à la dernière génération annuelle [101]. De *Episyrplus balteatus* (De Geer), les chrysopes, les cécidomyies jouent des rôles le plus important dans la régulation [80].

De même parmi les parasites il existe de petites Hyménoptères appartenant à deux familles, à celle des *Aphidiidae* et des *Aphelinidae* dont les femelles pondent à l'intérieur des pucerons, le développement larvaire s'effectue aux dépend de l'hémolymphe et de différents tissus et organes de l'aphide.



**Figure 2. 12:** Chrysope ramassé sur clémentinier a : Adultes b : œufs (personnelle).



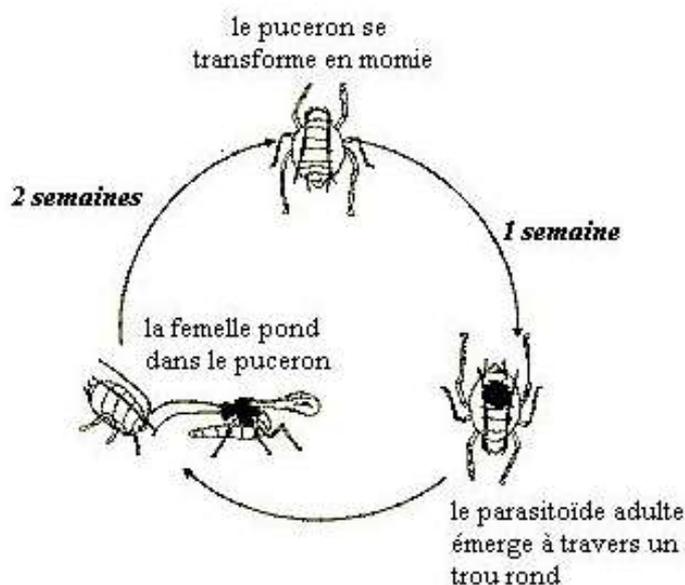
**Figure 2. 13:** Coccinelle ramassé sur clémentinier a : adultes b : larve (personnelle).



**Figure 2. 14:** Larve blanche camaemyiide du prédatrices de pucerons sur feuille de clémentinier (personnelle).



**Figure 2.15:** Larve orange de Cecidomyide prédatrices de pucerons sur feuille de clémentinier (personnelle).



**Figure 2.16:** Cycle de parasitoïdes des pucerons [80].

En Mitidja, AROUN [5], a trouvé 7 espèces de parasites appartenant à la famille des *Aphidiidae* dans les colonies de *T.aurantii* qui sont : *Aphidius matricariae* ; *Lysiphlebus ambiguus* ; *Lipolestes gracilis* ; *Praon sp* ; *Trioscys sp* ; *Ephedrus sp* et *Trioscys angelicae*. Les deux dernières espèces sont spécifiques à *T.aurantii* tandis que les autres en plus de *T.aurantii* ils sont observés sur *Aphis citricola* et *Myzus persicae*.

Tous les *Aphidiidae* sont à l'état larvaire des endoparasites solitaires de pucerons. Ils exercent sur la multiplication de ces derniers une action limitante importante [9].

Au Maroc, deux espèces d'aphidiides ont été identifiées sur pucerons : *Aphidius ervi* (Haliday) ; *Lysiphlebus fabarum* (Marshall), d'autres espèces sont présentes et très actives, mais non encore identifiées [80].

### 2.6. 3. Moyens chimiques :

Les applications des traitements phytosanitaires doivent être effectuées très tôt, dès l'installation des premières colonies pour réduire le nombre des pucerons et aussi pour protéger leur ennemis naturels. Dans le cas d'une intervention tardive, on doit utiliser des aphicides spécifiques .L'épandage doit être particulièrement soigné, car les pucerons sont protégés par les feuilles, dont ils ont provoqué la déformation, d'où la nécessité d'utiliser des insecticides systémiques. Plusieurs traitements peuvent être nécessaires certaines années. On aurait intérêt à changer fréquemment la famille de la matière active. Cela permet d'éviter le phénomène d'accoutumance [60 et 9].

En traitement préventif, des insecticides systémiques sont utilisés sur jeunes arbres. De nombreux ennemis naturels sont connus (par ex. prédateurs ou champignons entomopathogènes). Certains sont pris en considération dans des programmes de lutte intégrée, par ex. *Cycloneda sanguinea* et *Chrysopa sp.* au Brésil [102]. L'O.E.P.P. recommande [93] que les importations de végétaux destinés à la plantation et les branches coupées d'agrumes soient interdites en provenance de tous les pays où *T. citricidus* est présent. Une attention particulière doit être accordée aux pays où le citrus tristeza closterovirus est également présent, pour lequel des mesures phytosanitaires similaires sont recommandées, y compris également un choix de traiter les fruits d'agrumes contre les vecteurs. Il est également possible de fumiger au bromure de méthyle les végétaux destinés à la plantation et les fruits, mais il n'y a pas de recommandation spécifique [103].

## **CHAPITRE 3**

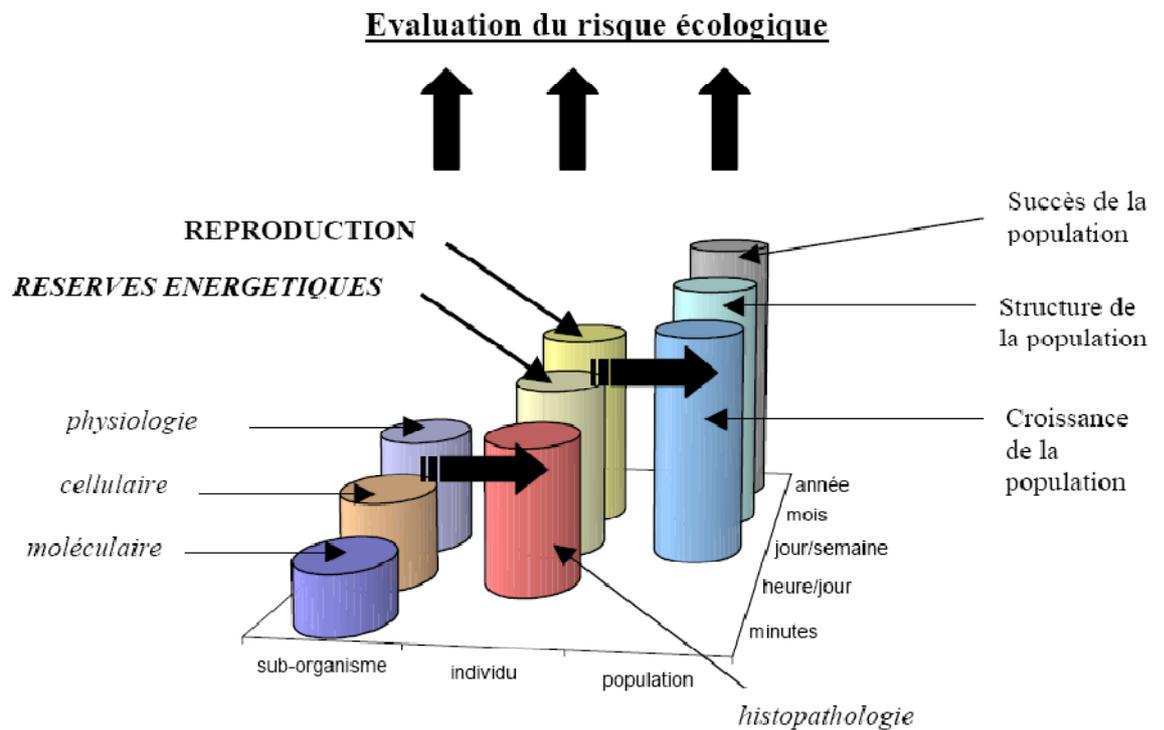
### **BIOMARQUEURS**

#### 3.1. Définition

Selon VAN GESTEL et VAN BRUMMELEN [104], 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 [105].

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 [106]. La figure 3. 1 représente la situation des biomarqueurs par rapport aux différents niveaux d'évaluation du risque engendré par une substance toxique.

Les différentes modifications mesurables dans le temps à l'échelle sub-organique 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 du xénobiotique dans l'organisme, et non la mise en évidence directe de celui-ci.



**Figure 3. 1:** les différents niveaux d'évaluation du risque, et leurs relations temporelles [107].

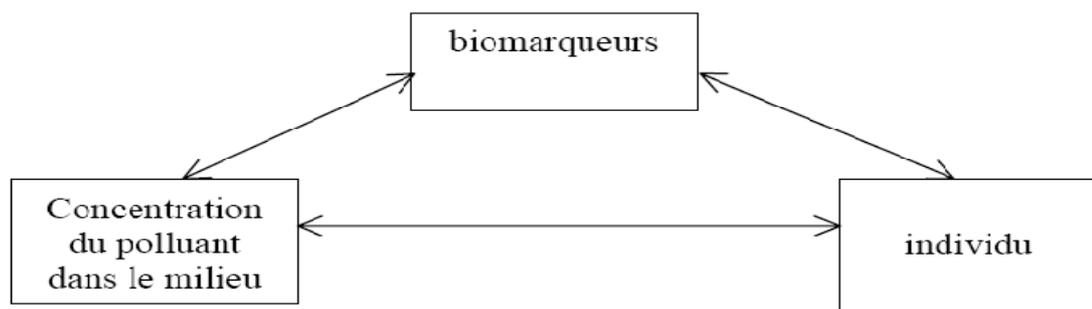
### 3.2 Types de biomarqueurs

On distingue trois types [107]. 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 seconds sont les biomarqueurs d'effet qui donnent des informations sur l'état de santé de l'organisme, telles que les réserves énergétiques.

Le troisième type concerne 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 polluant (par exemple à une exposition à des métaux ou des pesticides organohalogénés) [108].

Cependant, pour pouvoir prédire les conséquences d'un polluant sur l'organisme ou la population, à partir d'un effet sur un biomarqueur, il est nécessaire de mettre en relation trois paramètres (figure 3.2) selon [107]. :



**Figure 3.2:** Relations mettant en évidence l'effet d'un polluant sur un organisme [107].

### 3.3. Choix du biomarqueur

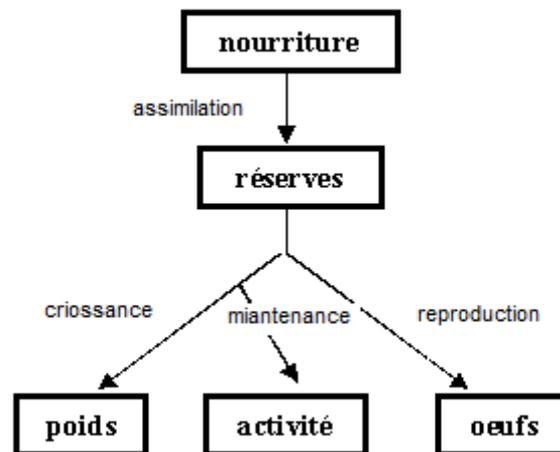
Les organismes mettent en place différents moyens de lutte face à un xénobiotique (état de stress), tels que l'élimination par des enzymes de biotransformation [109] ou l'excrétion. Toutes ces réponses coûtent à l'organisme de l'énergie et en d'autres termes des ressources métaboliques.

Le choix du type de biomarqueur à étudier permettra de mettre en évidence les différents stress à surpasser par l'hôte. Nous développerons dans le chapitre méthodologie les biomarqueurs choisis pour notre étude.

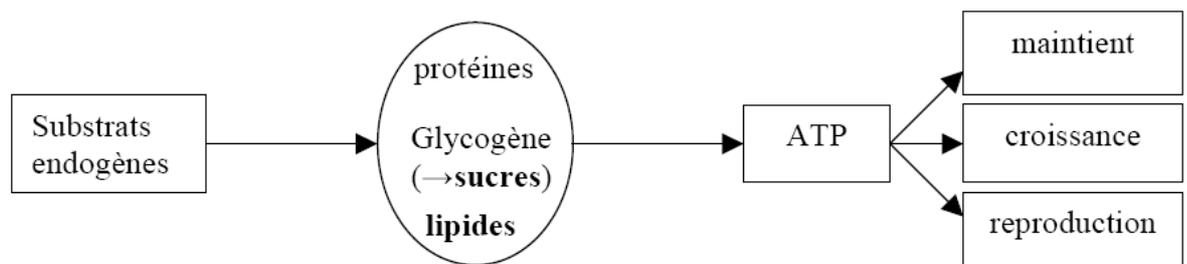
#### 3.3.1. Les réserves énergétiques comme biomarqueurs

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. Les réserves énergétiques sont mobilisées lorsque les besoins en énergie sont importants (Figure 3.3<sub>a</sub>), à la suite d'un

stress par exemple, (figure 3.3<sub>b</sub>). 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 [110].



**Figure 3.3<sub>a</sub>** : Représentation schématique de la répartition de l'énergie dans la théorie DEB (DYNAMIC ENERGY BUDGET) [111].



**Figure 3.3<sub>b</sub>**: Flux des réserves énergétiques: assimilation par la nourriture et mobilisation lors des besoins énergétiques [110].

### 3.3.1.1. Les lipides

Les lipides jouent un rôle important comme réserves énergétiques chez de nombreux groupes d'animaux, incluant les arthropodes en général [112] et spécialement les insectes [113], pour lesquels ils sont d'une importance vitale [114].

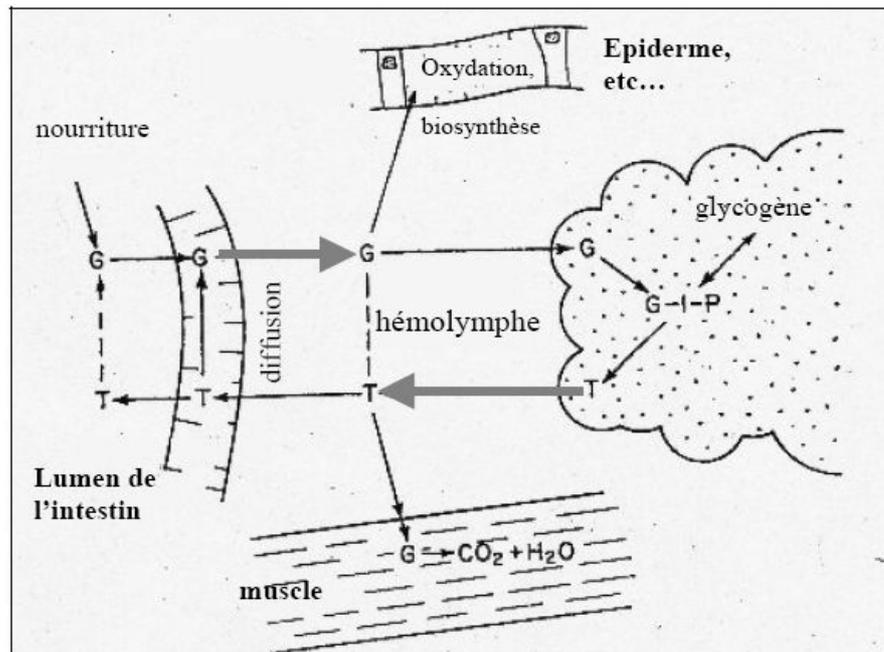
La quantité de lipides disponible pour les réserves semble être le résultat d'une balance entre la prise de nourriture et les demandes de réserves par des processus tels que la reproduction, la maintenance et la croissance [115] (Figure 3.3<sub>a</sub> et b).

Le site principal de réserve pour les lipides (triglycérides : 90% lipides neutres) [112] chez les insectes est le corps gras. On peut considérer les triglycérides comme une source d'énergie secondaire puisqu'ils doivent être hydrolysés avant que l'énergie ne soit disponible pour la cellule [114].

### 3.3.1.2. Les sucres

Les réserves glucidiques varient en accord avec les étapes différentes de développement : elles augmentent pendant les périodes de repos et diminuent pendant les périodes de croissance. Pendant les différentes étapes de développement, le catabolisme du sucre peut être affecté via la voie de glycolyse classique ou la voie des pentoses phosphates, [116].

La figure 3.4 représente l'interrelation entre le métabolisme du glucose, du tréhalose et du glycogène chez les insectes. Les conversions sont indiquées dans leurs sites principaux [117].



**Figure 3.4:** Interrelations simplifiée des tissus chez les insectes entre le métabolisme du glucose (G), du tréhalose (T), et du glycogène [107].

Le tréhalose, par exemple, est une réserve intermédiaire pour la synthèse de la chitine, et sa concentration dans l'organisme peut être d'une importance considérable dans la régulation de la vitesse de synthèse de chitine [118].

#### 3.4. Réponse cellulaire de l'organisme face à un stress

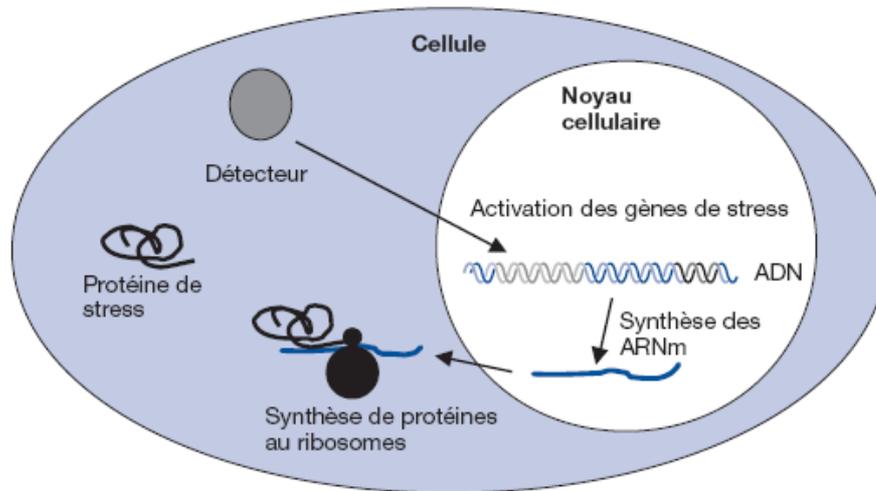
Les invertébrés occupent un niveau clé dans la chaîne trophique, ils jouent un rôle important dans la bioaccumulation d'un xénobiotique dans la chaîne alimentaire [119]. L'augmentation des connaissances sur la biochimie et la physiologie de certains invertébrés permet maintenant, avec la biologie moléculaire [120] d'interpréter raisonnablement les réponses des biomarqueurs afin d'estimer les menaces sur des organismes [108]. Par exemple, on peut observer l'effet des conditions environnementales sur le vieillissement, le comportement et la dynamique des populations [121]. Cette

approche semble offrir des promesses considérables [122 ; 123 ; 124 ; 125 ; 126]

Ainsi, les organismes lorsqu'ils évoluent dans des conditions environnementales différentes (milieux pollués, impact de facteurs biotiques ou abiotiques) sont sujets à un syndrome de stress. Leurs réponses sont propres à chaque stress et impliquent une réaction adaptée. Les symptômes les plus recherchés sont ceux que l'on peut lier à la toxicité d'un contaminant chimique particulier [127].

Les premières interactions entre xénobiotique et systèmes biologiques se produisent au niveau de la cellule dans laquelle des protéines jouent un rôle de détecteur (Figure 3.5).

Dès que le détecteur réalise la présence d'un stress dû à un polluant, il déclenche une réaction de stress au niveau cellulaire. Le détecteur transmet le signal aux éléments régulateurs de certains gènes de stress qui sont ainsi activés. Ceci entraîne la production des ARN messagers (ARN<sub>m</sub>) correspondants qui serviront de matrice aux ribosomes pour la synthèse des protéines de stress (Figure 3.5). Ces dernières ont pour fonction d'éliminer des polluants ou leur produit de dégradation, de réparer ou de remplacer les composés cellulaires endommagés et de rétablir l'équilibre métabolique dans la cellule. Dans le cas contraire le stress occasionné par le ou les polluants peut répercuter à un niveau d'organisation supérieur ; de l'organe ; de l'organisme ; de la population ; de la biocénose ou l'écosystème, [105].



**Figure 3.5 :** Chaîne de réactions cellulaires allant de la détection du stress à la synthèse des protéines de stress [105].

Le cytochrome P450 monooxygénase (chez les vertébrés et les invertébrés) est une protéine de stress souvent utilisée comme biomarqueur pour l'étude de divers polluants organiques comme la dioxine. On le mesure dans les cellules ou lignée de cellules cultivées au laboratoire de même que dans les échantillons d'animaux prélevés sur le terrain [128]. Dans le cas des polluants, les activités d'oxydation du cytochrome P450 conduisent normalement à une élimination plus facile des métabolites. Pour d'autres toxiques, les biotransformations aboutissent à des métabolites réactifs parfois plus toxiques que les molécules mères (Figure 3.6).

Avec la biologie moléculaire, de nouvelles méthodes [120] permettent aujourd'hui de mesurer directement l'activité des gènes de stress connus sous le nom de gènes rapporteurs codant les protéines faciles à mettre en évidence, telles que la luciférase (une enzyme qui produit de la lumière) [105 ; 129].

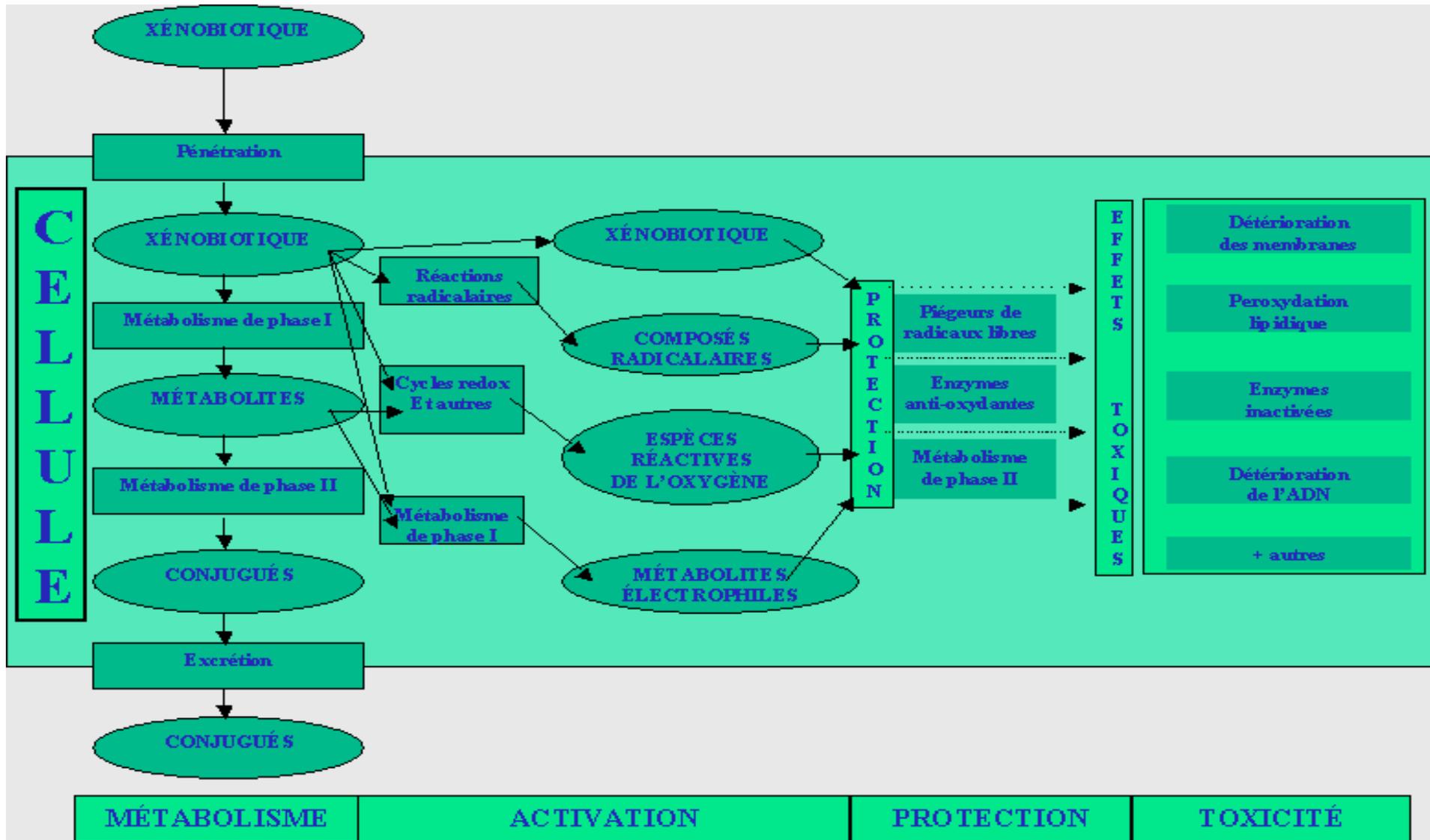


Figure 3.6 : Schéma des voies majeures conduisant à la détoxification et la toxification des xénobiotiques organiques chez les animaux [106]



## **CHAPITRE 4**

### **INTERACTIONS PLANTE HOTE-BIOAGRESSEURS**

#### 4.1. Introduction

Le processus de sélection chez les insectes avec le monde vivant est guidé en général par plusieurs stimuli visuels [130] où l'olfaction et le goût jouent un rôle vital. 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), [131 ; 132].

Les insectes s'adaptent par ailleurs aux conditions environnementales des plantes mais aussi aux constituants chimiques perçues en broutant le feuillage, [133]. 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.), [134].

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 [135 ; 14].

## 4.2. Importance de l'alimentation pour les insectes

### 4.2.1. Eléments nutritifs

Il existe une forte relation entre les performances de l'insecte et le taux d'azote [136; 137; 138; 139]. Mais si la nourriture ne contient pas ou contient en 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) [140], le développement larvaire est affecté quel que soit le taux d'azote total [141].

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 [142].

Les minéraux comme le potassium, le phosphore et le magnésium sont nécessaires aux fonctions physiologiques de l'insecte [142; 143] de même que pour le fer, le zinc, le manganèse et le cuivre car ils agissent comme catalyseurs de réactions enzymatiques [143]. 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, [142 ; 144 ; 145].

L'eau peut limiter la croissance des insectes [146; 143].

### 4.2.2. 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 [145 ; 147]. L'étude de la relation entre l'insecte et son hôte à l'aide des paramètres biologiques généraux (le temps de développement, le poids, la 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 (le temps de développement, le poids, la survie), selon [148 ;149].

#### 4.3. Les facteurs de stress

La réponse au stress désigne un ensemble de réactions comportementales et physiologiques permettant de maintenir l'homéostasie de l'organisme face à une situation défavorable [150]. Cet ensemble de réactions a été appelé « Syndrome Générale d'Adaptation » (General Adaptation Syndrome ou GAS) [151]. Ce syndrome observé chez les animaux et les plantes comprend trois étapes. Une phase d'alarme ou phase initiale de 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. L'organisme entre en phase d'épuisement pouvant conduire jusqu'à la mort s'il ne parvient pas à rétablir un équilibre, [151 ; 152].

Chez les insectes, des stimuli appelés cognitifs [153], sont des facteurs de stress abiotique ou biotique, perceptibles par les organes de sens. D'autres stimuli appelés non cognitifs non détectés par les organes des sens, désignent les réponses du système immunitaire et du système neuroendocrine contre un ensemble de facteurs de stress qui menacent l'intégrité de l'organisme, [153].

#### 4.4. Réponses de la plante face aux bioagresseurs

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 bioagresseurs [154].

PAINTER, [155] 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 bioagresseurs varie dans le temps, le tissu considéré et les conditions environnementales. Elle est basée sur des caractères physiques, chimiques et développementaux

#### 4.4.1. 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 [156].

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* [157].

#### 4.4.2. 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 [158].

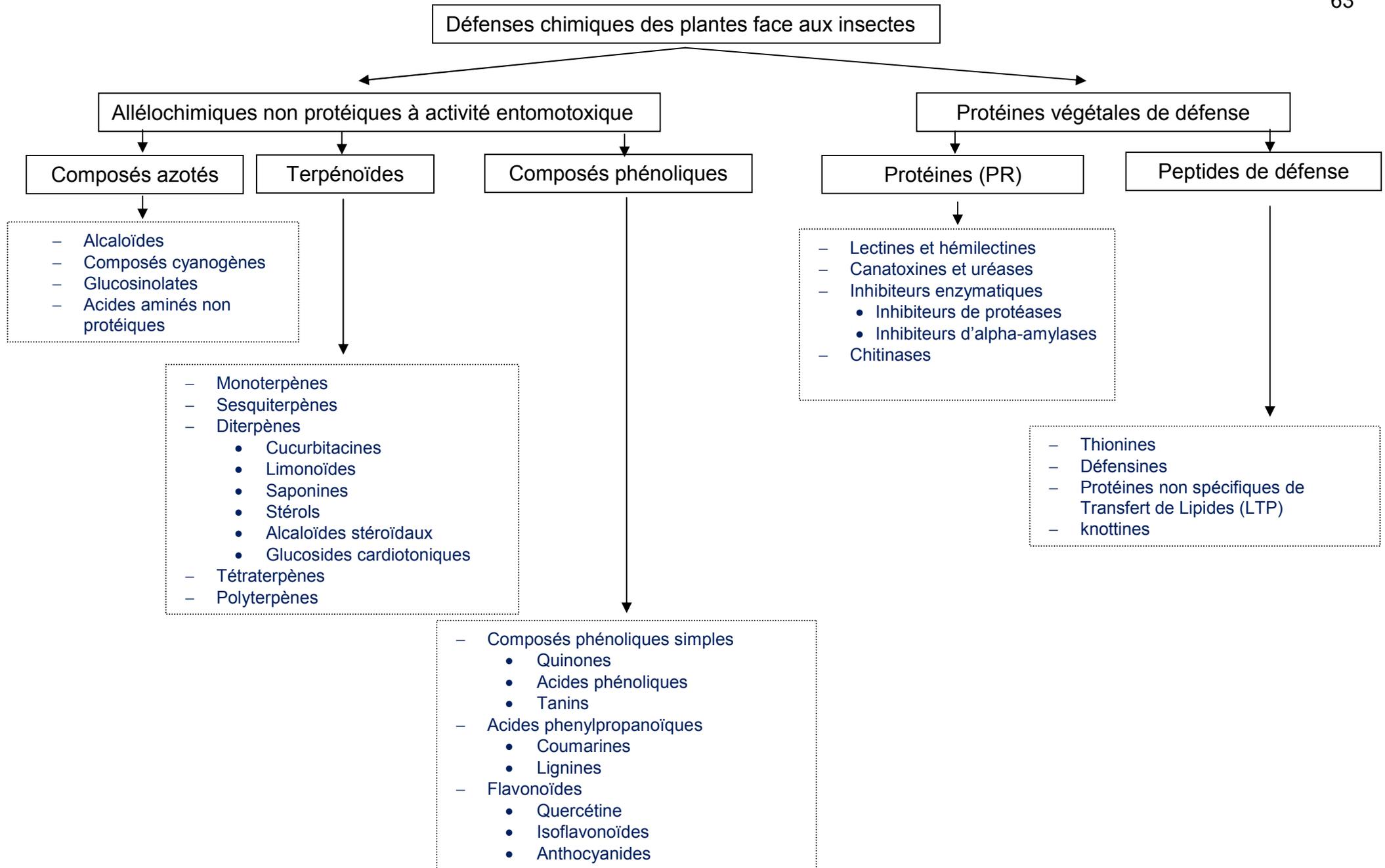


Figure 4. 1 : Les métabolites secondaires produits par la plantes suite à des agressions biotique et/ou abiotiques [160].

Ces substances représentent probablement le facteur le plus important contrôlant le comportement des insectes dans la nature et sont tributaires du cycle phénologique et des attaques dus aux ravageurs [159].

Elles se rencontrent sous forme de composés allélochimiques et/ou certaines inhibiteurs de protéases [161] (Figure 4. 1) et déclenchent chez l'insecte des réponses comportementales. Elles peuvent être attractives, répulsives (antiappétantes) ou toxiques [162] (Figure 4. 1).

#### 4.4.3. Mécanisme 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'éliciteur chez les ravageurs et/ou l'absence de système de perception chez la plante conduit à l'établissement d'une interaction compatible, c'est-à-dire à la maladie (symptômes des attaques).

La reconnaissance par la cellule hôte d'un éliciteur produit [163] 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 [164].

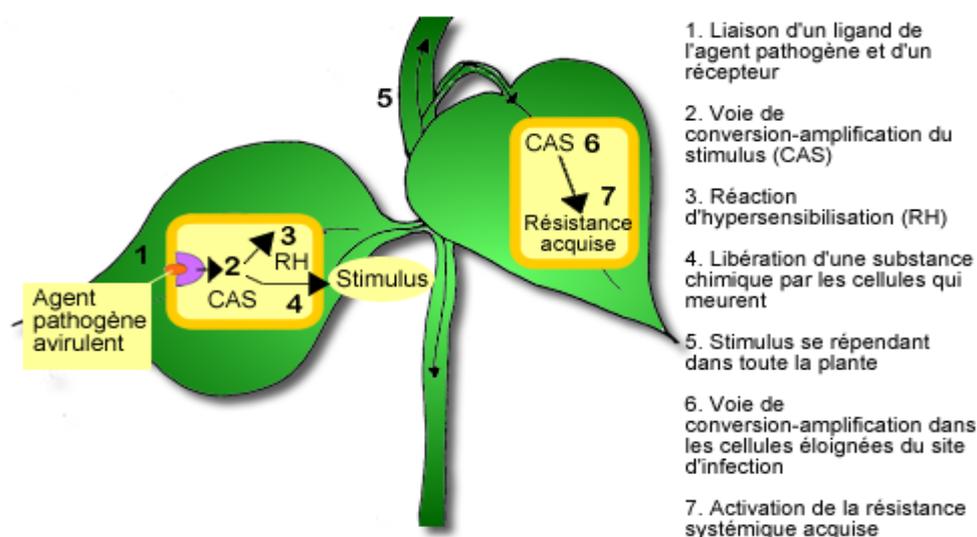
Les mécanismes de défense induits chez la plante par un éliciteur se manifestent fréquemment par une réaction hypersensible (RH) qui peut mener à une résistance systémique acquise ou induite (Figure 4. 2), [165 ; 166 ; 167].

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 [168 ; 169]. 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 [170]. Leur rôle exact n'est cependant pas toujours bien établi et toutes ne sont pas forcément présentes en même temps dans une plante donnée

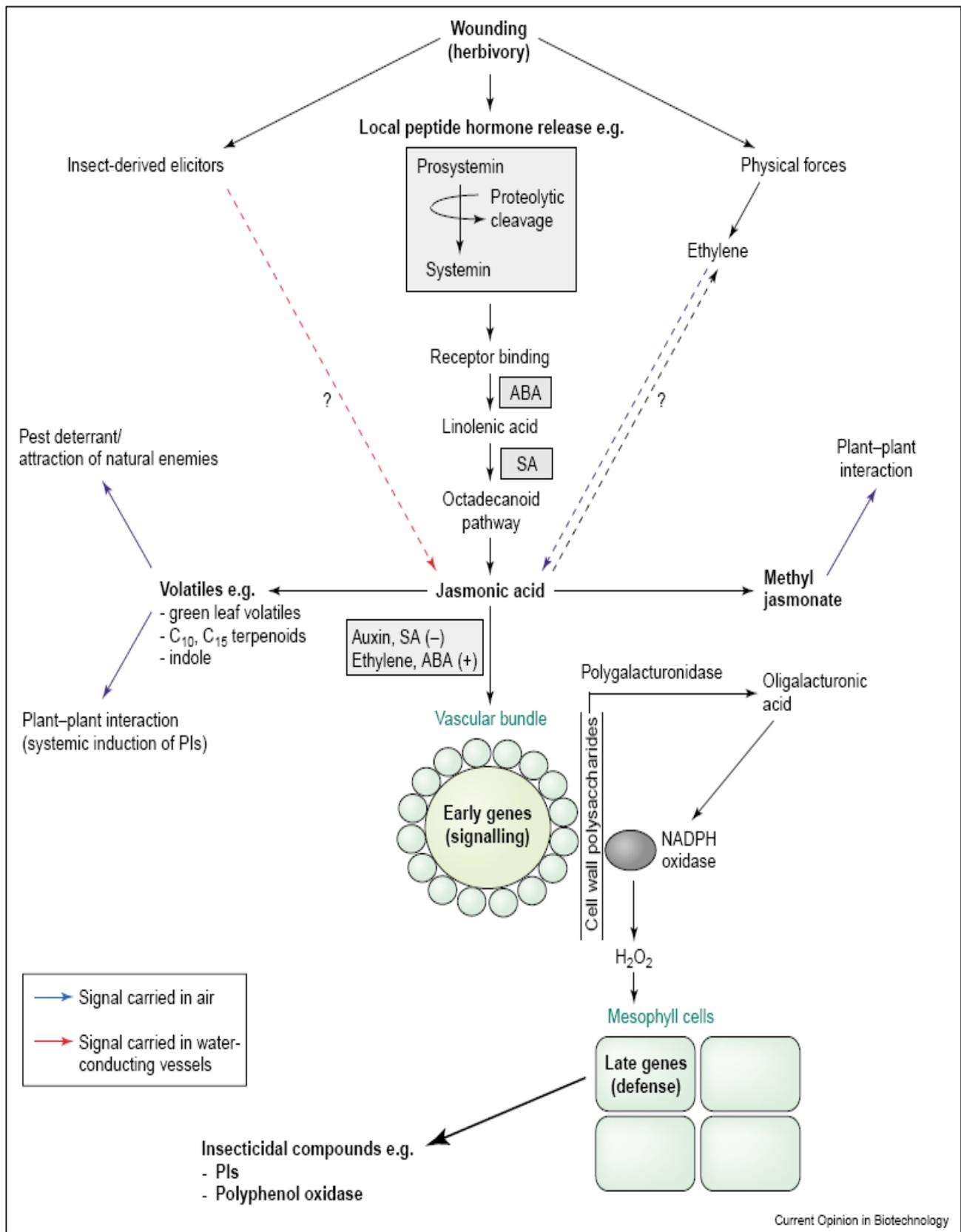
Parmi les protéines impliquées dans la défense contre les insectes [171], on distingue les inhibiteurs de protéases PR-6 ainsi que les défensines et les thionines qui font partie des familles de protéines PR-12 et 13 respectivement ainsi que les LTP (protéines de transfert de lipides) ayant même des propriétés antimicrobiennes [172, 173 ; 174].

Les voies nécessaires pour l'induction locale et systémique des protéines insecticides sont synthétisées dans la figure 4. 3 qui 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 [175].

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 clef dans le phénomène de transduction intercellulaire des signaux qui résultent de l'induction [176, 177]. Les molécules de défense ont une activité antibiotique [178 ; 179], et sont des dérivés de la voie des phenylpropanoïdes et des protéines PR (Figure 4. 1). 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. [180 ; 181].



**Figure 4. 2** : Réactions de défense contre un agent pathogène [182].



**Figure 4. 3:** Mécanismes de défense cellulaire contre les ravageurs [183].

#### 4.5. Facteurs affectant les composés nutritifs et allélochimiques

Le concept de résistance est la résultante des phénomènes d'antibiose sur l'insecte et de tolérance face aux dégâts qu'il engendre, [184]. Plusieurs facteurs biotiques, abiotiques ou anthropiques peuvent influencer la résistance des plantes hôtes par l'abondance des allélochimiques et par la qualité nutritive du feuillage, [185].

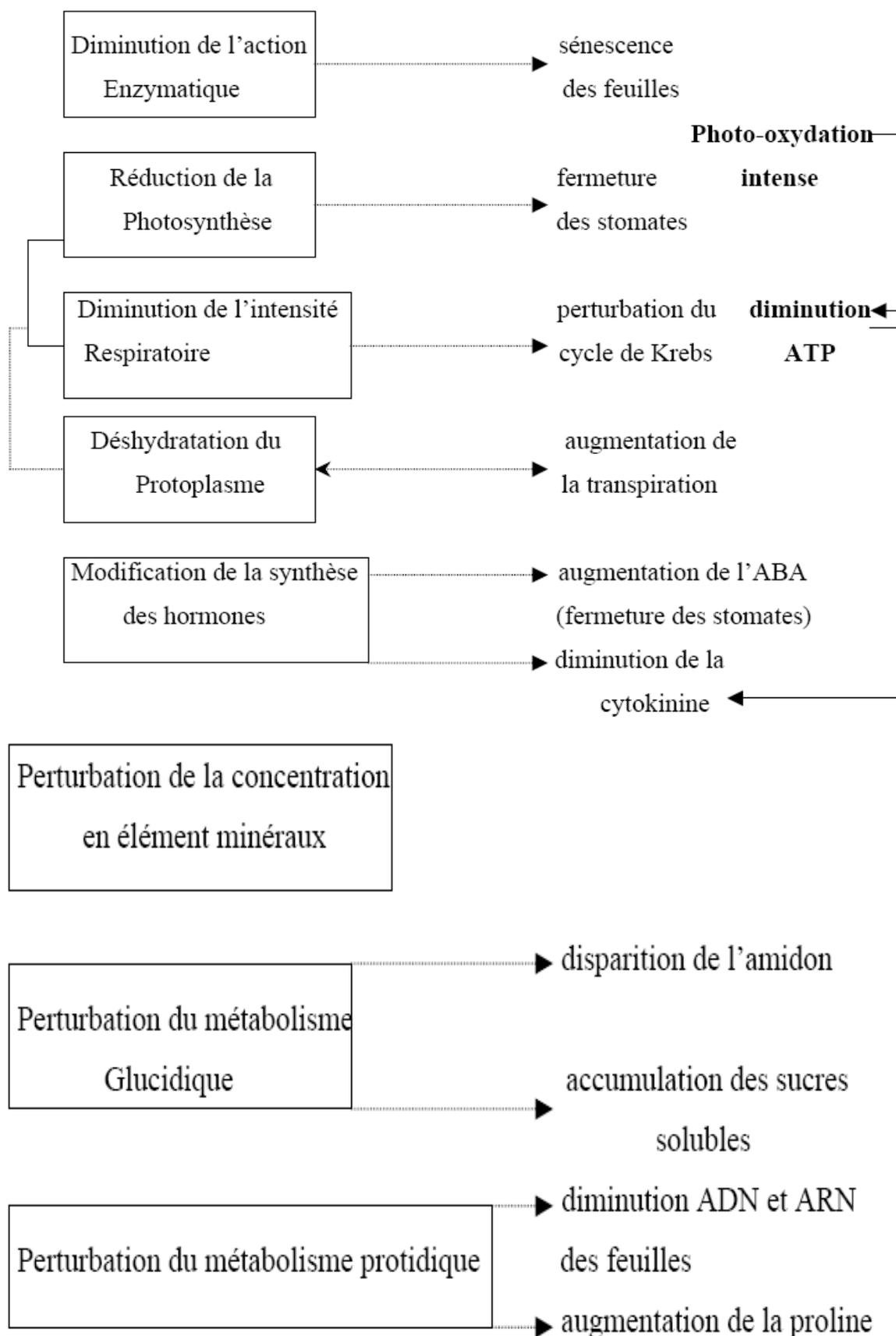
##### 4.5.1. Facteurs biotiques

L'installation des déprédateurs est conditionnée par la lignification précoce durant la saison de croissance et par la quantité d'eau tissulaire ALBERT et PARISELLA [186]. La valeur nutritive et les profils allélochimiques du feuillage varient également selon l'âge des arbres [187 ; 188].

Plusieurs études montrent que des dégâts antérieurs causés par les herbivores peuvent modifier la structure biochimique du feuillage. Ces modifications en termes de défense induite, peuvent se réaliser en quelques minutes ou quelques heures, ou à plus long terme, elles s'expriment sur plusieurs années, [189 ; 190].

##### 4.5.2. Facteurs abiotiques : le stress hydrique

La plupart des plante, durant un stress hydrique, diminuent leur potentiel osmotique par accumulation d'osmolytes (ions inorganiques, acides aminés, sucres solubles, acides organiques, polyols) ce qui leur permet de limiter l'évapotranspiration et d'accentuer l'extraction de l'eau du sol. En période de sécheresse, les concentrations en minéraux dans les tissus aériens ont tendance à être plus élevées, [191 ; 192.]. Par exemple, le métabolisme de l'azote est perturbé [193] et se caractérise par l'hydrolyse des protéines, de sorte que les concentrations en protéines diminuent tandis que celles en acides aminés, notamment la proline, augmentent. Le métabolisme du carbone est également perturbé et l'hydrolyse de l'amidon entraîne une augmentation des concentrations en sucres solubles phagostimulants chez les insectes lépidoptères par exemple, [194 ; 195]. Sous l'effet d'un stress hydrique, la quantité des composés de défense, tels que les glycosides



**Figure 4. 4 :** Effets du stress hydrique au niveau cellulaire chez le blé [205].

cyanogéniques, les glucosinolates et autres composés sulfurés, les alcaloïdes et terpénoïdes auraient tendance à augmenter, [196].

L'eau occupe un rôle essentiel dans les phénomènes métaboliques [197 ; 198], de la photosynthèse au transport et l'accumulation des éléments minéraux et à la multiplication cellulaire, pour assurer la croissance et le développement des plantes, [199 ; 200]. Les dégâts produits par le stress hydrique se manifestent par une chlorose, des phénomènes de sénescence l'abscission des feuilles de la base et le flétrissement ainsi qu'une réduction de la surface foliaire des feuilles nouvellement formées, [2001 ; 202 ; 203]. Un stress hydrique peut limiter ainsi la croissance des végétaux, en modifiant le bilan entre la disponibilité et les besoins et au niveau de la balance hormonale (figure 4. 4) ainsi qu'une diminution de la pression de turgescence de la plante qui se traduit par une perte d'eau du contenu cellulaire [204].

L'acide abscissique (ABA), qualifié « d'hormone de stress », est synthétisé rapidement et semble avoir un rôle important dans la réponse au stress, dans l'inhibition de la photosynthèse et le ralentissement de la croissance des feuilles (figure 4. 4), [205]

#### 4.5.2.1. Mécanisme de réponse de la plante vis-à-vis d'un stress hydrique

##### 4.5.2.1.1. Accumulation de la proline

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), [206] : chez l'orge [207], chez l'eucalyptus [208], chez les blés durs [201] et les blés tendres, [209]. 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, [201] 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 [210].

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, [211].

#### 4.5.2.1.2. 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 [212]. Depuis longtemps, il est connu que le taux de ces sucres augmente considérablement chez des plantes soumises aux différents types de stress [213; 208]. L'un des effets majeurs du déficit hydrique est qu'il affecte le métabolisme des hydrates de carbonés, [214] en relation directe avec plusieurs processus physiologiques tels que : la photosynthèse, la translocation et la respiration, [215 ; 216].

Par ailleurs, il a été observé que sous stress hydrique, les réserves amylicées sont progressivement utilisées suite à leur conversion rapide en saccharose, qui pourrait être associé à une inhibition de la synthèse de l'amidon [217]. Le saccharose et les autres monosaccharides confèrent chez les différentes plantes une tolérance vis à vis du stress [218 ; 219].

#### 4.5.2.1.3. 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 [220]. 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 est faible [221]. 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, [222].

### 4.5.3. Facteurs anthropiques

#### 4.5.3.1. La fertilisation

Les effets positifs de la fertilisation azotée sur les performances des insectes sont reliés à une augmentation de la croissance de la plante et particulièrement à des concentrations foliaires plus élevées en azote [223]. Ainsi, la fertilisation azotée tend à faire baisser les composés phénoliques (glucosinolates et tannins), [224], ce qui favorise les performances biologiques de plusieurs espèces d'insectes d'une part, [225; 226] et permet aux plantes de survivre à certaines attaques d'insectes et de champignons pathogènes d'autre part, [224].

Chez les défoliateurs, la fertilisation influence non seulement le succès du développement du défoliateur au niveau du complexe arbre- défoliateur mais aussi au niveau du complexe défoliateurs-parasitoïdes (prédateurs), [227]. La fertilisation affecterait dans ce cas l'état physiologique de la végétation au sol et les caractéristiques du sol en même temps que l'état physiologique des arbres. Par conséquent, l'abondance et l'activité des organismes antagonistes des défoliateurs pourraient augmenter ce qui entraînerait, à plus ou moins long terme, une diminution des dommages causés par les insectes herbivores.

#### 4.5.3.2. La taille

Les résultats obtenus par de nombreuses recherches sur les éclaircies sont assez contradictoires. Prenant comme exemple de ravageur, la tordeuse des bourgeons de l'épinette, l'éclaircie peut améliorer la vigueur et ainsi la résistance des arbres aux attaques de tordeuses, [228]. L'éclaircie favoriserait par contre les populations de la tordeuse des bourgeons de l'épinette [229] augmentant ainsi l'ingestion de feuillage et la survie des larves, ce qui entraîne des défoliations massives et une baisse de résistance des arbres hôtes, [14].

## **CHAPITRE 5**

### **MATERIEL ET METHODES**

#### 5.1. Introduction

Les cultures fruitières prennent une part importante dans la production agricole [230]. Mais leur production a une tendance à diminuer ces derniers temps suite à de nombreux facteurs nuisant à leur bon développement, parmi lesquels, l'insuffisance de technicité, la mauvaise conduite des arbres fruitiers par les agriculteurs, ainsi que la présence permanente des maladies et des ravageurs. Les pucerons figurent parmi les déprédateurs majeurs et les plus dangereux des phytophages. Grâce à leurs pièces buccales de type piqueur-suceur, les aphides se nourrissent de la sève des plantes et peuvent transmettre à celles-ci des particules virales. Ils sont d'autant plus nuisibles que leur cycle biologique est complexe. De même, leur polymorphisme leur permet d'exploiter leurs plantes-hôtes d'une manière maximale tout en répondant très rapidement aux modifications de leur environnement [62].

Dans les vergers, et en pépinière, le mécanisme de sélection des plantes hôtes par les pucerons est mal connu (62) toutefois les études actuelles d'après la bibliographie nous renseignent que les recherches sont avancées dans ce domaine. Nous avons étudié dans ce cadre l'hypothèse d'une corrélation entre le profil biochimique du feuillage des clémentiniers vis-à-vis des performances du maintien des populations aphidiennes sur cette plante hôte.

## 5.2. Objectifs

Les écosystèmes évoluent tout en subissant des impacts environnementaux suite à des activités anthropiques. Les plantes et les insectes réagissent et s'adaptent à ces différentes perturbations qui les affectent.

La plante source de nutrition fournit à un organisme (ravageurs et auxiliaires) les composés chimiques nécessaires qui sont convertis en réserves énergétiques d'une importance capitale dans la survie, le maintien, et la reproduction des insectes.

Donc la qualité de la plante hôte peut en effet expliquer la pullulation des insectes phytophages, ainsi que leur disponibilité en réserves énergétiques. Mais ces réserves peuvent fluctuer en fonction de la disponibilité d'eau, éléments minéraux et l'activité de la photosynthèse. Pour cela, nous allons doser les sucres totaux, l'azote, flavonoïdes et la proline, puis quantifier l'eau au niveau des limbes.

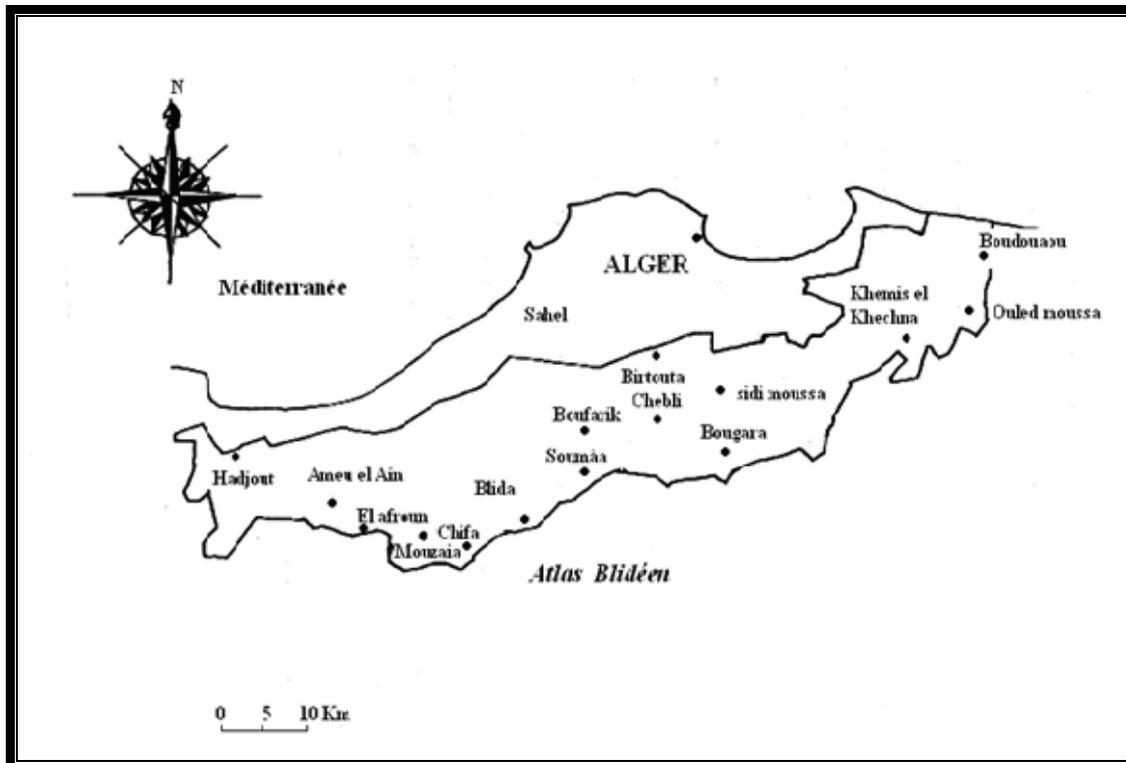
L'objectif visé dans ce travail, est de mettre en évidence d'une part les effets des sucres et de l'azote en particulier, en tant que supports alimentaires, sur l'allocation des réserves énergétiques glucidiques et lipidiques des individus. D'autre part, notre question est de savoir comment réagit la plante hôte face à l'opophagie des pucerons. Autrement dit, on recherche comment le clémentinier s'exprime face aux différentes stress hydrique et plus spécialement des pucerons d'agrumes à savoir (*Aphis citricola* et *A. gossypii*) par des extractions et dosages de la proline et les flavonoïdes (anthocyanes et les C-glycosyl flavones) comme des métabolites de défense (supports non alimentaires) et leurs influences sur taux des réserves énergétiques des populations de pucerons et comment s'adaptent ces derniers à ces réactions de défense.

### 5.3. Présentation de la région d'étude

#### 5.3.1. Présentation de la région Mitidja

##### 5.3.1.1. Situation géographique

La Mitidja est la plus vaste plaine sub-littorale d'Algérie elle s'étend sur 140.000 hectares, s'étirant sur une centaine de kilomètres de long, et 5 à 20 kilomètres de large. Elle est isolée de la mer par le ride de Sahel, prenant appui sur le vieux massif de Chenoua. A l'est d'Alger entre l'Oued Rghaia et Oued Boudouaou. Au sud et sur les marges orientales et occidentales, la Mitidja est bornée par tout un ensemble de montagnes. Au nord-ouest et à l'ouest, le Djebel Chenoua et la retombée de la chaîne de Boumaad avec le Djebel Zaccar ferment la plaine. Au sud, l'Atlas Mitidjien constitue une barrière continue. A l'est, le relais est pris par les premières chaînes de calcaire du massif Kabyle (Djebel Bouzegza). En fin, ce sont les hauteurs et les collines de Basse Kabylie qui ferment la plaine à l'est, [44].



**Figure V.1** : Limite géographique de la Mitidja

La plaine ne s'ouvre directement sur la mer que sur quelques kilomètres séparant l'Oued Réghaia et l'Oued Boudouaou bordée de collines et de montagnes, elle constitue une vaste carène dissymétrique sur fond incliné. Cette inclinaison est particulièrement nette dans la partie centrale. Sur la lisière méridionale, les altitudes dépassent toujours les 160 mètres, atteignent les 260 mètres à Blida, pour s'abaisser vers le nord. Ainsi, dans la basse plaine, le point le plus bas est à 16 mètres. Par contre, aux deux extrémités, les altitudes se relèvent jusqu'à 60 à 70 mètres à l'est [231].

### 5.3.1.2. Le climat

Vu le rôle important que joue le climat dans la dynamique des populations des insectes, il est nécessaire de donner un aperçu sur les fluctuations climatiques, à savoir les précipitations et les températures.

#### 5.3.1.2.1. La pluviométrie

L'eau est un facteur écologique d'importance fondamentale pour le fonctionnement et la répartition des écosystèmes terrestres afin d'assurer un équilibre biologique [232].

Les précipitations mensuelles en Mitidja ont un régime typiquement méditerranéen avec un maximum en hiver et un minimum en été [233], varient entre 600 et 900 mm en fonction de la région considérée (localisation géographique et l'altitude) [44]. Cette distribution inégale des précipitations au cours du cycle annuel et l'alternance saison humide et saison sèche joue un rôle régulateur des activités biologiques des ravageurs.

Les données recueillies auprès de la station météorologique de l'Institut Technique d'Arboriculture Fruitière de Boufarik (I.T.A.F) (APPENDICES I<sub>1</sub> à 4) ont fait l'objet de l'étude de la synthèse climatique (figure 5. 2 et 3<sub>a et b</sub>).

#### 5.3.1.2.2. La température

La température représente un facteur limitant de toutes premières importances, car elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition de la totalité des espèces et des communautés d'êtres vivants dans la biosphère.

Les données thermiques, à savoir, les températures minimales (m), maximales (M) et moyennes mensuelles  $[(m + M)/2]$  au cours des années 1998 à 2008, sont recueillies auprès du I.T.A.F (voir tableau APPENDICES I<sub>1</sub> à 4) (figure 5. 2).L'analyse de température, fait ressortir que les basses températures sont enregistrées aux mois de janvier et février. Les hautes températures sont notées durant les mois de juillet et août. Les moyennes des minimas du mois le plus froid sont enregistrées au mois de janvier de l'année 2005 avec une température de 1,5 °C, et les moyennes des maximas du mois le plus chaud sont notées au mois d'août 2005 avec 40 °C.

#### 5.3.1.2.3. Vents

Les vents les plus redoutés pour les vergers de la Mitidja sont ceux qui soufflent en hiver de l'ouest et du nord –ouest Modérés, ils frappent, parfois, fortement à la fin de l'automne (novembre) et en hiver, or les vents desséchant (sirocco) du sud provoquent des dommages aux vergers lorsqu'ils sont insuffisamment protégés [39 ; 44].

Pour l'année 2008, la moyenne annuelle de la vitesse du vent est de 3,43 Km/h, bien que la vitesse maximale ait atteint 54,7 Km/h au mois de juillet.

#### 5.3.1.2.4. Hygrométrie

L'hygrométrie est assez élevée en hiver où elle peut atteindre les 100%, comme c'était le cas en octobre 2006 [234]. Elle est moyenne ou nulle en été où nous avons noté son minimum le mois de juillet pour l'année 2008

#### 5.3.1.2.5. Gelée

Les gelées sont fréquemment signalées en hiver, elles causent de graves dommages sur les feuilles les jeunes rameaux et les pousses donnant un aspect de brûlures. Le maximum de jour de gelée a été enregistré pendant la campagne 2002-2003 avec 4 jours.

#### 5.3.1.3. Synthèse climatique

##### 5.3.1.3.1. Étage bioclimatique (Climagramme d'EMBERGER) :

L'indice d'EMBERGER permet la caractérisation des climats et leurs classifications dans les différents étages bioclimatiques.

L'indice d'EMBERGER où le coefficient pluviométrique est calculé selon la formule [235] :

$$Q_2 = 3,43 \frac{P}{M-m}$$

Avec : **p** : pluviométrie annuelle (mm) ;

**M** : Moyennes des températures maximale du mois le plus chaud ;

**m** : Moyennes des températures minimales du mois le plus froid.

En plaçant les valeurs ( $T_{\min}$  ;  $Q_2$ ) sur le diagramme d'EMBERGER, nous avons défini l'étage bioclimatique pour notre région d'étude et qui se situe dans l'étage sub –humide à hiver frais pour les dix ans de 1998 à 2008, ainsi pour l'année 2008 (Figure 5. 2).

#### 5.3.1.2.3. Diagrammes Ombrothermiques de BAGNOULS et GAUSSEN (1953)

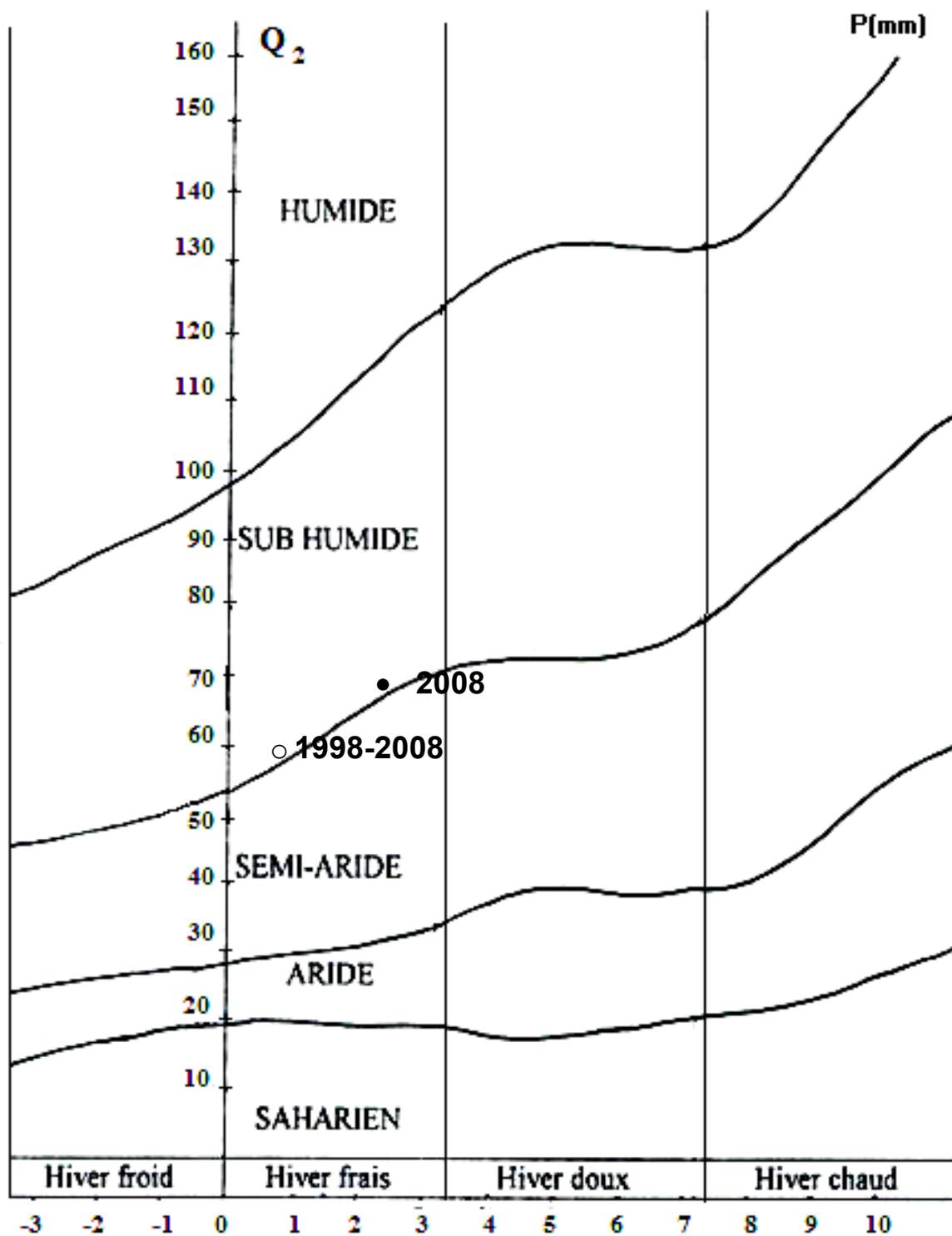
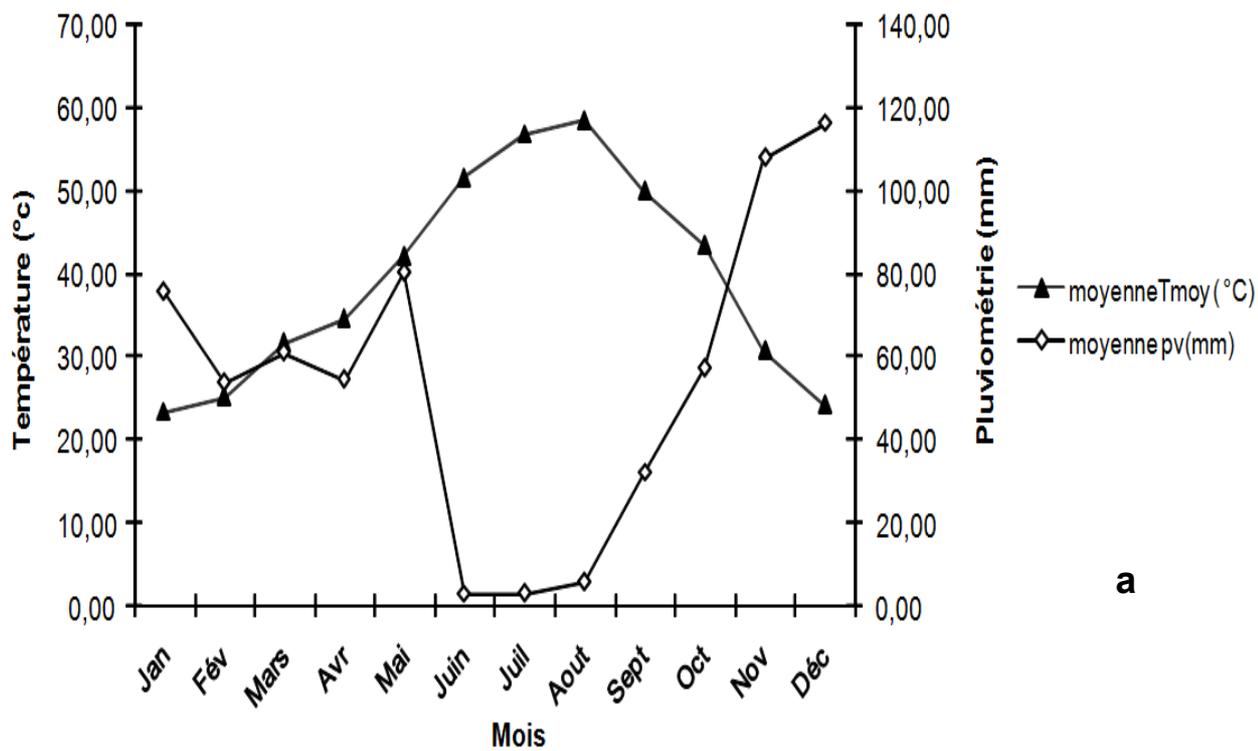
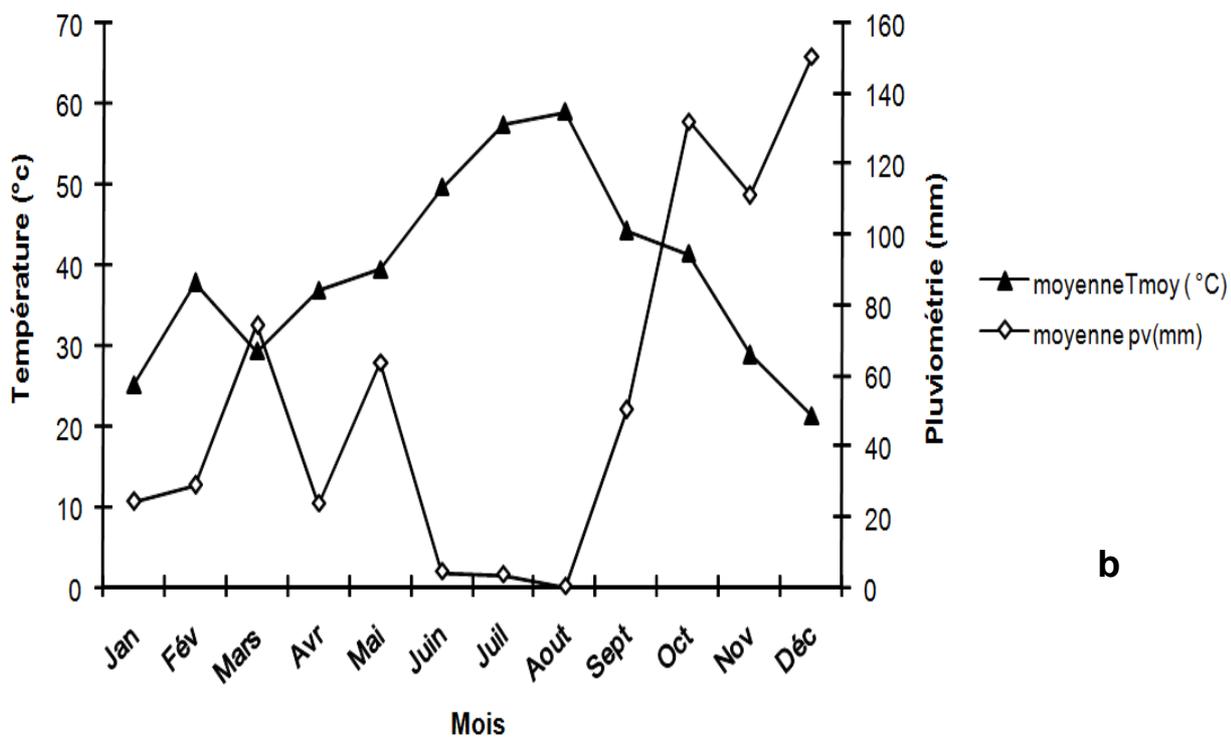


Figure 5. 2: Localisation de la Mitidja dans le climagramme D'EMBERGER



a



b

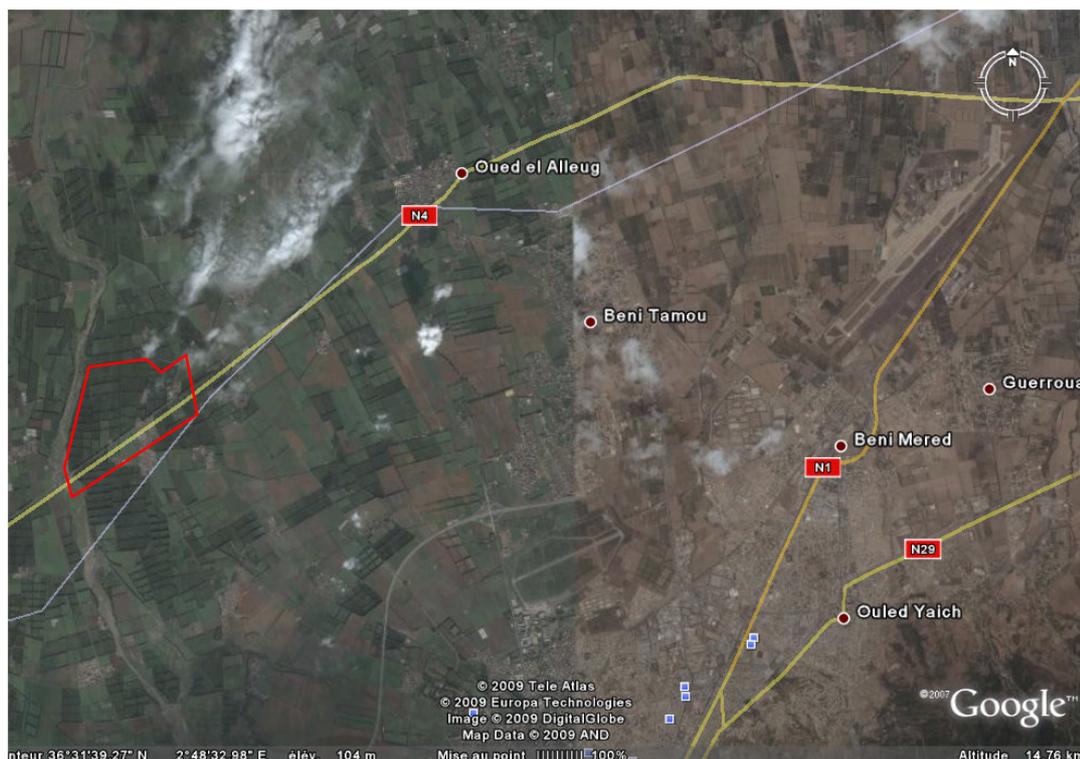
**Figure 5.3** : Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN relatif à la région d'étude (a : 1998 à 2008, b : 2008).

BAGNOULS et GAUSSEN [236] DAJOZ, [237], définissent le mois sec lorsque la somme des précipitations moyennes exprimées en (mm) est inférieure ou double de la température de ce mois ( $P/2T$ ). Ils ont proposé un diagramme où on juxtapose les précipitations et les températures. Lorsque la courbe des précipitations rencontre celle des températures et passe en dessous de cette dernière, nous avons une période sèche.

Diagramme Ombrothermique des années (1998 - 2008) obtenus dans la Figure (5. 3<sub>a</sub>) au-dessous montrent l'irrégularité du climat au cours des années de 1998 à 2008. On remarque l'apparition d'une à deux périodes sèche qui s'étalent parfois sur huit mois de Mars à la mai Octobre, et la période humide qui s'étale sur sept mois de la mi Octobre au début Mars. Pour l'année 2008, figure 5. 3<sub>b</sub> montre une variation assez marquée d'où les constatations d'une saison froide et humide à la mi Octobre à Avril et une saison chaude et sèche de Mai à Septembre, les plus accentuée entre Juin et Août.

### 5.3.2. Présentation du site d'étude de Oued El Alleug

Notre étude a été réalisée dans la région de Oued El Alleug située au niveau de l'Atlas Blidéen dans la Mitidja centrale, les coordonnées géographiques: 36° 33' 19" Nord, 2° 47' 25" East, altitude : 14,76, distance par de Blida (figure 5.4 : photo satellite,).



**Figure 5. 4 :** Présentation du site d'étude géographique d'Oued El Alleug

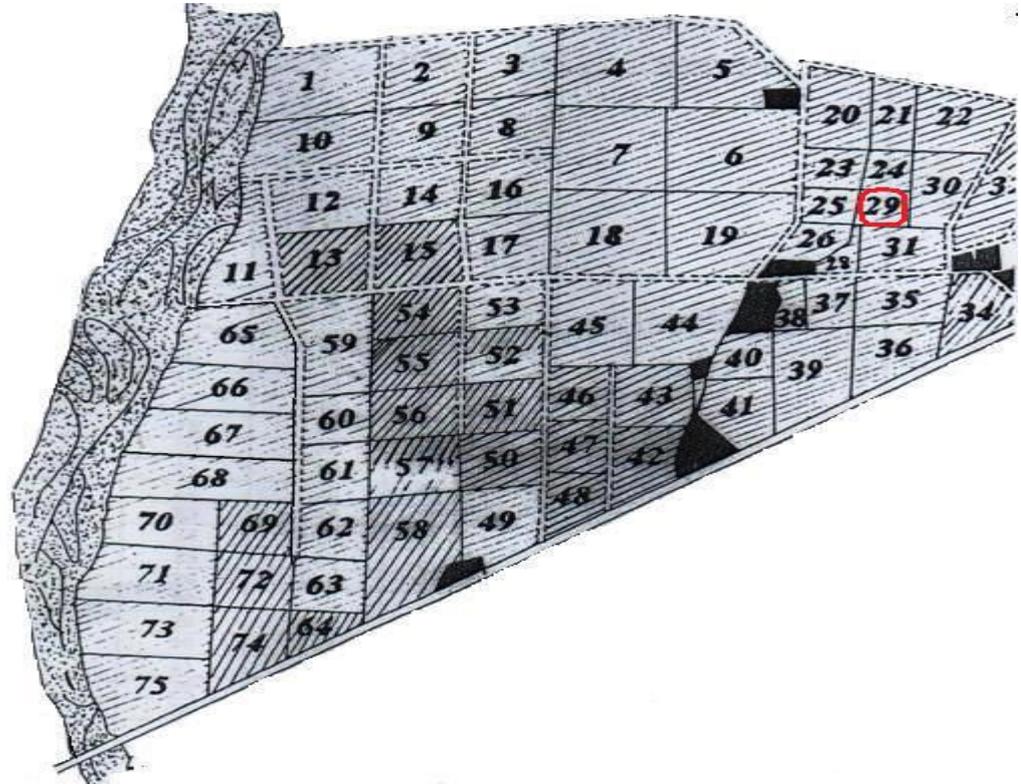
### 5.3.3. Présentation de la station d'étude

Notre travail de terrain à été réalisé à la ferme l'E. U. R. L.F.S.P.P. les 5 palmiers Oued El Alleug (Blida), elle se situe à environ 4 Km de la ville de Oued El Alleug en empruntant la route (42) allant vers Oran. Cette dernière a été sur le nommée de La ferme SALHI ADBELKADRE qui a été créé le 03 Octobre 1992, issue du domaine SALHI ADBELKADRE créé en mai 1982. Le 06 janvier 1999, l'unité de production change le statut et devient l'E. U. R. L. F. S. P. P. les 05 palmiers Oued El-Alleug dotée d'un registre de commerce et d'un statut élaboré chez un notaire. L'E. U. R. L. a été adhéree au groupe de GDSP dans la même année.

EURL est considérée comme une ferme à vocation agrumicole occupant une superficie totale de 185,44 ha composée de 75 parcelles d'agrumes dont 170,26 ha irriguée. Elle est spécialisée dans la production des variétés d'agrumes suivantes : Clémentine (126,67 ha) plantée pendant la période coloniale dans les années vingt ; et d'autre disent quel date de l'année 1942 ; Thomson (13 ,48 ha dont 06 ha jeune plantation) plantée en 1987 ; Portugaise (11,50 ha) ;



- A -



- B -

**Figure 5. 5 :** Plan parcellaire de l'EUURL FSPP Cinq Palmiers Oued El Alleug Blida

Mandarine (10,90 ha) ; Double fine appelée la sanguine (7,71 ha). Pour le reste des variétés la date de plantation reste inconnue.

L'E. U. R. L. est située dans le Nord Ouest de la commune de Oued El-Alleug dépendant de la wilaya de Blida, elle est limitée par : Ouest par oued chiffa ; Est par le domaine Si-Rédha ; Nord par le domaine Si-Rédha ; Sud par la route nationale N° 4. Distance par rapport : E. U. R. L. – commune : 5 km ; E. U. R. L. – marchés : 12 km ; E. U. R. L. – approvisionnement en gas-oil : 7 km ; E. U. R. L. – C C L S: 5 km (Figure V. 4). Le sol est principalement caractérisé par une texture du sol est limono-sablo-argileuse. Le calcaire ( $\text{CaCO}_3$ ) total = 20,40 % ; donc le sol est calcaire. Le  $\text{pH} = 7,60$  ; donc le sol est légèrement alcalin. La conductivité (salinité) = 0,83 ; donc le sol est non salin. Le phosphore ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) assimilable = 35 ppm ; le niveau de fertilité est très faible. Le potassium ( $\text{K}_2\text{O}$ ) assimilable = 3 mg/100 g = 0,8 méq/ 100 g ; le sol est pauvre en potassium.

La pluviométrie moyenne décennale : 350 mm par an.

#### 5.3.4. Dispositif expérimental dans la parcelle étudiée

##### 5.3.4.1. Présentation Dispositif expérimental de la parcelle étudiée

Notre travail de terrain a été réalisé dans la parcelle N°29 de 0,59 ha, contient 228 arbres. Le porte greffe est le Bigaradier, la distance de plantation est de 6 m sur la ligne et 6 m entre les lignes, entouré de brise-vent constitué de cyprès (*Taxodium distichum*), l'âge des arbres est de plus de 60 ans; durant toute la période de notre étude plusieurs travaux culturaux ont été effectués (APPENDICE J <sub>1 et 2</sub>).



- A -

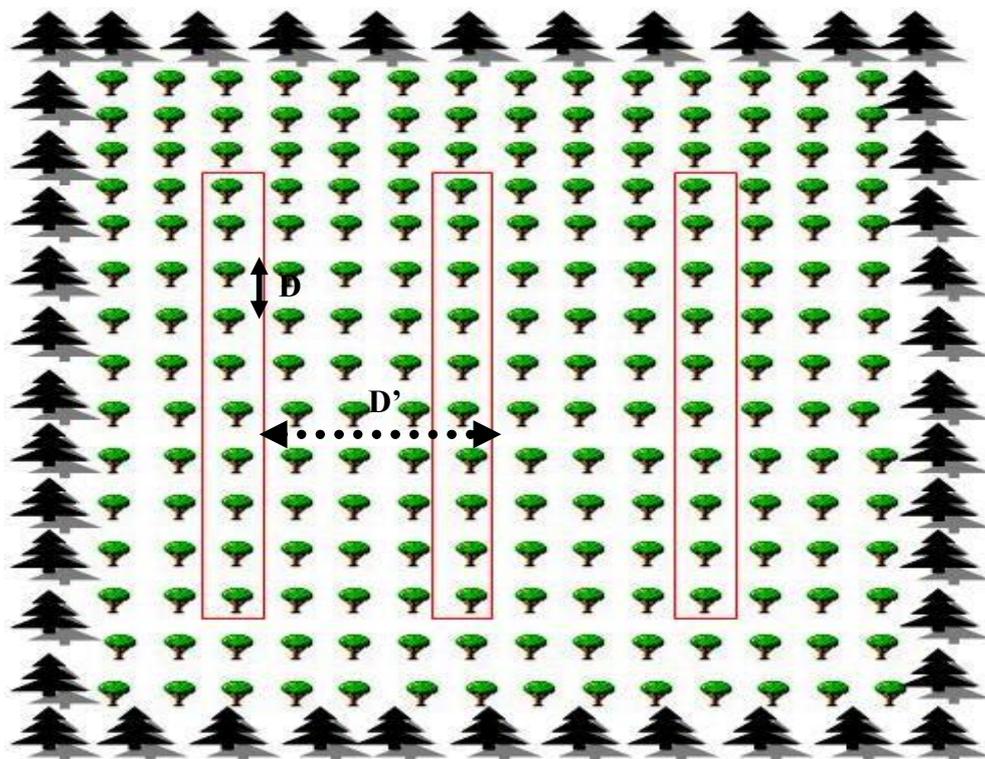


Figure 5. 6 : Dispositif expérimental de la parcelle étudiée

Légende :  Essence de *Taxodium distichum*  clémentinier, D (distance entre chaque arbre échantillonné) : 6 m, D' (distance entre chaque ligne d'arbre échantillonné) : 24 m.

### 5.3.4.2. Echantillonnage sur le terrain

#### 5.3.4.2.1. Calendrier des sorties

La période d'échantillonnage s'est étendue de la mi juin 2008 à la mi janvier 2009. Nous avons réalisé 2 sorties par mois, soit au total 15 prélèvements sur les dernières poussées de sève printanières, les poussées de sève estivales et enfin les poussées automnales. Nous avons continué nos prélèvements durant la période de repos végétatif des arbres qui s'est étalé depuis la fin décembre 2008 jusqu'à la mi janvier 2009 (APPENDICE J<sub>1</sub> et 2). Seuls les échantillons dont nous avons signalé la présence des pucerons ont fait l'objet des extractions.

#### 5.3.4.2.2. Méthodologie

Notre parcelle d'étude est située au milieu de la station (Figure V. 5 et 6<sub>a</sub>) de sorte à éviter les effets de bordure et des agglomérations.

L'échantillonnage a été mené selon la méthode des transects proposé par FRONTIER [238] sur les 0,59 ha de clémentiniers, nous avons retenu 3 transects espacées de 24m dont chaqu'un contient 10 arbres (Figure 5. 6<sub>b</sub>).

Le matériel végétal a été sélectionné en feuilles attaquées et non attaquées, pour être analysé en termes de qualité phytochimique de chaque catégorie.

Selon MARTIN-PREVEL *et al.* [49], SOING *et al.* [52], le prélèvement des feuilles doit être effectué :

- Sur un rameau représentatif de l'arbre situé à hauteur de bras levé et aux quatre points cardinaux.
- Sur chacun de ces rameaux, prélever une feuille entière avec pétiole, située dans la partie médiane de la pousse.

-Pour la conservation des échantillons, les feuilles sont placées dans un sac en papier solide, pour l'identification des sachets une étiquette sur chacun portant toutes les informations nécessaires (date de prélèvement, N° d'arbre, la direction, N° du bloc, ...etc.) est indispensable, en suite les sachets sont placés dans le réfrigérateur.

## 5.4. Méthode d'étude au laboratoire

### 5.4.1. Matériel biologique

#### 5.4.1.1. Pucerons

L'échantillonnage a été effectué sur les individus des pucerons évoluant sur les feuilles de clémentinier des poussées de sève printano-estivale et estivo-automnale. Pour chaque sortie, 30 individus de chaque espèce de pucerons inventoriées sont mis par unité de dix (10) dans des tubes Eppendorf de 1,5 ml puis conservé à – 20°C, pour être analysée ultérieurement.

#### 5.4.1.2. Feuillage

Les feuilles de clémentinier déjà échantillonnées en catégorie attaquées et non attaquées sont lavées, séchées et broyées pour la réalisation d'extraction de l'azote totale, et des flavonoïdes. Pour les extractions des sucres totaux, et de la proline le matériel biologique est utilisé en vert.

### 5.4.2. Extraction et dosage des biomarqueurs énergétiques et des principes actifs

#### 5.4.2.1. Extraction et dosage des biomarqueurs énergétiques

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

L'extraction et la quantification des réserves lipidiques a été réalisée selon la méthode de VAN BRUMMELEN & SUIJFZAND [239] qui, à partir d'une solution monophasique à base de chloroforme, méthanol et eau bi distillée (1 : 2 : 0,8) versée dans les tubes eppendorf contenant des pucerons ; sera centrifugé pendant 5 minutes à 14000 tours/min. l'adition du chloroforme permet de séparer le culot du surnageant. Les culots récupérés sont séchés sur du sulfate de sodium puis rincé avec du chloroforme, soumis à un flux d'azote, le résidu est

confronté à  $H_2SO_4$  dans une étuve réglé à  $100^\circ C$  pendant 10min. Après refroidissement, le rajout de 2,5 ml de solution de vanilline aboutit à l'apparition d'une couleur rose dont la lecture de la densité optique se fera à 540nm au bout de 10mn.

Le blanc est obtenu à partir d'une série de concentrations du cholestérol mélangé à l'acide sulfurique et au réactif de vanilline (tableau 5. 1)

**Tableau 5. 1** : Méthode suivie pour l'obtention de la courbe standard de cholestérol [239].

<b>Solution mère (ml)</b>	<b>µg de cholestérol dans le volume pris et mis dans le tube en verre</b>	<b>Concentration du cholestérol (µg/ml) dans la solution finale de 2.8 ml (contenant l'acide sulfurique et la réactive vanilline)</b>	<b>Densité optique moins le blanc, à 540 nm au bout de 10 minutes</b>
5.6	280	100	2,4993
2.8	140	50	1,3265
1.4	70	25	0,7262
0.7	35	12.5	0,3484
0.35	17.5	6.25	0,2106
0.175	8.75	3.125	0,1221

Pour, l'extraction et la quantification des réserves glucidiques nous avons eu recours à la méthode de WINDECOEN, [240] qui propose une homogénéisation au vortex des pucerons dans le TCA (acide trichloroacétique) à 15% pendant 5 secondes. Les tubes contenant l'homogénéisât sont ensuite centrifugés pendant 10min à 3000 tour/min à  $4^\circ C$ , les surnageants sont récupérés et additionnés au phénol à 5% et 1 ml de  $H_2SO_4$ . Le mélange est déposé dans un puits d'une microplaque pendant 30 minutes à la lumière et à température ambiante ; secouer la plaque 3 secondes, puis lire la densité optique à 490nm.

Le blanc est obtenu à partir d'une solution mère de glucose à 0,5mg/ml (5mg de glucose dans 10ml 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.

#### 5.4.2.2. Extraction et dosage des principes actifs

##### 5.4.2.2.1. Extraction et dosage de l'azote

Le dosage de l'azote est réalisé par la méthode de KJELDHAL [241] qui consiste à introduire dans une matras l'échantillon végétal sec, de l'acide sulfurique concentré et le catalyseur. Les matras sont soumis à une température de 420 °C pour minéralisation. Dès l'apparition d'une solution limpide de la solution mère, on ajoute l'eau distillée pour dissoudre complètement les sulfates, puis on fait passer l'échantillon à la distillation. L'azote libre est récupéré dans un Erlen Meyer contenant 50 ml de la solution indicatrice. La matière végétale est attaquée par H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentré puis mise à l'ébullition en présence de catalyseur, l'azote est transformé en (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. On distille avec un excès de soude et on titre l'ammoniac entraîné par H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

La teneur en azote exprimé en pour cent est obtenue par la formule:

$$\mathbf{N\% = (0,0014. V. 100)/M}$$

Avec :

V : Le volume de la solution d'acide versée à la burette lors du titrage;

M : La masse en gramme de la prise d'essai.

##### 5.4.2.2.2. Extraction et dosage des sucres totaux

Les sucres solubles totaux sont dosés par la méthode de DUBOIS et al. [242]. 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 obtenu 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 reportés sur la gamme étalon, à l'aide de l'équation suivant :

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

#### 5.4.2.2.3. Extraction et dosage de la proline

La méthode suivie est celle de TROLL et LINDSLEY [243], simplifiée et mise au point par DREIR et GORING [244], qui a 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 portée à ébullition pendant 30 min au bout des quelles, la couleur vire au rouge. Après refroidissement, l'addition du toluène induit la séparation de la solution en deux phases: la phase supérieur contenant la proline est récupérée a laquelle on ajoute du Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> et on li 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 :

$$Y= 0,1043 X$$

#### 5.4.2.2.4. Extraction et dosage des flavonoïdes

LEBRETON *et al.* [245], préconise 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 permet l'oxydation des proanthocyanidine en anthocyanidine correspondantes ; après refroidissement de l'hydrolysat, on extrait dans une ampoule à décanter à deux reprises par l'ether 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 a deux reprise par de l'HCl (2N), elle contient les C-glycosyles-flavones.

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

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

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

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 et qui égal à 6

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

M: masse molaire de la Procyanidine égale à 306g

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.

#### 5.4.3. Mesure de la quantité d'eau dans les feuilles

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 [220].

Nous avons choisis 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 [220] :

$$\text{CRE} = (P_F - P_S) \cdot 100 / (P_{\text{Sat}} - P_S)$$

Avec

$P_F$  : Poids Frais,

$P_S$  : Poids Sec,

$P_{\text{Sat}}$  : 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.

### 5.5. Analyse statistique des résultats

Tous les essais ont été répétés au moins trois fois, Les données recueillies sur les concentrations des réserves énergétiques et des principes actifs ont fait l'objet d'analyses statistiques. Les résultats, présentés sous forme de courbes ou d'histogrammes, rejoignent le plus souvent des valeurs moyennes, ces derniers ont été réalisés par le logiciel Excel.

Les variations temporelles des réserves énergétiques d'*Aphis citricola*, *Aphis gossypii* et de la composition phytochimiques des feuilles de clémentinier ont été testées par des tests One Way ANOVA sur l'ensemble des périodes d'échantillonnages.

Pour explorer les différences des réserves énergétiques d'*Aphis citricola*, *Aphis gossypii* et des constituants phytochimiques des feuilles attaquées et non attaquées et leurs corrélations avec les deux poussées de seve ont été représentés par des tableaux, et comparés au modèle de MOTOMURA (1932) :  $\log(N) = a * R + b$ , où  $N$  est la quantité (valeurs logarithmique) rassemblé pour une variable et  $R$  est la pente [246]. Les comparaisons des pentes des taux des réserves et de la composition phytochimique ont été faites en utilisant la procédure décrite dans PAST vers 1.81 [247].

De même, des corrélations ont été établies entre les différentes variables analysées à l'aide du logiciel PAST. Pour cela, nous avons fait appel l'analyse en composantes principales (ACP). Le principe de cette analyse est de représenter un phénomène multidimensionnel par un graphique à deux ou plusieurs dimensions. Ce test permet de résumer la plus grande variabilité des réserves énergétiques quantifiées pour un nombre plus réduit de variables synthétiques appelées axes factoriels. Ces axes définissent le premier plan factoriel de l'ACP dans lequel sont projetés les différents groupes étudiés.

Dans l'ACP, les réserves énergétiques et les principes actifs projetés ont des coordonnées comprises entre  $-1$  et  $+1$  et appartiennent à un cercle des corrélations. L'interprétation de l'ACP se fait à partir de l'examen du cercle des corrélations et de la position des statuts comportementaux sur les axes factoriels [248].

L'hypothèse d'égalité des teneurs moyennes des réserves énergétiques et des principes actifs sont testés par le modèle de la distance euclidienne à un facteur contrôlé par le logiciel PAST - PAleontological STatistics, ver. 1.81

## CHAPITRE 6

### RESULTATS

#### 6.1. Quantification et variations temporelles des réserves énergétiques des pucerons *Aphis citricola* et *A. gossypii*

##### 6.1.1. Quantification des réserves énergétiques glucidiques et lipidiques

en terme de qualité, les réserves énergétiques sont constituées majoritairement de réserves lipidiques.

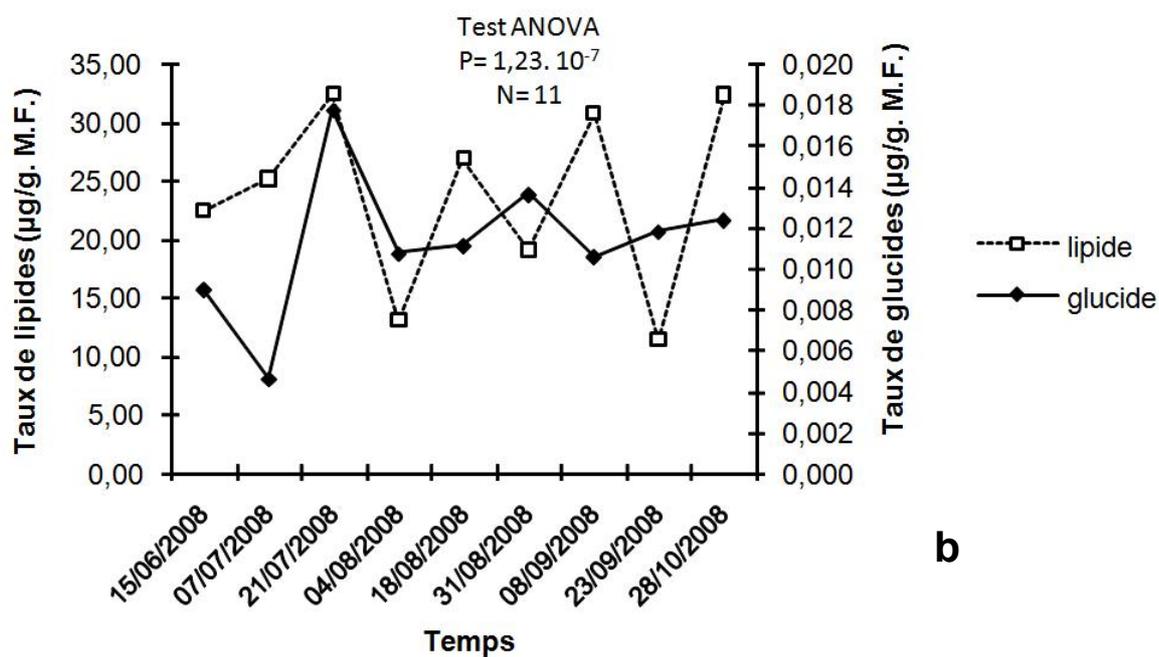
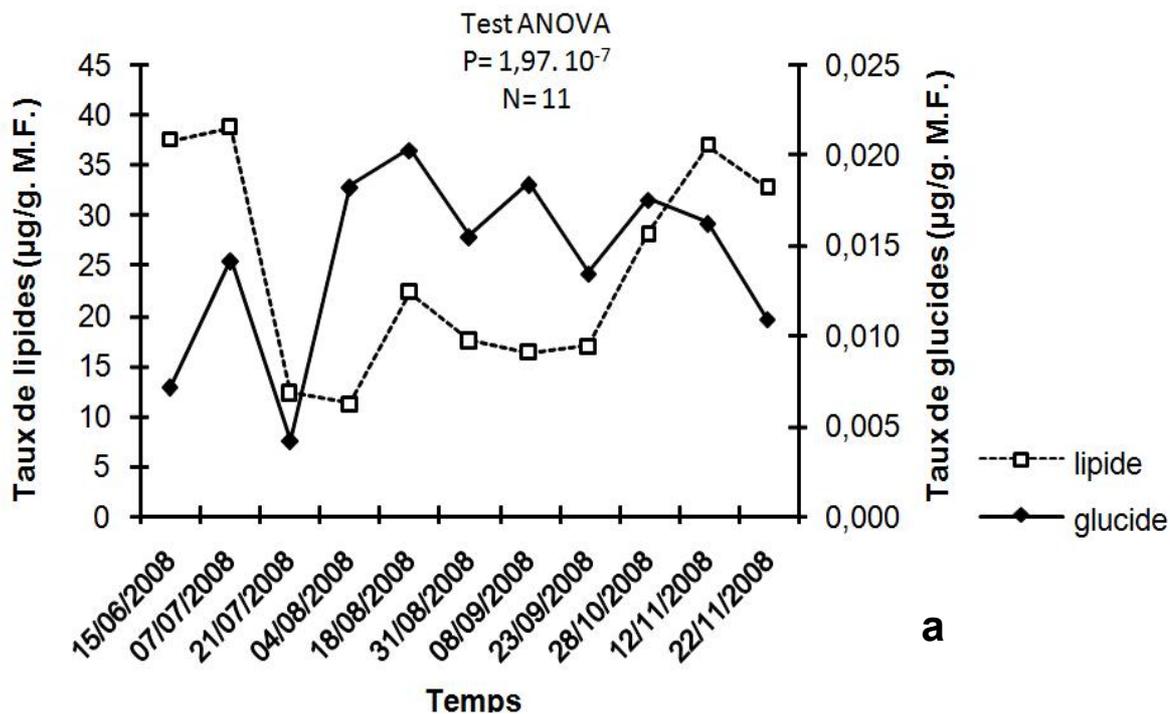
En effet, la quantité de lipides dépasse les 99%, chez les individus des deux espèces de pucerons, avec une légère différence de 0,02% pour *A. gossypii*. Par contre les réserves glucidiques sont représentées par des quantités très infimes inférieures à 0,1%, de l'ordre de 0,06% pour *Aphis citricola* et 0,04% pour *A. gossypii*.

##### 6.1.2. Variations temporelles des réserves énergétiques

L'évolution des réserves énergétiques lipidiques et glucidiques d'*A. citricola* (figure 6.1<sub>a</sub>) et d'*A. gossypii* (Figure 6.1<sub>b</sub>) présentent une variation temporelle hautement significatives avec des probabilités respectives (Test One Way ANOVA,  $P= 1,97 \times 10^{-7}$ ,  $P= 1,23 \times 10^{-7}$ ,  $P < 1\%$ ). La période s'étalant entre la mi juin et la fin août correspond à la 2<sup>ème</sup> poussée de sève (estivale) durant laquelle les quantités de réserves lipidiques et glucidiques de chaque puceron, ne sont pas les mêmes.

En effet, au début de cette période, les taux de lipides et de glucides diminuent chez *A. citricola* alors qu'ils augmentent chez *A. gossypii* durant tout le mois d'août et septembre, les taux de glucides sont nettement plus importants chez la 1<sup>ère</sup> espèce par contre chez la 2<sup>ème</sup> espèce, c'est plutôt les taux de lipides qui sont plus élevés.

Nous signalons que nous n'avons plus retrouvé de pucerons jaunes au-delà de la fin octobre (Figure 6.1b). A cette période, les teneurs en glucides et en lipides surtout ont augmenté, ce qui expliquerait un gain d'énergie soit pour la croissance des larves car le nombre d'individus observé était faible, soit une accumulation de ces réserves chez les femelles aptères hivernantes au niveau de la plante hôte.

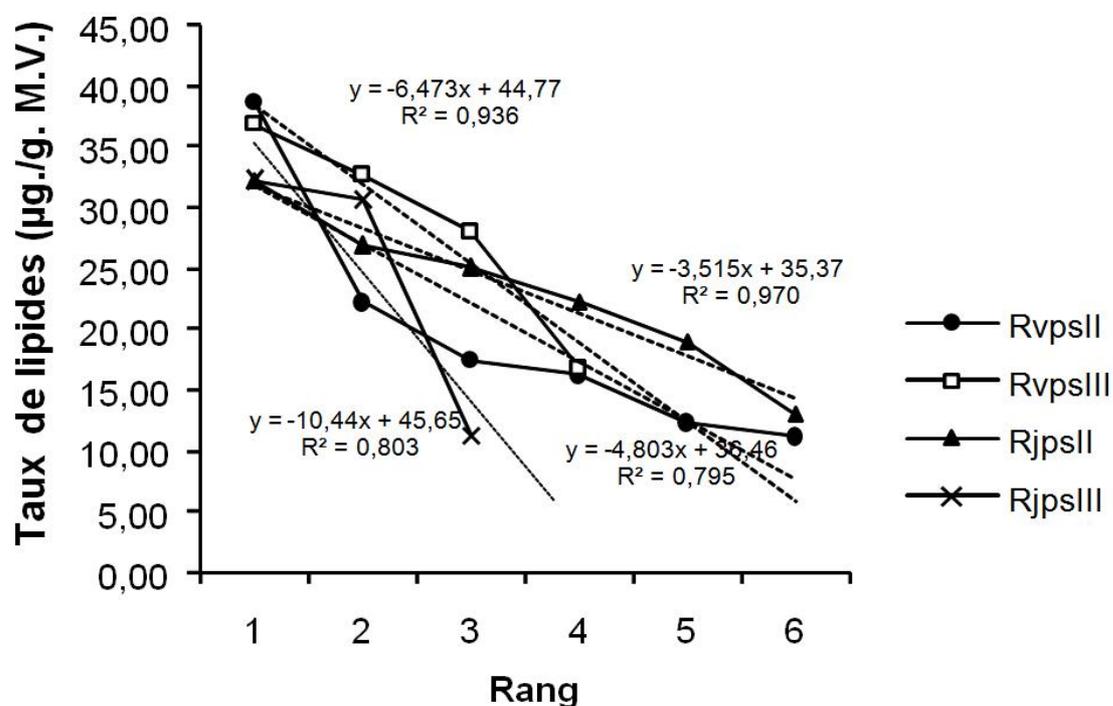


**Figure 6. 1:** Variations temporelles des réserves énergétiques (glucides, lipides) chez *A. citricola* (a) et *A. gossypii* (b)

### 6.1.3. Analyse qualitative des réserves énergétiques sur les deux poussées de sève

#### 6.1.3.1. Cas des lipides

Nous avons consigné dans le tableau 6.1 les probabilités (P) du rapprochement des fluctuations des réserves lipidiques des deux pucerons au modèle standard de MOTOMURA (Figure 6. 2) ainsi que les probabilités (P) des comparaisons des pentes des biomarqueur lipidiques d'*A. citricola* et d'*A. gossypii* évoluant sur les deux poussées de sève estivale (PSII) et automnale (PSII).



**Figure 6. 2:** Variation des lipides chez les deux pucerons en fonction de la poussée de sève.

(Rv : quantité des lipides chez *A. citricola*, Rj : quantité des lipides chez *A. gossypii*, psII : deuxième poussée de sève, psIII : Troisième poussée de sève).

**Tableau 6. 1:** Comparaison des pentes lipidiques à l'ajustement du modèle de MOTOMURA (1932).

	Rvps II	Rvps III	Rjps II	Rjps III
Pentes (Slopes)	-4,8034	-6,475	3,5154	-10,445
Ajustement MOTOMURA (P)	0,0169*	0,032*	$3,3 \times 10^{-4**}$	0,2926 <sup>NS</sup>
Rvps II	_____			
Rvps III	0,9659 <sup>NS</sup>	_____		
Rjps II	0,0082**	0,01159*	_____	
Rjps III	0,1104 <sup>NS</sup>	0,0115*	0,9415 <sup>NS</sup>	_____

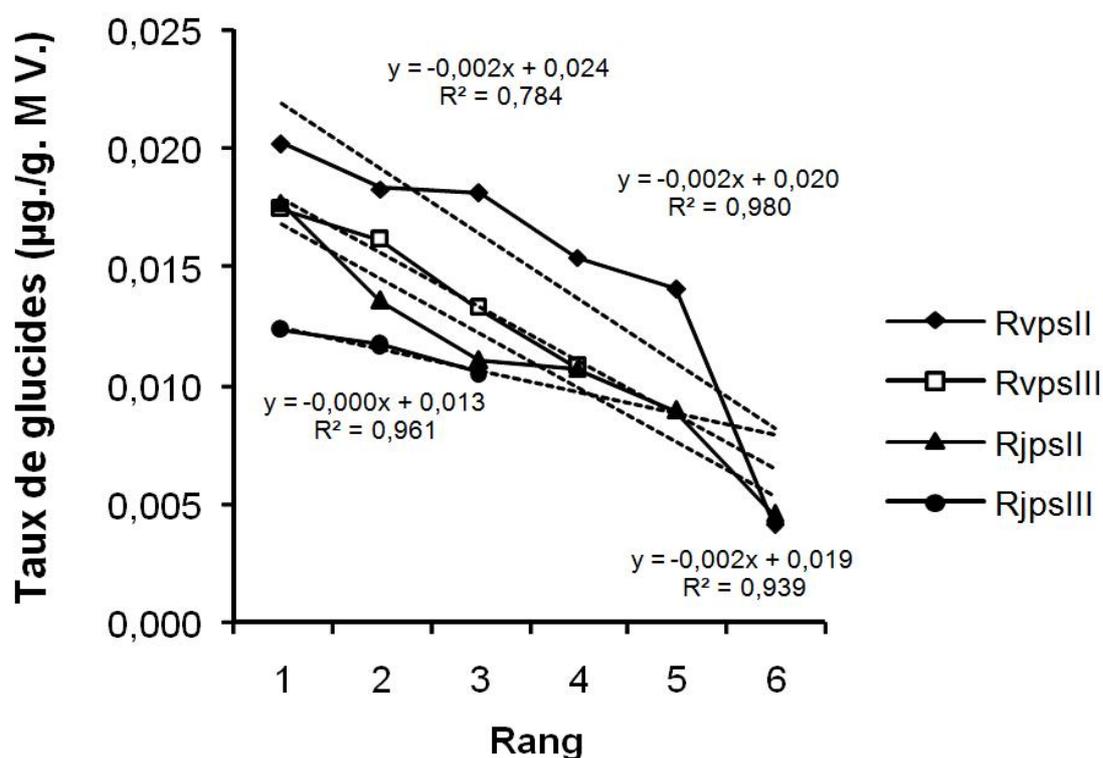
\* : Probabilité significative à 5 %, \*\* : Probabilité hautement significative à 1 %. NS : non significative

L'ajustement des fluctuations des réserves lipidiques au modèle de MOTOMURA présente une différence significative (P = 0,0169 pour la psII et P = 0,032 pour la psIII chez *A. citricola*) et hautement significative (P =  $3,3 \times 10^{-4}$  pour la psII seulement).

La comparaison des pentes (coefficient R de Pearson) entre les réserves lipidiques des deux pucerons a révélé une différence significative durant la PSII (P = 0,0082; P<1%), durant la PSIII (P = 0,0115, P< 5%), et entre les individus d'*A. citricola* de la PSIII et les individus d'*A. gossypii* de la PSII (P = 0,01159; P< 5%).

#### 6.1.3.2. Cas des glucides

Le tableau 6.2, présente les probabilités (P) du rapprochement des fluctuations des réserves glucidiques des deux pucerons au modèle standard de MOTOMURA (Figure 6.3) ainsi que les probabilités (P) des comparaisons des pentes des biomarqueur glucidiques d'*A. citricola* et d'*A. gossypii* évoluant sur les deux poussés de sève estivale (PSII) et automnale (PSII).



**Figure 6. 3:** Variation des glucides chez *A. citricola* et *A. gossypii* sur *C. clementina* en fonction de la pousse de sève.

(Rv : quantité des glucides chez *A. citricola*, Rj : quantité des glucides chez *A. gossypii*, psII : deuxième poussée de sève, psIII : Troisième poussée de sève).

L'ajustement des fluctuations des réserves glucidiques au modèle de MOTOMURA est significatif pour *A. citricola*, entre la PSII et la PSIII respectivement ( $P = 1,92 \times 10^{-2}$  et  $P = 1,55 \times 10^{-2}$ ,  $P < 5\%$ ), et significatif seulement pour la deuxième poussée de sève chez *A. gossypii*, ( $P = 1,40 \times 10^{-3}$ ,  $P < 5\%$ ).

Par contre, la comparaison des pentes des réserves glucidiques des deux espèces de pucerons en fonction des poussées de sève ne sont pas significatives ( $P = 0,06926$  et  $P = 0,06692$ ,  $P > 5\%$ ). Ceci peut être dû aux très faibles teneurs glucidiques obtenues, et presque identiques pour les deux espèces.

**Tableau 6. 2:** Comparaison des pentes glucidiques à l'ajustement du modèle MOTOMURA (1932).

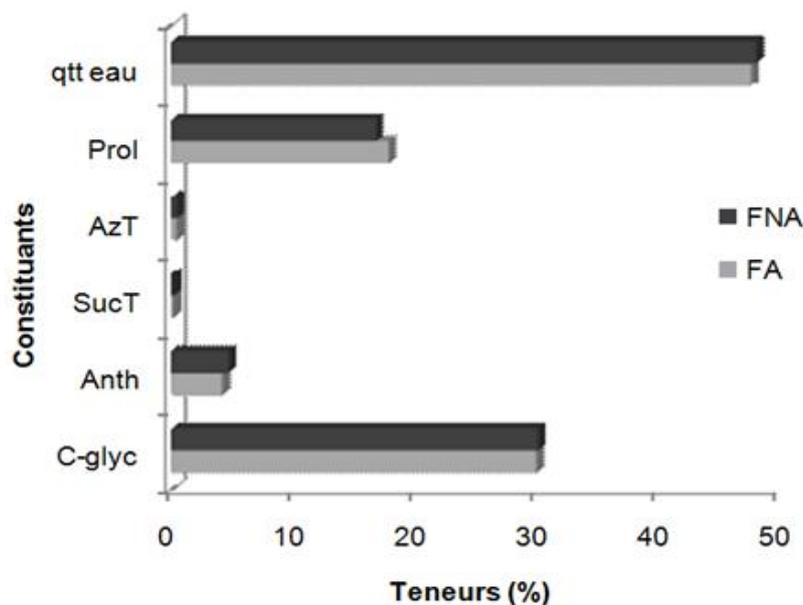
	Rvps II	Rvps III	Rjps II	Rjps III
Pentes (Slopes)	-0,0027143	-0,0021	-0,00228	-0,0005
Ajustement MOTOMURA (P)	$1,92 \times 10^{-2*}$	$1,55 \times 10^{-2*}$	$1,40 \times 10^{-3*}$	0,333 <sup>NS</sup>
Rvps II	_____			
Rvps III	0,13121 <sup>NS</sup>	_____		
Rjps II	0,06926 <sup>NS</sup>	0,06692 <sup>NS</sup>	_____	
Rjps III	0,57394 <sup>NS</sup>	0,074813 <sup>NS</sup>	0,87125 <sup>NS</sup>	_____

\* : Probabilité significative à 5 %, \*\* : Probabilité hautement significative à 1 %. NS : non significative

## 6.2. Quantification et variations temporelles des supports alimentaires et des principes actifs sur *C. clementina*

### 6.2.1. Quantification phytochimique du support alimentaire

La figure 6.4, fait apparaitre la prépondérance de l'eau dans les deux catégories de feuilles.



**Figure 6. 4:** Distribution quantitative des supports alimentaires et des principes actifs sur *C. clementina* (C-gly : C-glycosyl ; Suct : sucre totaux ; Azt : azote totale ; Prol : proline ; Anth: anthocyane ; qtt eau : quantité d'eau, FNA : feuilles non attaquées, FA : feuilles attaquées).

Nous remarquons par contre que les sucres totaux représentent moins de 0.12% et la teneur de l'azote total ne dépasse pas les 0,41% aussi bien dans les feuilles infestées que les feuilles non infestées. Pour les c-glycosyls, les anthocyanes et la proline leurs taux présentent une certaine similarité entre feuilles attaquées et feuilles non attaquées et dont les teneurs oscillent respectivement entre 34,06 - 34,72%, 7,94 - 8,95% et 17,83 - 16,77%.

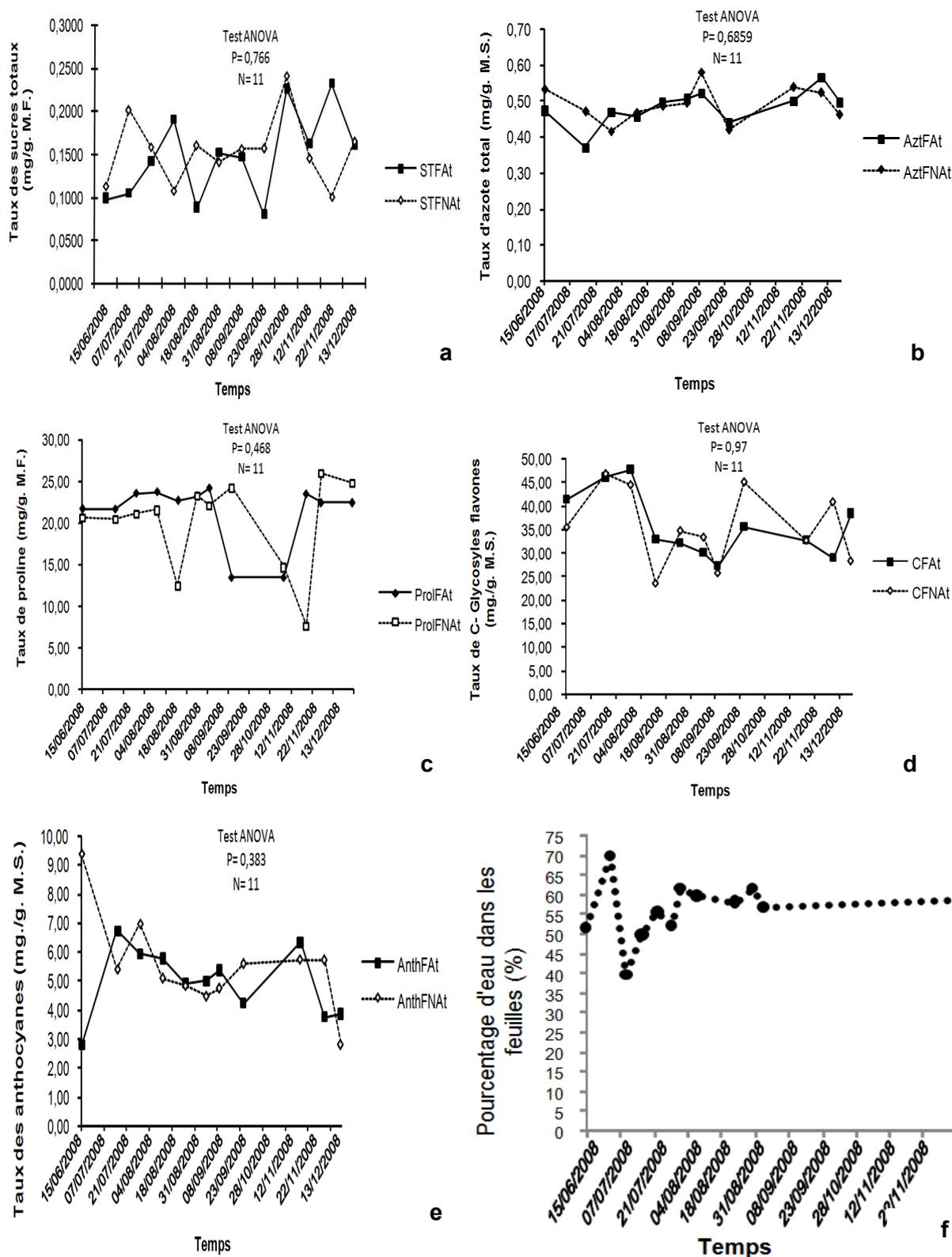
### 6.2.2. Variations temporelles de la qualité phytochimiques des feuilles attaquées et non attaquées

L'évolution des supports alimentaires (sucres totaux et l'azote total) des feuilles attaquées et feuilles non attaquées de *C. clementina* (Figure 6.5<sub>a</sub> et <sub>b</sub>), présentent une variation temporelle non significative avec des probabilités respectives (Test One Way ANOVA,  $P=0,766$ ,  $P=0,689$ ,  $P>5\%$ ). La même figure (6.5<sub>c</sub>, <sub>d</sub> et <sub>e</sub>), montre une variation temporelle non significative des supports non alimentaires (proline, C-glycosyl-flavones et anthocyanes) avec des probabilités respectives (Test One Way ANOVA,  $P=0,468$ ,  $P=0,97$ , et  $P=0,383$ ,  $P>5\%$ ).

### 6.2.3. Analyse quantitative de la biochimie foliaire comparée entre les poussées de sève

#### 6.2.3.1. Cas des sucres totaux

Nous avons reporté dans le tableau 6.3 les probabilités (P) du rapprochement des fluctuations des teneurs en sucres au modèle de standard MOTOMURA ainsi que les probabilités (P) des comparaisons des pentes des feuilles attaquées par rapport aux feuilles non attaquées dans les deux poussées de sève.



**Figure 6.5** : Variations temporelles des principes actifs des feuilles attaquées et non attaquées de (ns) (a) sucre totaux, (b) azote total, (c) proline, (d) C-glycosyles flavones, (e) anthocyanes, (f) quantité d'eau dans les feuilles.

**Tableau 6.3 :** Comparaison des pentes des teneurs en sucres totaux à l'ajustement du modèle MOTOMURA (1932).

	FAps II	FNAsps II	FAps III	FNAsps III
Pentes (Slopes)	- 0,02026	- 0,001791	- 0,03822	- 0,02907
Ajustement MOTOMURA (P)	$6,5 \times 10^{-5**}$	$5,1 \times 10^{-5**}$	$5,8 \times 10^{-4**}$	$3,2 \times 10^{-4**}$
FAps II	_____			
FNAsps II	0,7966 <sup>NS</sup>	_____		
FAps III	0,04607*	0,049168*	_____	
FNAsps III	0,015598*	0,016711*	0,57872 <sup>NS</sup>	_____

\* : Probabilité significative à 5 %, \*\* : Probabilité hautement significative à 1 ‰, NS : non significative. FA : feuilles attaquées, FNA : feuilles non attaquées, psII : deuxième poussée de sève, psIII : Troisième poussée de sève.

L'ajustement des fluctuations des teneurs en sucres des différentes catégories des feuilles durant les deux poussées de sève au modèle standard de MOTOMURA présente une différence hautement significative ( $P = 6,5 \times 10^{-5}$  pour FA PSII,  $P = 5,1 \times 10^{-5}$  pour la FNAPSII,  $P = 5,8 \times 10^{-4}$  pour FAPSIII et  $P = 3,2 \times 10^{-4}$  pour FNAPSIII ;  $P < 1 \text{ ‰}$ ).

La comparaison des pentes (coefficient R de Pearson) entre les quantités de sucres des deux poussées de sève des feuilles attaquées a révélé une différence significative ( $P = 0,04607$ ;  $P < 5\%$ ), et entre les feuilles attaquées de la PSII et non attaquées de la PSIII ( $P = 0,015598$ ,  $P < 5\%$ ), et aussi entre les feuilles non attaquées de la PSII et les deux catégories foliaires durant la PSIII ( $P = 0,049168$  et  $P = 0,016711$ ;  $P < 5\%$ ).

#### 6.2.3.2. Cas de l'azote total

Le tableau 6.4 présente les probabilités (P) du rapprochement des fluctuations de support alimentaire (azote total) au modèle standard de MOTOMURA ainsi que les probabilités (P) des comparaisons des pentes de feuilles échantillonnées dans les deux poussés de sève.

**Tableau 6. 4:** Comparaison des pentes des teneurs en azote total à l'ajustement du modèle MOTOMURA (1932).

	FAds II	FNAds II	FAds III	FNAds III
Pentes (Slopes)	- 0,02297	- 0,01934	- 0,0273	- 0,0392
Ajustement MOTOMURA (P)	$3,46 \times 10^{-4**}$	$1,12 \times 10^{-5**}$	$2,3 \times 10^{-4**}$	$1,42 \times 10^{-4**}$
FAds II	_____			
FNAds II	0,3003 <sup>NS</sup>	_____		
FAds III	0,03258*	0,55757 <sup>NS</sup>	_____	
FNAds III	0,0760 <sup>NS</sup>	0,036087*	0,6517 <sup>NS</sup>	_____

\* : Probabilité significative à 5 %, \*\* : Probabilité hautement significative à 1 ‰, NS : non significative

L'ajustement des fluctuations des quantités de l'azote total au modèle standard de MOTOMURA présente une différence hautement significative ( $P = 3,46 \times 10^{-4}$  pour FA PSII,  $P = 1,12 \times 10^{-5}$  pour la FNAPSII,  $P = 2,3 \times 10^{-4}$  pour FAPSIII et  $P = 1,42 \times 10^{-4}$  pour FNAPSIII ;  $P < 1 \text{ ‰}$ ).

La comparaison des pentes des taux saisonniers d'azote total des feuilles attaquées des deux poussés sève a révélé une différence significative ( $P = 0,03258$ ;  $P < 5\%$ ), chez les feuilles non attaquées de la PSII et non attaquées de la PSIII ( $P = 0,036087$ ,  $P < 5\%$ ).

### 6.2.3. 3. Cas de la proline

Nous avons présenté dans le tableau 6.5 les probabilités (P) du rapprochement des fluctuations de la proline au modèle de standard MOTOMURA et les probabilités (P) des comparaisons des pentes des différentes catégories foliaires durant la période d'étude.

**Tableau 6. 5:** Comparaison des pentes des teneurs en proline à l'ajustement du modèle MOTOMURA (1932).

PROLINE	FAds II	FNAds II	FAds III	FNAds III
Pentes (Slopes)	- 0,4691	- 3,175	- 1,6754	- 4,61
Ajustement MOTOMURA (P)	0,3994 <sup>NS</sup>	0,3416 <sup>NS</sup>	0,6794 <sup>NS</sup>	0,6778 <sup>NS</sup>
FAds II	_____			
FNAds II	0,03428*	_____		
FAds III	0,26112 <sup>NS</sup>	0,009152*	_____	
FNAds III	0,040809*	0,73075 <sup>NS</sup>	0,9982 <sup>NS</sup>	_____

\* : Probabilité significative à 5 %, NS : non significative.

Les fluctuations de la quantité de proline des différentes catégories de feuilles ajustée au modèle de MOTOMURA durant les poussées estivale et automnale ne présente pas de différence significative (tableau 6.5).

La comparaison des pentes montre une différence significative entre les feuilles attaquées et non attaquées durant la PSII ( $P = 0,03428$ ;  $P < 5\%$ ), et entre les feuilles attaquées de la PSII et non attaquées de la PSIII ( $P = 0,040809$ ,  $P < 5\%$ ), et entre les feuilles non attaquées de la PSII et les feuilles non attaquées de a PSIII ( $P = 0,009152$ ,  $P < 5\%$ ).

#### 6.2.3. 4. Cas des flavonoïdes

Les fluctuations des teneurs en flavonoïdes ajustées au modèle standard de MOTOMURA ainsi que les probabilités (P) des comparaisons des pentes des différents types de feuilles échantillonnées durant le période d'étude, sont portées au niveau des tableaux 6. 7 et 8.

**Tableau 6.6 :** Comparaison des pentes des teneurs en C-glycosyl-flavones à l'ajustement du modèle MOTOMURA (1932).

	F Aps II	FN Aps II	F Aps III	FN Aps III
Pentes (Slopes)	- 3,9451	- 4,2677	- 5,098	- 0,02907
Ajustement MOTOMURA (P)	0,2557 <sup>NS</sup>	0,40373 <sup>NS</sup>	0,02651*	0,2840 <sup>NS</sup>
F Aps II	_____			
FN Aps II	0,3404 <sup>NS</sup>	_____		
F Aps III	0,018911*	0,42271 <sup>NS</sup>	_____	
FN Aps III	0,6871 <sup>NS</sup>	0,4596 <sup>NS</sup>	0,0412*	_____

\* : Probabilité significative à 5 %, NS : non significative

L'ajustement des fluctuations des C-glycosyl-flavones quantifiés à partir des différentes catégories des feuilles durant les deux poussées de sève au modèle de MOTOMURA présente une différence significative pour les feuilles attaquées durant la troisième poussée de sève ( $P = 0,02651$ ;  $P < 5\%$ ).

La comparaison des pentes pour les C-glycosyle-flavones des feuilles attaquées des deux poussées sève a révélé une différence significative ( $P = 0,018911$ ;  $P < 5\%$ ), et entre les feuilles non attaquées des deux poussées estivale et automnale ( $P = 0,0412$ ,  $P < 5\%$ ).

**Tableau 6.7 :** Comparaison des pentes des teneurs en anthocyanes à l'ajustement du modèle MOTOMURA (1932).

	F Aps II	FN Aps II	FA ps III	FN Aps III
Pentes (Slopes)	- 0,67229	- 0,89057	- 0,666	- 0,687
Ajustement MOTOMURA (P)	0,01800*	0,04714*	0,01688*	0,05324 <sup>NS</sup>
F Aps II	_____			
FN Aps II	0,31421 <sup>NS</sup>	_____		
F Aps III	0,26112 <sup>NS</sup>	0,17123 <sup>NS</sup>	_____	
FN Aps III	0,040809*	0,73075 <sup>NS</sup>	0,2919 <sup>NS</sup>	_____

\* : Probabilité significative à 5 %, NS : non significative.

Les fluctuations des anthocyanes quantifiés sur les feuilles attaquées et les feuilles non attaquées durant les deux poussées de sève au modèle standard de MOTOMURA a montré une différence significative ( $P = 0,01800$  pour FA PSII,  $P = 0,04714$  pour la FNAPSII et  $P = 0,01688$  pour la FAPSIII ;  $P < 5\%$ ).

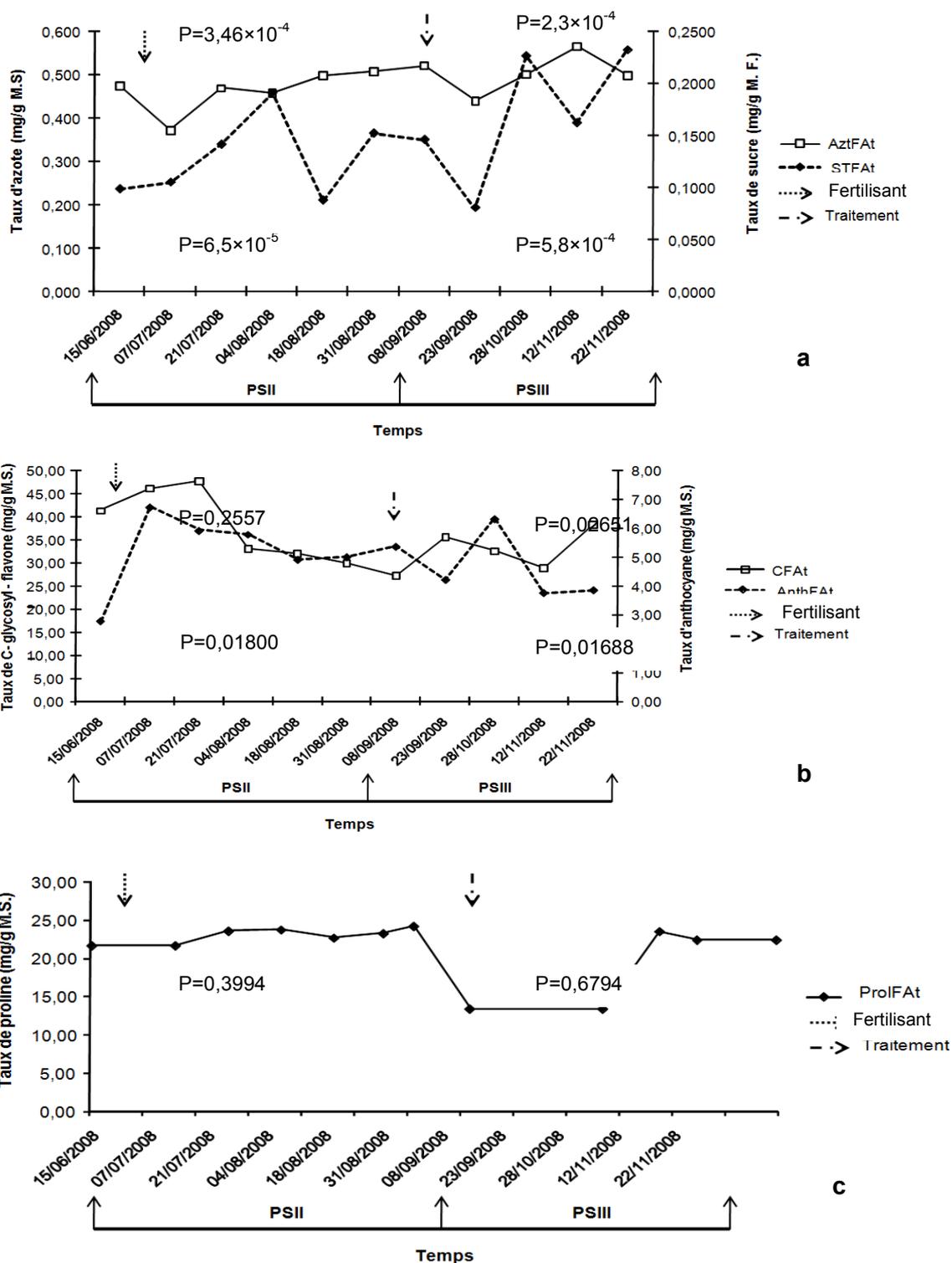
La comparaison des pentes montre une différence significative entre les feuilles attaquées de la poussée sève estivale et les feuilles non attaquées de la poussée automnale ( $P = 0,040809$ ;  $P < 5\%$ ).

### 6.3. Effet de la saison et de la quantité des constituants biochimiques de la plante hôte sur l'allocation des réserves énergétiques chez les aphides étudiés

Les teneurs des sucres totaux et de l'azote total montrent une augmentation significative durant toute la durée étudiée durant la PSII et la PSIII. A la fin de la PSII, nous constatons une rupture dans l'évolution des sucres totaux caractérisée par une chute brusque (Figure 6.6<sub>a</sub>) qui a tendance à se rétablir vers le début de la PSIII. Cependant, l'application d'un traitement à base d'un produit antiacridien a influencé sur l'évolution des teneurs en sucres ce qui a accentué leurs fluctuations.

Pendant la PSII, on constate une augmentation des principes actifs (C-glycosyls et anthocyanes) qui a tendance à diminuer vers la fin de la PSIII (Figure 6.6<sub>b</sub>), suivie par une légère augmentation due à l'application du même traitement phytosanitaire à (appendice J<sub>1et 2</sub>). Vers la fin de la PSIII (début du repos végétatif de l'arbre) on remarque une augmentation accentuée des principes actifs pouvant être due à l'action mécanique engendrée par le matériel utilisé au moment de la récolte des fruits.

La proline (Figure 6.6<sub>c</sub>) montre une certaine stabilité d'expression durant la PSII. Les teneurs en proline ont une tendance à diminuer durant la période automnale. Puis une réaugmentation suite à un stress probable.



**Figure 6. 6:** Distribution des constituants biochimiques sur *C. clementina* en fonction des deux poussées de sève.

(a : support alimentaire ; b : principes actifs ; ST : sucres totaux ; Azt : azote total ; Anth: anthocyane; C : c-glycosyl-flavones, Prol : proline, PSII : deuxième poussée de sève, PSIII : Troisième poussée de sève, Fat : feuilles attaquées, P : probabilités des rapprochements des fluctuations des différents constituants à l'ajustement du modèle de Motomura)

Nous avons interprété l'ensemble de nos résultats par une ACP. Le principe de cette analyse est de résumer la plus grande interaction entre la qualité phytochimique des feuilles et les réponses métaboliques des pucerons dont la projection dans le plan factoriel définit les différents groupes étudiés (Figure 6. 9).

Le plan 1,2 est retenu ( $ACP_1 = 97,756$ ,  $ACP_2 = 2,2441$ ) car il rend compte d'une contribution maximale sur les corrélations existantes entre la distribution des réserves énergétiques et le statut des principes actifs de *C. clementina* durant les deux périodes estivale et automnale (Figure 6. 7).

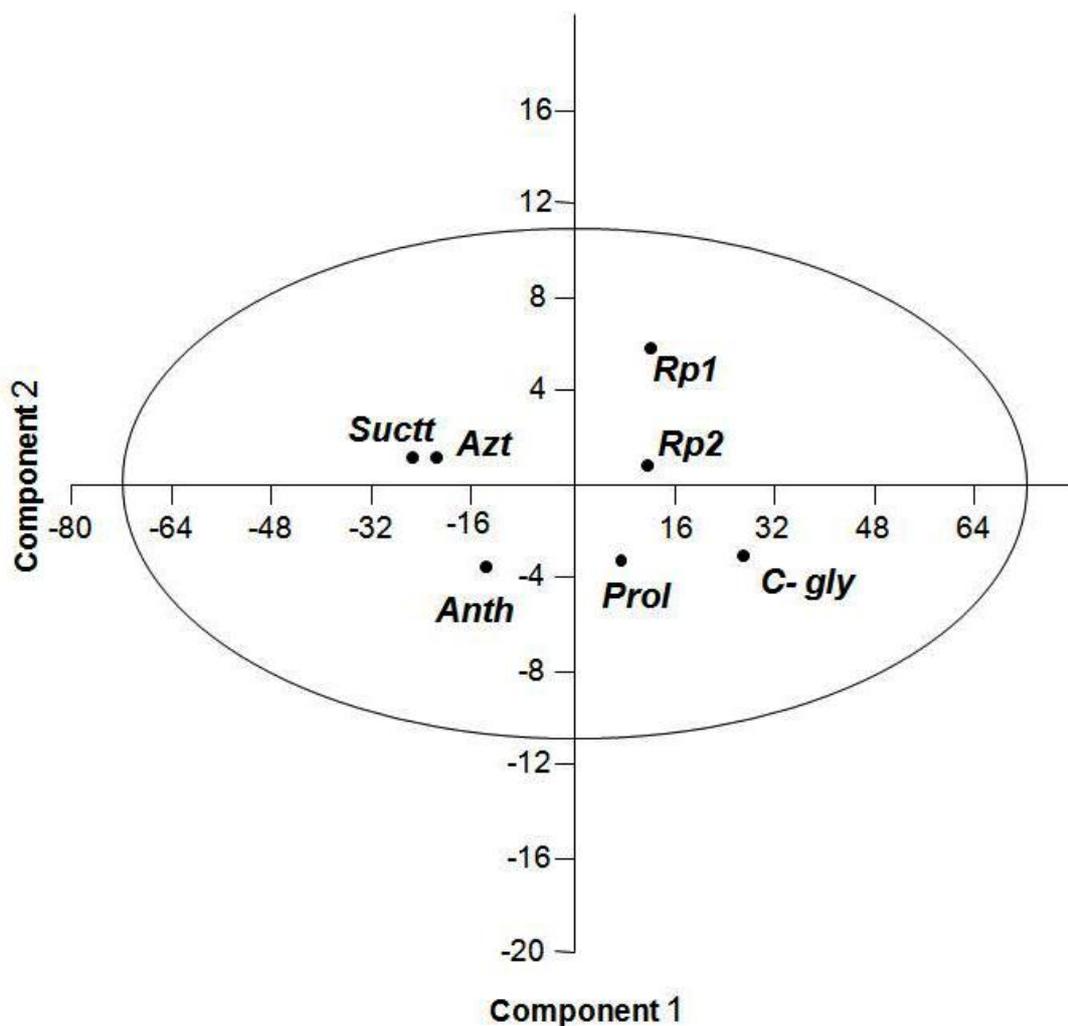
L'axe 1 représenté par les taux des réserves énergétiques montre une contribution positive avec les réserves énergétiques d'*A. citricola* (+12,079) et *A. gossypii* (+11,702), la proline (+7,5182) et C-glycosyl-flavone (+27,083). À l'opposé de cet axe, les plus faibles contributions sont représentées par les sucres totaux (-21,929), l'azote (-21,462) et les anthocyanes (-14,992).

L'axe 2 est représenté par les principes actifs avec une contribution positive, la plus élevée étant représentée par les réserves énergétiques d'*A. citricola* (+5,7824), suivie par celles d'*A. gossypii*, (<1%) et enfin les sucres totaux et l'azote (<1%). Sur le côté négatif de cet axe, la plus faible contribution est représentée par la proline (-3,3839), les C-glycosyl-flavones et les anthocyanes.

La classification hiérarchique ascendante basé sur le calcul de distances euclidiennes montre la présence de quatre groupes de statuts constitutifs différents dont deux sont statistiquement homogènes (groupe 1 et groupe 3) (Figure 6. 9) :

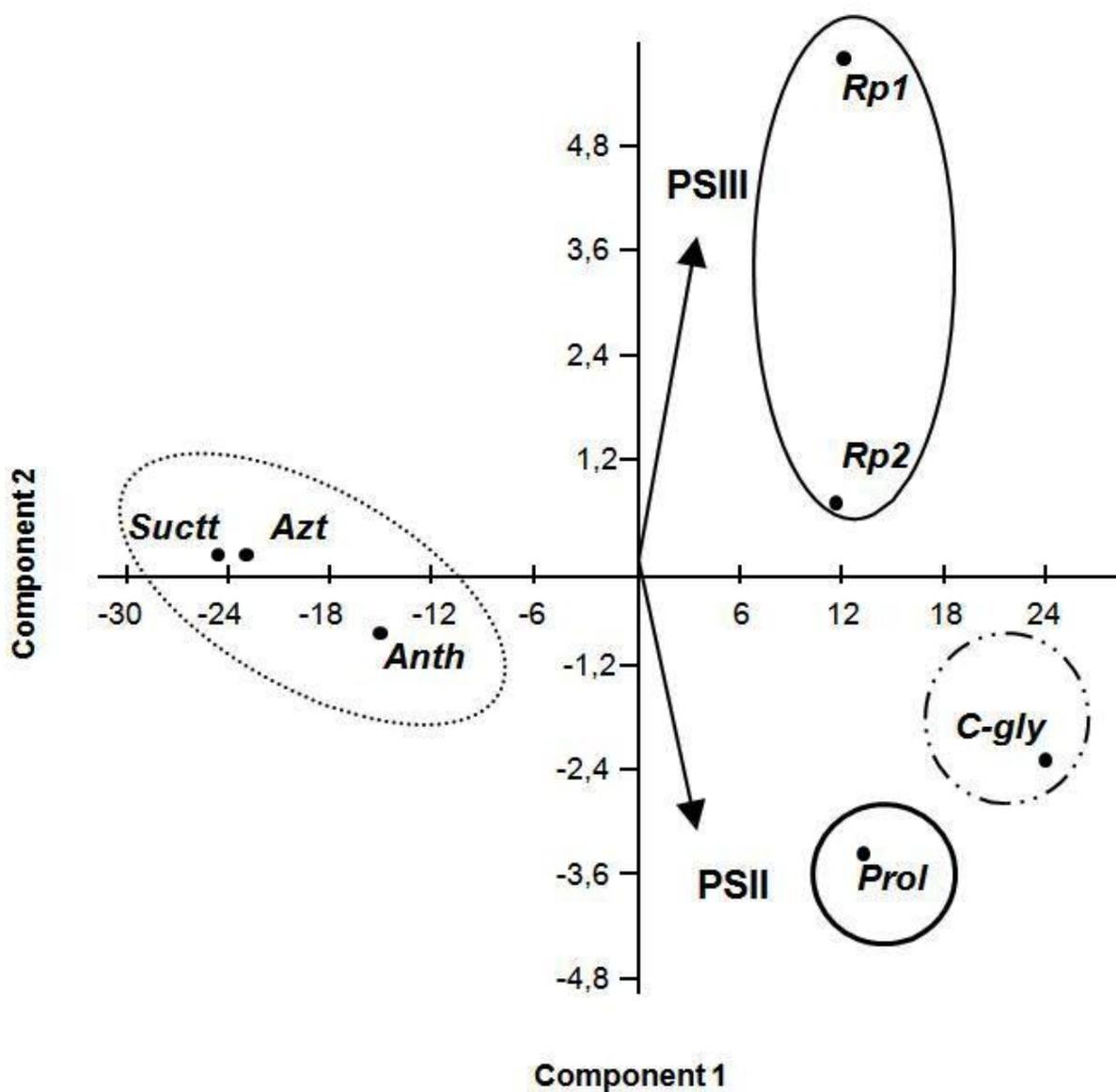
- Le premier groupe (groupe1) est corrélé avec la deuxième poussée de sève et à la proline.
- Le deuxième groupe (groupe 2) est corrélé avec la deuxième poussée de sève et aux C-glycosyls.
- Le troisième groupe (groupe 3) est de corrélé avec les réserves énergétiques des deux espèces étudiées (*A. citricola* et *A. gossypii*) et la troisième poussée sève.

- Le quatrième groupe (groupe 4) représenté par les sucres totaux, l'azote et les anthocyanes n'est corrélé avec aucune des deux poussées de sève.



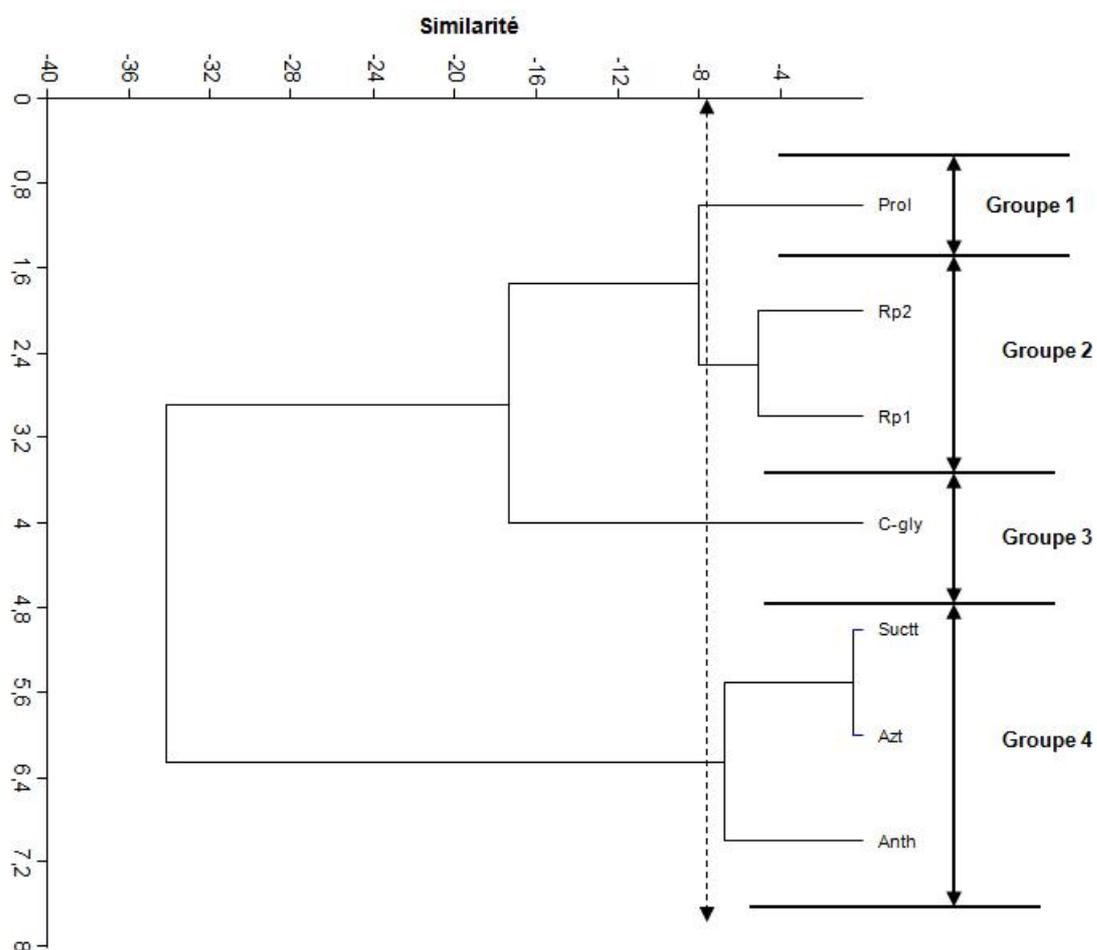
**Figure 6. 7:** Corrélations des réserves énergétiques et des principes actifs de la plantes hôte.

Rp1: *A. citricola*; Rp2: *A. gossypii*; Prol : *proline* ; C-gly : *C-glycosyl* ; Suctt : *sucre totaux* ; Azt : *azote total* ; Anth: *anthocyanes*;



**Figure 6. 8:** Projections des réserves énergétiques aphidiennes et des constituants foliaires alimentaires et non alimentaires sur les deux axes de l'ACP.

**PSII:** la 2<sup>ème</sup> pousse de sève ; **PSIII:** la 3<sup>ème</sup> pousse de sève ; Rp1: *A. citricola*; Rp2: *A. gossypii*; Prol : *proline* ; C-gly : *C-glycosyl* ; Suctt : *sucre totaux* ; Azt : *azote totale* ; Anth: *anthocyane*.



**Figure 6. 9:** Classification ascendante hiérarchique des échantillons sur les pousses des sèves (calculé par le biais des distances euclidiennes à partir des coordonnées des stations d'étude sur les trois axes de l'ACP).

Rp1: *A. citricola*; Rp2: *A. gossypii*; Prol : *proline* ; C-gly : *C-glycosyl* ; Suctt : *sucre totaux* ; Azt : *azote totale* ; Anth: *anthocyane*.

## CHAPITRE 7

### DISCUSSION GENERALE

L'étude de la synthèse climatique, en particulier l'indice d'EMBERGER classe la région d'étude à l'étage bioclimatique subhumide à hiver frais, par contre SELTZER [41] à classé cette région à l'étage bioclimatique subhumide à hiver doux.

Ces variations climatiques agissent sur le développement phénologique de la plante ainsi que sur la biologie de l'insecte. D'autres paramètres climatiques peuvent déséquilibrer les activités biologiques des êtres vivants (plante, insecte) durant la période d'étude. On note une température élevée pendant la saison estivale ( $T_{\max}$  34,5 à 36°C;  $T_{\min}$  17 à 23°C) qui influence les activités biologiques de la plante et des aphides. La pluviométrie enregistré pendant cette période est de l'ordre de 7,7 mm; donc on assiste à un déficit hydrique qui n'est pas comblé même par les irrigations effectuées (APPENDICES J<sub>1et2</sub>) et qui peut être aussi aggravé par la concurrence des mauvaises herbes et ce, suite à l'absence des entretiens, ce qui se répercute sur la biochimie et la physiologie des feuilles ainsi sur la biologie des insectes. DAJOZ [273], explique que la discontinuité et la variabilité du milieu naturel constituent un facteur limitatif essentiel de pullulation des organismes. BENASSY [249], a signalé que les différentes phases caractérisant le développement des jeunes larves depuis l'éclosion jusqu'à leur fixation sont sous l'étroite dépendance des conditions climatiques.

Afin de comprendre les relations entre la qualité phytochimique de l'hôte et leurs effet de sur l'allocation des réserves énergétiques d'*Aphis citricola* et d'*A. gossypii*. Notre choix des populations des deux aphides étudiés sur le clémentinier a été en fonction de leur nature de reproduction, et de leur disponibilité pendant une longue période [250]. Cela nous a permis d'évaluer sur

le plan qualitatif et quantitatif leurs réserves énergétiques et leur évolution entre deux saisons caractérisées par la deuxième et la troisième poussée de sève. En effet, l'évolution des réserves énergétiques dans le temps, est l'un des éléments clés pour l'évaluation et la compréhension de la dynamique des populations, puisqu'elles reflètent l'évolution temporelle de l'effectif de la population [251].

Les résultats montrent que les réserves glucidiques sont représentées par des quantités très infimes, de l'ordre de 0,06% pour *Aphis citricola* et 0,04% pour *A. gossypii*. Ce n'est pas le cas pour les lipides dont les teneurs dépassent les 99%, chez les deux espèces de pucerons. D'après la bibliographie, cette différence pourrait être due à la méthodologie de dosage des sucres utilisée [240], qui a permis de doser dans le cadre de l'étude les mono et oligo-saccharides mais pas le glycogène (sucre complexe). Par ailleurs, l'extraction des glucides doit se faire directement à partir de l'hémolymphe ou une partie de l'insecte [107] plutôt que l'individu en entier. Nous pensons que la méthode adoptée n'a pas mis en valeur [252] les quantités de sucres complexes chez les pucerons étudiés. Nous avons utilisé en outre des insectes entiers en raison de leur petite taille, ce qui s'est révélé un inconvénient pour le dosage des teneurs glucidiques, d'où probablement les très faibles quantités obtenues.

Les réserves énergétiques lipidiques sont par contre plus prononcées que les réserves glucidiques. Les lipides provenant des hydrates de carbone issus de l'alimentation sont synthétisés dans le corps gras [116]. Etant la source d'énergie prédominante pendant le développement embryonnaire des insectes, une quantité suffisante de lipides doit être mise en réserve dans les ovocytes en développement pendant l'ovogenèse [112, 253].

La variation temporelle significative des réserves énergétiques glucidiques pendant les deux poussées de sève peut être expliquée au niveau métabolique par :

- Les exigences métaboliques en terme d'énergie de la bactérie symbiotique *Buchnera* pour qu'elle puisse produire des enzymes glycolytiques afin d'assurer son développement. [254].

- Le phénomène de mue, celui ci a un impact considérable sur le métabolisme des sucres car la chitine est le composant majeur de la cuticule et sa vitesse de synthèse est régulée par la concentration du tréhalose dans l'organisme. Le tréhalose avec les protéines est également synthétisé dans le corps gras [116]. La rapide disponibilité du tréhalose dans l'hémolymphe assure ainsi que les besoins en énergie peuvent être satisfaits [118]. Cependant, la nature transitoire des changements dans les concentrations de glucose dans l'hémolymphe des insectes limitent l'utilité du glucose comme indicateur de stress.

Ces réserves énergétiques fournissent des explications évolutives sur les traits d'histoire de vie, interprètent la diversité et la complexité du cycle de vie d'une espèce, et élucident le mécanisme d'allocation des ressources destinées à la croissance au maintien des fonctions somatiques et aux performances reproductrices "effort de reproduction" [255 ; 256 ; 257].

Dans les conditions environnementales, les plantes sont souvent sujettes à des facteurs extrêmes : hydriques, thermiques, pédologiques et autres, engendrant différents types de stress [258 ; 259]. La nutrition de la plante se trouve sous la dépendance, non seulement de sa constitution génétique [260], mais aussi d'une série de facteurs écologiques et cultureux qui sont susceptibles d'influencer la composition de la sève [261]. Les composés chimiques (supports alimentaires et principes actifs), dans le feuillage des plantes hôtes, varient ainsi selon la maturation du feuillage [262] la nature du stress [14], et les actions anthropiques [263 ; 14].

A travers la quantification d'eau des feuilles échantillonnées, nos résultats montrent un déficit hydrique durant la PSII, qui tend à se stabiliser durant la saison automnale (PSIII) suite à une pluviométrie importante ( $P = 443,5$  mm), et une baisse des températures ( $T_{\max}$  28 à 17 °C;  $T_{\min}$  22 à 10,5°C) qui minimisent l'évapotranspiration. KUMBASLI [185], signale que le stress hydrique agit sur la photosynthèse, en diminuant l'indice foliaire et la durée de vie de la feuille, ainsi que sur l'accumulation de solutés [264]. En effet, la plupart des plantes devraient lutter pour survivre tout en simulant des changements significatifs que se soit sur

le plan morphologique que métabolique dont la diminution du potentiel osmotique reste l'action la plus prépondérante [201 ; 265 ; 266 ; 267] et l'influence sur la présence ou l'absence de ravageurs. CATES et ALEXANDER [268], 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 allomoniques (émission de volatiles attractifs tel que l'éthanol ou la modification du spectre de terpène), et kairomoniques (composés qui permettent aux arbres de repousser les attaques des ravageurs pionniers).

Les variations temporelles des supports alimentaires et des principes actifs, ne présentent pas de différence significative entre les feuilles attaquées et les feuilles non attaquées, ce qui a été confirmé par la comparaison des pentes. Au sein de la même saison, nous n'avons pas trouvé de différence significative entre les deux catégories de feuilles attaquées et non attaquées. Lors de notre expérimentation, le prélèvement des deux catégories foliaires en fonction de la présence et de l'absence des pucerons, a été réalisé sur le même arbre échantillonné. La meilleure procédure devrait être de faire des prélèvements des feuilles non attaquées sur des arbres sains. Or, la réalité sur le terrain est celle que le feuillage est exposé à une variabilité temporelle à différents facteurs d'ordre biotique et abiotique et l'évolution de constituants foliaires varie en fonction des conditions du milieu. Par ailleurs, avoir un témoin sain totalement indemne de l'attaque par les pucerons est une contrainte difficile à surpasser dans la nature. Donc, tous les constituants biochimiques chez les différentes catégories des feuilles ne présentant pas une variation non significative dans le temps peut être expliqué par le phénomène d'induction de la résistance de la plante qui modifie la balance des constituants en faveur des métabolites secondaires, ce qui se traduit par une augmentation de la capacité de la plante à se défendre contre un large spectre d'agents pathogènes [269].

Les changements qui affectent la plante sous l'action mécanique des herbivores, induisent des réponses pouvant être complexes et multiples [270]. Un facteur ou une conjonction de facteurs abiotiques affectant les plantes conduit à un déséquilibre entre les qualités nutritives et les capacités défensives de ces plantes HAIN, [271]; MATTSON et HAACK [272]; LARSSON [273]. L'alimentation

des pucerons représentent un paradoxe dans les études de résistance des plantes aux stress biotiques, lors de la prise alimentaire par la pénétration du stylet [274]. Il y aura une libération d'une salive aqueuse contenant des peroxidases, des  $\beta$ -glucosidases, et d'autres générateurs de signaux enzymatiques dans le phloème, provoquant une réaction d'hypersensibilité [275], ce qui peut modifier l'expression inductible de la plante. Ces signaux impliqués dans la défense contre les agents pathogènes [276; 277; 278], peuvent fortement influencer le développement, le comportement alimentaire et la reproduction des pucerons [279].

ROSS, [169] a observé que l'inoculation d'une feuille de tomate avec une souche du virus de la mosaïque de la tomate (TMV) avait pour effet d'augmenter la résistance à ce virus des autres feuilles saines de la même plante, mais surtout que ces feuilles devenaient plus résistantes à d'autres agents pathogènes. Ce phénomène est appelé résistance systémique acquise ("systemic acquired resistance", SAR) ou "résistance systémique induite" ("induced systemic resistance", ISR).

D'autre part, la comparaison des pentes a montré une différence significative entre les différentes catégories des feuilles en fonction des différentes saisons ce qui corrobore avec les résultats obtenus dans les travaux de DENNO et MCCLURE [280]. En effet, la qualité du feuillage d'arbre change sur les branches dans différents arbres, exposées au soleil et à l'ombre dans la voûte de la forêt. De même, la qualité foliaire change à plusieurs échelles de temps : interannuel, saisonnier, et journalier [281].

Nos résultats ont montré de faibles teneurs azotées malgré un épandage d'urée (46%) sous forme de granulés (APPENDICE J<sub>1</sub>) durant la deuxième poussée de sève. En effet, la teneur moyenne en azote dans les feuilles d'agrumes se situe entre 2 et 3% [282.]. Or, d'après nos observations, la valeur moyenne de l'azote n'a pas dépassé les 0.5% durant toute notre expérimentation sur le terrain. Ceci pourrait être expliqué par l'utilisation de l'azote par la plante pour la synthèse des métabolites de défense [283] contre les pucerons afin de surmonter le stress hydrique [201] durant la PSII. La plupart de ces osmolytes

sont des composants azotés, ce qui traduit l'importance du métabolisme azoté sous des conditions stressantes [193].

Même la concurrence des mauvaises herbes au profit de cette fertilisation (APPENDICE J <sub>1et 2</sub>), a contribué à la diminution de la teneur en azote. Selon MARSCHAL, [284] et MARSCHAL, [285], d'autres facteurs influencent la composition minérale des feuilles tels que le porte-greffe, le choix du rameau, l'âge des feuilles, et l'application d'engrais. Les chercheurs ont montré de plus que l'application d'un élément minéral entraîne une modification de la composition foliaire d'un autre élément présent [30].

D'après l'état du verger étudié, nous pensons que les racines se trouvaient dans un état défavorable pour leur bon fonctionnement, étant donné l'âge de la plantation et le mauvais entretien du verger selon nos observations. Selon LOUSSERT [1], la répartition des racines dans le sol dépend surtout des caractéristiques de celui-ci en effet et de son mode d'entretien. PRALORAN [30], ajoute que l'importance de l'aération du sol dans la croissance des racines est très importante, et que l'élongation des racines était totalement arrêtée quand l'atmosphère du sol était faible en oxygène.

Les résultats montrent des quantités moyennes élevées des sucres (0,6 mg/g M.F.). La plante a été soumise à différents types de stress d'ordre biotique et abiotique. La synthèse des sucres est dépendante de l'état sanitaire de la plante et des conditions climatiques [286]. Le déficit hydrique, affecte le métabolisme des hydrates de carbone, [214] ; avec une accumulation des sucres et d'autres composés organiques. Les changements dans le contenu des carbohydrates sont particulièrement importants vu leur relation directe avec les processus physiologiques tels que la photosynthèse, la translocation et la respiration. Les principaux sucres solubles accumulés sous stress sont le glucose, le fructose et le saccharose [212].

Le test de l'ACP a été effectué afin de vérifier si le rythme de développement des pucerons observés sur le clémentinier doit s'ajuster à la phénologie de l'hôte pour profiter des meilleures conditions et maximiser sa

fitness. Ce phénomène est connu pour des espèces folivores [287]. Nous avons observé quatre groupes dont deux groupes sont représentés par des quantités de proline et de C-glycosyls, corrélés positivement avec la 2<sup>ème</sup> poussée de sève (PSII). Un troisième groupe est représenté par les réserves énergétiques des pucerons corrélées à la 3<sup>ème</sup> poussée de sève (PSIII). Le quatrième est représenté par des teneurs en sucres totaux, en azote total et en anthocyanes non corrélés avec aucune des deux poussées.

Pendant la poussée de sève estivale, on assiste à un déficit en eau ce qui se traduit par la synthèse de la proline par la plante marquée par une stabilité d'expression durant cette période. Nous avons en effet mis en évidence une longue période sèche s'étalant de mi mars à octobre de l'année d'étude (Figure V.3). MONNEVEUX et NEMMAR [209] ont confirmé que la dynamique, l'accumulation et l'évolution des teneurs foliaires en proline dépendent très étroitement de l'eau disponible (pluviométrie). Selon MUTIN [44], les agrumes ont besoin d'une quantité annuelle qui varie entre 600 et 1200mm. La proline peut aussi être accentuée par la pression voire l'agression des pucerons durant les deux poussées de sève afin d'assurer leur maintien.

D'après la synthèse de MATTSON et HAACK [191], la qualité nutritive des feuilles s'améliore généralement en cas de sécheresse, par suite de l'augmentation de la concentration en sucres ou en composés azotés solubles entrant d'une part dans la synthèse des acides aminés et d'autre part dans la composition des tannins [20 ; 288;289; 290]. Cependant, les sécheresses provoquent également souvent une augmentation de la concentration en certains composés secondaires dans les tissus des plantes. Cette concentration neutraliserait fréquemment l'effet bénéfique de la qualité nutritive. GERSHENZON [196] signale que sous l'effet d'un stress hydrique, la quantité des composés de défense, tels que les glycosides cyanogéniques, les glucosinolates et autres composés sulfurés, les alcaloïdes et terpénoïdes auraient tendance à augmenter.

En outre, la plante synthétise suite à l'impact de bioagresseurs les mêmes substances soit dans un but de défense contre ces derniers, soit pour un rôle

adaptatif [291]. La synthèse des métabolites entomotoxiques tels que les phénols, les huiles essentielles, etc..., varie également en nature et en intensité selon la saison [292; 293]. Chez les agrumes, les flavonoïdes figurent parmi les principaux composés phénoliques [294]. Ce sont des polyphénols glycosylés [160] qui réduisent la biodisponibilité des protéines et d'autres éléments nutritifs essentiels [295] pouvant provoquer des perturbations physiologiques chez l'insecte. Ces composés phénoliques inhibent en outre la croissance des bactéries Gram<sup>+</sup> et Gram<sup>-</sup> (bactérie symbiotique), comme ils sont capables d'induire la désorganisation de la membrane bactérienne [296]. Ceci peut perturber la relation symbiotique, en ce sens que les pucerons ne peuvent pas combler leur nutrition et survivre sans la bactérie *Buchnera* [297]. Cette bactérie confère aux aphides la croissance, développement normal, la fécondité des pucerons, la résistance aux ennemis naturels, la tolérance à la chaleur et la capacité d'utilisation des plantes hôtes [298]. Les pucerons aposymbiotiques, traités par des antibiotiques, ont une croissance lente et n'ont pas de progéniture [297].

Nos résultats montrent une augmentation des C-glycosyle flavones durant la PSII qui ont influencé la bonne évolution des réserves énergétiques des deux espèces de pucerons qui se sont maintenus sur la plante durant cette période. BEN HALIMA-KAMEL [299] signale qu'au cours de la seconde poussée de sève, le niveau de la population aphidienne est plus élevé que celui de la première et de la troisième poussée végétative.

Les substances toxiques élaborées par la plante sont considérées comme perturbateurs de l'utilisation de l'énergie [228] en entraînant une déperdition ou une mauvaise gestion de l'énergie [300]. La qualité d'énergie va déterminer donc la survie de l'individu, sa vitesse de croissance et sa fécondité, ce qui détermine le maintien de la population [250; 300].

D'autre part, on peut expliquer les fluctuations des réserves énergétiques 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 [301] et vont moduler l'optimum écologique des femelles [302]. 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 [289]. 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 [289].

L'impact des composées secondaires des plantes sur le développement des insectes peut prendre trois aspects selon PHILOGENE et ARNANSON [303], la présence de substances indigestes d'une part, va réduire les possibilités d'assimilation et donc l'accès aux molécules nutritives nécessaires à un développement normal. Les insectes sont capables d'affecter directement d'autre part l'intégrité des cellules, et donc des fonctions digestives intrinsèques qui entravent le développement larvaire de façon significative. Une troisième voie enfin par laquelle s'exerce l'action de ses composés sur le développement des insectes est celle des régulateurs de croissance (phytoecdysones, précocènes, analogues de l'hormone juvénile et anti-hormones) qui sont tous capables d'affecter à des degrés divers la croissance, le développement, la diapause, la métamorphose ou la reproduction chez les insectes.

L'ingestion des composés de défense produits par la plante hôte sera déterminante sur le nombre d'individus «Fitness» qui formera la génération suivante. Ainsi, le poids des larves et des chrysalides de la tordeuse des bourgeons de l'épinette : *Choristoneura fumiferana* est positivement corrélé avec le nombre d'œufs produits [304; 305].

Une stratégie viable est développée par les insectes face à des substances toxiques présentes dans la plante soit par emmagasinement soit par désintoxication [306]. De ce fait, la diminution des réserves peut être observée suite à un phénomène d'épuisement après une longue période d'exposition des pucerons aux principes actifs. Des mécanismes de désintoxication importants seront mis en place pour diminuer ou éviter les dommages causés par les métabolites de la plante hôte. Ces mécanismes coûtent en énergie et en ressources qui ne sont alors plus disponibles pour la construction des réserves énergétiques : dans le cas de nos résultats observés dans la PSII.

Un autre phénomène, non rare, constitue un dernier mode de défense pour l'individu amené à se nourrir d'une plante ayant des composés toxiques, il s'agit de la séquestration des produits phytochimiques [306] qui serviront de précurseurs pour l'élaboration de phéromones ou de substances de croissance et de développement.

On peut aussi expliquer le maintien des pucerons durant la PSII et la PSIII même en présence des fluctuations des supports alimentaires et non alimentaires, soit par l'hypothèse de SIMPSON et SIMPSON, [147], selon qu'un insecte confronté à un déséquilibre nutritionnel peut essayer de le compenser de trois façons différentes. Il, peut ainsi soit augmenter son ingestion, soit changer sa source de nourriture (changement d'hôte, de partie de la plante) ou encore ajuster son efficacité de conversion de sa nourriture. La capacité physique des espèces peut également engendrer un changement de réponse face au toxique par un « effet de sélection », c'est-à-dire que les plus faibles meurent les premiers, [307]. Au niveau des Citrus, *A. citricola* constitue l'espèce dominante du fait de sa plante hôte primaire [308] et son niveau d'infestation dépend de la poussée de sève. Quant aux autres aphides observés sur agrumes *A. gossypii*, *M. persicae*, *A. fabae*, *A. craccivora* et *A. nerii* ce sont des ravageurs occasionnels et d'importance secondaire [95, 308].

Durant la psIII, l'augmentation des teneurs glucidiques et lipidiques surtout, pourrait s'expliquer par un gain d'énergie soit pour la croissance des larves, soit pour une accumulation de ces réserves chez les femelles aptères hivernantes au niveau de la plante hôte. La fécondité et le poids peuvent en effet être modifiés chez beaucoup de pucerons [237] en raison de 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, d'où une variation de la dépendance de ces opophages et leur maintien sur le feuillage, comme il a été observé par [63] sur les feuilles de peuplier.

Vers la fin de la PSIII, on assiste à la fin du cycle végétatif, (repos végétatif) de la plante. On remarque à cette période une augmentation des réserves

énergétiques. Cette observation pourrait résulter d'une stimulation de la croissance, soit dans un but d'atteindre la maturité sexuelle plus rapidement chez les femelles hivernantes ou pour la formation d'individus ailés émigrants vers d'autres hôtes potentiels ou occasionnels. Lorsqu'elle est limitée par le temps, une femelle aura tendance à pondre ; lorsqu'elle est limitée par les oeufs, elle préférera se nourrir pour reconstituer ses réserves [309 ; 310]. Le compromis à réaliser entre les différentes activités se traduit également par l'influence des réserves énergétiques sur les comportements autres qu'alimentaires. En effet, leur variation temporelle induit des changements dans le comportement sexuel [311 ; 312], parental [113 ; 314 ; 315], social [316] ou migratoire [317], car en fonction de ses réserves, l'individu devra choisir entre s'alimenter ou réaliser une autre activité. DEDRYVER [62], qualifie la modification des densités des populations par l'antibiosis qui d'après lui, joue un rôle important en modifiant un grand nombre de facteurs clés de la dynamique des populations dont en particulier la fécondité des pucerons et leur espérance de vie. L'antibiosis selon cet auteur s'exerce à l'échelle de l'espèce végétale en fonction de son évolution physico – phénologique : Globalement, une plante jeune est plus sensible à la contamination par les ailés et les aptères et y sont plus fréquents. Cette sensibilité diminue quant la plante acquiert une certaine maturité pour augmenter à nouveau à la sénescence.

Durant notre expérimentation, nous avons remarqué une absence du puceron *A.gossypii* à partir de la fin d'octobre (28/10/2008, figure VI.2<sub>b</sub>), alors que le puceron *A.citricola* persiste jusqu'à la fin du mois de novembre (22/11/2008, figure VI.2<sub>a</sub>). Cette dernière espèce s'adapte durant un temps plus prolongé par rapport à *A. gossypii* selon nos observations et semble avoir une meilleure faculté de maintien. On peut proposer les hypothèses suivantes :

- La disparition d'*Aphis gossypii* pourrait être due à un phénomène de détoxification de l'insecte qui n'est probablement pas assez efficace ce qui induit une diminution du taux de production pouvant mener à la mort [107].
- Le partage des ressources par les deux espèces aphidiennes entraîne une compétition interspécifique.

ROITBERG et PROKOPY, [318] mentionnent que la réduction de la survie peut être engendrée par un partage des ressources les plus efficaces conduisant à une compétition interspécifique soit pour l'espace, soit pour les ressources nutritives, entre les espèces afin d'assurer leur maintien. En effet, les populations naturelles constituent des systèmes complexes dont les propriétés dépendent et évoluent en fonction des paramètres biotiques et abiotiques de leur habitat et une densité dépendantes des ressources alimentaires engendrant une compétition pour ces ressources entre autres l'augmentation du risque de compétition intraspécifique de la progéniture.

## CONCLUSION GENERALE

L'évolution des agro-écosystèmes est fortement perturbée par les changements environnementaux dont l'impact des bioagresseurs et/ou les activités anthropiques englobant les divers traitements phytosanitaires, la fertilisation et d'autres pratiques culturales. La connaissance des interactions entre les ravageurs et leurs plantes hôtes sont un préalable nécessaire pour l'amélioration des techniques de lutte et le développement de méthodes alternatives à la lutte chimique.

Les aphides étant des phytophages à impact économique majeur en Algérie, nous avons contribué dans cette étude à étudier la relation réponse de la plante face à l'opophagie de deux espèces de pucerons inféodés au clémentinier : *Aphis citricola* et *Aphis gossypii*. Nous avons réalisé des dosages des réserves énergétiques chez ces pucerons parallèlement avec des dosages des supports alimentaires et des principes actifs. De ce fait, nous nous sommes posés la question de savoir si la variation de la qualité phytochimique des feuilles des agrumes au cours de deux poussées de sève a un effet sur le remaniement des réserves énergétiques d'*Aphis citricola* et *A. gossypii* et quelle était la réponse adaptative de chaque espèce aphidienne par rapport à ces changements.

En effet, la réponse de la plante face à l'attaque des insectes varie en fonction de la pression des attaques des ravageurs et d'autres composantes

environnementales telles que la température, la pluviométrie qui peuvent accentuer la réponse de la plante hôte.

L'étude est réalisée dans un verger de clémentinier situé en Mitidja centrale, au niveau de l'étage bioclimatique subhumide à hiver frais. La synthèse climatique élaborée sur la décennie 1998-2008 nous montre une période sèche de 5 mois et deux périodes humides notamment de novembre jusqu'au début de février. Au courant de la deuxième poussée de sève de l'année d'étude, nous avons constaté un déficit hydrique prononcé qui a été comblé par les premières pluies enregistrées vers le début de septembre durant la troisième poussée. Les températures minimales durant la période estivale sont de l'ordre de 23°C ce qui a influencé les activités biologiques de la plante et des aphides.

Nos résultats sur l'interaction clémentinier-pucerons montre une variabilité dans les réserves énergétiques entre les individus des pucerons étudiés, corrélées avec les poussées de sève. Ces variations phytochimiques varient considérablement selon les différentes poussées, et l'état de la plante à ces périodes, et sont susceptibles de marquer un effet éventuel sur les réserves énergétiques aphidiennes. Les quantités de réserves énergétiques lipidiques sont plus prononcées que celles des réserves glucidiques avec des teneurs dépassant les 99%. Leurs variations temporelles sont significatives pour les deux espèces. L'utilisation du modèle de Motomura a montré que les réserves énergétiques sont différentes significativement selon l'espèce et selon la poussée de sève simultanément, pour les lipides et entre les deux poussées seulement pour les glucides.

Nos résultats ont montré que le dosage des glucides en tant que biomarqueur a été peu perceptible. En outre, un seul biomarqueur en l'occurrence celui que nous avons dosé à savoir les lipides ne semble pas suffisant pour l'analyse et la compréhension du stress biotique qui expliquerait l'adaptation et le maintien des populations aphidiennes, et leurs variations durant le cycle

biologique sur le clémentinier. La variabilité temporelle, intraspécifique et interspécifique des biomarqueurs chez les pucerons méritent donc des recherches spécialisées en rapport avec d'autres constituants biochimiques des feuilles sous l'effet de différents stress environnementaux.

Les variations temporelles des supports alimentaires et des principes actifs, ne présentent pas de différence significative entre les feuilles attaquées et les feuilles non attaquées. Le modèle de Motomura (1932) nous a permis de clarifier les variations des constituants phytochimiques au niveau des deux poussées de sève, d'une part pour les sucres totaux qui ont révélé une différence significative entre les feuilles attaquées de la PSII et les feuilles non attaquées de la PSIII, et aussi entre les feuilles non attaquées de la PSII et les deux catégories foliaires durant la PSIII.

Selon la poussée de sève, la comparaison des pentes des deux catégories foliaires pour la quantité d'azote total a révélé une différence significative, entre les feuilles non attaquées de la PSII et les feuilles non attaquées de la PSIII. Les quantités de proline comparées montrent une différence significative entre les deux catégories de feuilles de la deuxième poussée d'une part, et entre la catégorie foliaire non attaquée et les deux poussées d'autre part.

En ce qui concerne les flavonoïdes, nous avons mis en évidence une différence significative des C-glycosyls inter saison estivale et automnale pour les feuilles attaquées. En outre, nous avons trouvé une différence significative entre les feuilles attaquées de la poussée estivale et les feuilles non attaquées de la poussée automnale pour les quantités d'anthocyanes.

Les quantités des constituants de réponse au stress et de défense sont corrélées positivement avec la deuxième poussée de sève PSII et vont influencer sur les quantités de réserves énergétiques des deux espèces aphidiennes *A. citricola* et *A. gossypii* durant la PSII. Ces quantités ont tendance à diminuer durant la PSIII, ce qui induit une augmentation des réserves chez les deux pucerons et par conséquent leur maintien sur la plante hôte. Les teneurs en

sucres totaux, en azote total et en anthocyanes sont par contre constamment présents dans la plante et n'ont pas d'influence de part et d'autre.

Nous concluons à travers cette étude que les constituants de défense étudiés du clémentinier ont une action sur l'accroissement ou la réduction des teneurs en réserves énergétiques des pucerons étudiés selon la poussée de sève. En effet, l'observation principale à tirer de cette étude est la faible allocation des teneurs en lipides surtout durant la PSII. Il serait donc judiciable durant cette période estivale d'intervenir en matière de lutte appropriée. Nous proposons d'utiliser un traitement aphicide en début ou en fin de saison selon les infestations. Une alternative complémentaire serait de planter dès la fin de la saison printanière des plantes à floraison tardive en bordures des vergers pour l'attraction des différentes espèces de syrphes dont les larves sont des prédateurs actifs des pucerons.

Il serait intéressant par ailleurs d'étudier l'influence d'autres constituants foliaires protéiques et/ou minéraux ainsi que d'autres métabolites secondaires tels que les tannins, les mono et les sesquiterpènes comme médiateurs chimiques afin de mieux comprendre l'interaction entre le ravageur et sa plante hôte d'une part et les relations tritrophiques plantes-insectes-auxilliaires, d'autre part.

Par ailleurs, nous proposons d'utiliser d'autres méthodes de dosage des sucres complexes des insectes pour évaluer l'effet du biomarqueur le plus efficace lipidique et/ou glucidique qui pourrait pris en compte dans l'estimation des densités de populations aphidiennes.

## APPENDICE A

### LISTE DES SYMBOLES ET D'ABREVIATIONS

Aba	: Acide abscissique
ACP	: Analyse en Composantes Principales
ADN	: Acide désoxyribonucléique
ARN	: Acide ribonucléique
ARN <sub>m</sub>	: Acide ribonucléique messagers
°C	: Degrés Celsius
DEB	: Dynamic energy budget
Do	: Densité optique
E. U. R.L.	: Entreprise Unipersonnelle à Responsabilités Limités
g	: Gramme
GAS	: General adaptation syndrome
GDSP	: groupe de developpement des semences et plantes
I.T.A.F	: Institut Technique d'Arboriculture Fruitière de Boufarik
Km	: Kilomètre
LTP	: Protéines de transfert de lipides
MF	: Matière fraîche
MS	: Matière sèche
m	: Mètre
µg	: Microgrammes (=10 <sup>-6</sup> grammes)
µl	: Microlitre
mg	: Milligramme
mm	: Millimètre
ml	: Millilitre
min	: minute
N°	: Numéro
OEPP	: Organisation européenne et méditerranéenne pour la protection du plante
P	: Pluviométrie
PR	: Pathogenesis-related proteins
PSII	: Deuxième poussées de sève
PSIII	: Troisième poussées de sève
PS	: Poids Sec
RH	: Réaction hypersensible
SA	: Acide Salicylique
TCA	: Tri-Chloro-Acide
T°max	: Température maximale
T° min	: Température minimale
T° moy	: Température moyenne
Tr / mn	: Tours / minutes

## APPENDICE B (1)

**Tableau B. 1** : Effets des déficiences et excès de quelques éléments minéraux sur agrumes [59, modifié]

Eléments		Symptômes	Lutte
<b>carences</b>	Azote	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réduction de la production.</li> <li>• Décoloration plus ou moins marquée.</li> <li>• Le limbe est vert clair à vert jaunâtre, les nervures fortement décolorées.</li> <li>• Chute des feuilles et dessèchement des rameaux.</li> </ul>	Un apport régulier d'azote sous forme de nitrate d'ammoniaque, urée, etc.
	Manganèse	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Taches de décoloration réparties sur tout le limbe entre les nervures secondaires (Figure B.1).</li> </ul>	Pulvérisation foliaire de sulfate de manganèse
	zinc	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Feuilles petites et pâles.</li> <li>• Réduction de la photosynthèse.</li> <li>• Réduction de la floraison et limitation de la nouaison (Figure B.2).</li> </ul>	Apport de zinc
<b>Excès</b>	Sels (sodium, magnésium)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jaunissement ou brunissement de la pointe de la feuille.</li> <li>• Des taches nécrotiques sur le limbe.</li> <li>• Dépérissement rapide des jeunes arbres (Figure B.3).</li> </ul>	Éviter les plantations dans les zones chargées en eau concentré en sel
	Bore	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Décoloration jaunâtre des pointes des feuilles.</li> <li>• Taches nécrotiques.</li> <li>• Sécrétions gommoses à la face inférieure des feuilles.</li> </ul>	Proscrire l'utilisation d'eaux chargées en bore

**APPENDICE B (2)**

**Figure B.1:** Carence en manganèse [59].



**Figure B.2:** Carence en zinc ([59]



**Figure B.3:** Carence en magnésium [59].

## APPENDICES C (1)

Nom	Agent causal	Symptôme	Lutte	Références
<b>Tristeza</b>	<p><i>Citriovirus viatoris</i>_FAW CETT</p> <p>Ou</p> <p><i>Rimocortius viatoris</i> Holmes</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nécrose du phloème dans la région du point de soudure greffon-porte greffe.</li> <li>- Dégénérescence des tubes criblés et des cellules compagnes au- dessous du point de greffage.</li> <li>- Coloration bronzée des feuilles, souvent accompagnée d'un enroulement du limbe.</li> <li>- Dépérissement de tout l'arbre, généralement très rapide quand le vecteur pullule.</li> </ul> <p style="margin-left: 40px;">❖ Très transmissible par les insectes, en particulier les pucerons et surtout le puceron noir des agrumes. (Figure C.1)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Remplacement progressif de la porte greffe par la greffe en pont.</li> <li>- Utilisation de combinaisons greffon-porte greffe tolérantes ou résistantes.</li> <li>- Lutter contre les pucerons vecteurs <i>Toxoptera citricidus</i> Kirkaldy de la Tristeza.</li> <li>- Introduire matériel végétal indemne</li> </ul>	[1 ; 4 et 60]
<b>Stubborn</b>	<p><i>Spiroplasma citrus</i></p> <p>Ou</p> <p><i>Citriovirus pertinaciae</i> Fawcett</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Augmentation anormale du nombre de brindilles desséchées et raccourcissement des entre-nœuds dans les jeunes ramifications sous forme de balais de sorcière.</li> <li>- Déformation du limbe qui prend l'aspect d'une cuillère.</li> <li>- Déformation des fruits qui prennent l'aspect d'une glande de chêne avec une coloration inverse.</li> </ul> <p style="margin-left: 40px;">❖ transmis par les cicadelles, par greffage (Figure C. 3 et 4)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilisation de greffons sains d'origine nucellaire.</li> <li>- Les arbres très infestés doivent être arracher et brûlé</li> </ul>	[1 ; 4]

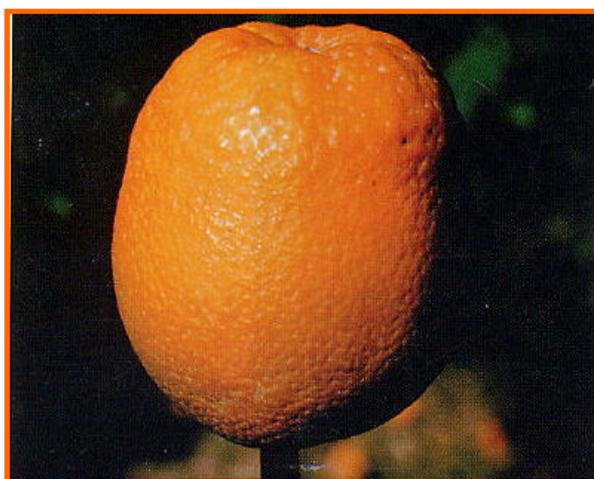
## APPENDICES C (2)



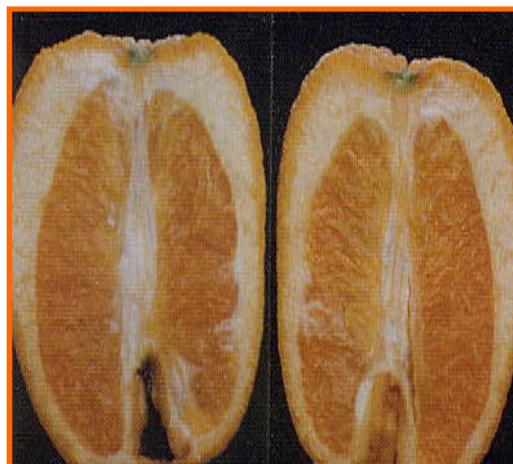
**Figure C.1:** Dépressions allongées sur tronc, Symptômes de *Tristeza* [4]



**Figure C.2:** Ecaillage de l'écorce, Symptômes de la psorose parasitaire [4]



**Figure C.3 :** Dégâts de stubborn sur les agrumes déformations de fruits. [319]



**Figure C.4 :** Dégâts de stubborn sur les agrumes : Un épaissement de la partie pédonculaire et amincissement de la partie styloïde. [319]

## APPENDICES C (3)

Nom	Agent causal	Symptôme	Lutte	Références
<b>Psorose</b>	<i>Citrivir psorosis</i> Faw	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Formation d'écaillés : manifestation typique de la maladie,</li> <li>- Ecoulements de gomme qui peuvent accompagner la formation des écaillés d'écorce.</li> <li>- Formation de desquamations, de dépressions, et des invaginations sur le tronc.</li> </ul> <p>On distingue deux types :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Psorose écaillée alvéolaire ou concave</li> <li>➤ Psorose en poche ou Blid pocket.</li> <li>➤ Panachure infectieuse.</li> </ul> <p>❖ Toutes les formes de psoroses sont transmises par greffage et par pépins. (Figure C. 2)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La meilleure méthode de lutte est préventive par l'utilisation de greffons indemnes.</li> </ul>	[4 et 60]
<b>Exocortis</b>	<i>Citrus exocortis viroid</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ecailllements de l'écorce</li> <li>- Des enroulements foliaires</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- L'utilisation contrôlé et certifié.</li> </ul>	[320]
<b>Xyloporose</b> (cachexie CVd-II)	<i>Hop stunt viroid</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Une décoloration et un brunissement des tissus du phloème avec exsudation de gomme accompagné de trous dans le bois (stem pitting)</li> <li>- Craquèlements de l'écorce.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- désinfectés les outillages avec de l'hypochlorite de sodium.</li> </ul>	[321]

## APPENDICES D (1)

Nom	Agent causal	Symptôme	Lutte	Références
	<i>Pseudomonas syringae</i> Van Hall	<ul style="list-style-type: none"> <li>– lésions brunes ou noires se manifestent au point d'attache des pétioles.</li> <li>– nécrose superficielle de l'écorce qui s'étend au pétiole, au limbe et aussi au rameau.</li> <li>– feuille se fane et se dessèche.</li> </ul> <p style="margin-left: 20px;">❖ sa contamination est réalisée en hiver à la faveur des blessures causées par les frottements, les piqûres d'insectes ou les grêlons.</p>		[60]
	<i>Xanthomonas citri</i> (Hase) Dowson		– pulvérisations de bouillie bordelaise.	[60]
<b>Bactériose</b>	<i>Phytomonas syringae</i> VAN HALL	- Apparition des tâches de couleur noirâtre sur le pétiole de la feuille. (Figure D. 1)	- Dans le cas des pluies précoces, une pulvérisation de bouillie bordelaise est indiquée.	[4]

**APPENDICES D (2)****Figure D.1:** Bactériose [4].

## APPENDICES E (1)

Nom	Agent causal	Symptôme	Lutte	Références
<b>La gombose ou chancre du collet</b>	<p><i>Phytophthora citrophthora</i> Leonian</p> <p><i>P. parasitica</i> Dastur</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exsudations de gomme très abondantes, qui se produisent au printemps et en automne.</li> <li>- écorce affectée se dessèche et son épaisseur diminue avec une coloration forte du tronc.</li> <li>- Combium est envahie par une production gommeuse claire et limpide (Figure E. 1 à 3)</li> <li>- jaunissement des feuilles,</li> <li>- diminution de la récolte.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pour une attaque faible, appliquer sur les plantes malades un produit fongicide et cicatrisant.</li> <li>- Améliorer le drainage</li> <li>- Eviter les excès d'eau.</li> <li>- Eviter la culture des arbres non greffés ainsi que les porte-greffes sensibles,</li> <li>- les troncs doivent être dégagés de la terre et des débris,</li> </ul>	[4 et 36]
<b>Fumagine</b>	<p><i>Capnodium citri</i> BERK et DESM</p> <p><i>Capnodium citri</i> Berk. &amp; Desm.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Membranes veloutées noirâtres recouvrant les organes et qui gêne l'assimilation chlorophyllienne (Figure E. 5et 6).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eliminer les causes favorisant le développement de la fumagine (combattre les cochenilles, les pucerons et les aleurodes)</li> <li>- traiter avec de l'huile blanche tel que l'oliocin ou l'euphitane à raison de 20L/1000L.</li> </ul>	[4]
<b>Pourridié</b>	<i>Armillariella melle</i> KARST	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les feuilles jaunissent et tombent.</li> <li>- Les rameaux se dessèchent.</li> <li>- La présence d'un réseau de filaments mycéliens blanc devenant brun dans le sol. (Figure E. 7)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Arrachage des arbres malades.</li> <li>- Eviter la plantation des arbres si le sol contient des débris de racines</li> </ul>	[4]
<b>La moisissure verte</b>	<i>Penicillium digitatum</i> Saccardo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sur le fruit apparaît une zone humide, molle, cédant facilement sous le doigt et qui sera recouverte d'un mycélium blanc plein de spores de couleur vert olive.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eviter la blessure des fruits,</li> <li>- désinfecter les fruits à l'aide d'un fongicide.</li> </ul>	[4]

## APPENDICES E (2)



**Figure E.1:** Un symptôme typique *Phytophthora*: des gouttes d'exsudat brun du tronc ou des branches. [322]



**Figure E.2:** *Phytophthora* au niveau du collet de l'arbre. [322]



**Figure E.3 :** *Phytophthora* sur les fruits: une pourriture brune se développe sur les fruits infestés au niveau des cicatrices florales, du pédoncule, ou d'une blessure. [322]

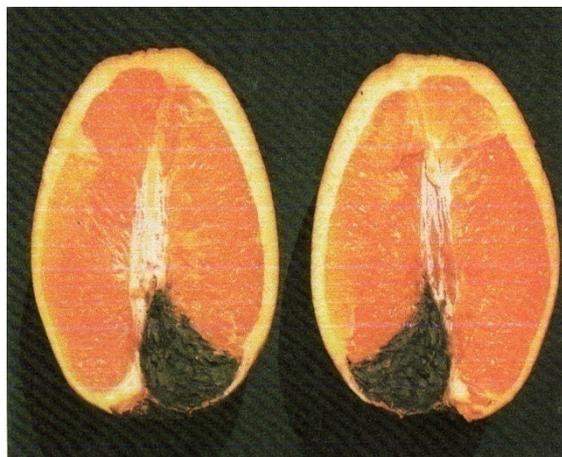


**Figure E.4:** Exsudation de gomme au niveau du tronc, Symptôme de la gommose parasitaire [4]

## APPENDICES E (3)



**Figure E.5:** Fumagine sur feuille d'agrumes [4].



**Figure E.6:** Fumagine sur fruit d'agrumes [4].



**Figure E.7 :** Pourridié [4].

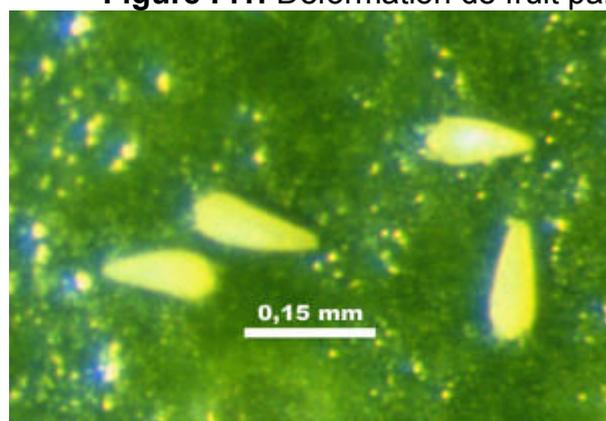
## APPENDICES F (1)

ravageurs	Classification		Nom		dégâts	Références
	Ordre	famille	scientifique	commun		
Acarie			<i>Hemitarsonemus latus</i>	Acarie ravisseur	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Enroulement et déformation des feuilles avec une coloration plus claire.</li> <li>- La couche superficielle du zeste des fruits se subérifie et devient liégeuse à la maturation.</li> </ul>	[1 ; 4]
			<i>Aceria sheldoni</i>	Acarie des bourgeons	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Une inhibition du développement des organes fructifères (bourgeons, fleurs et jeunes fruits) qui se manifestent sous formes de nécrose, décoloration, déformation (Figure F. 1).</li> <li>- Chutes des jeunes fruits peuvent être importantes (60 à 80%),</li> <li>- Fruits non chutés montrant des déformations hypertrophiques.</li> </ul>	[1 et 59]
			<i>Tetranychus cinnabarinus</i>	Acarie tisserand	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nécroses, décoloration, déformation chute se localisent surtout sur les jeunes pousses</li> </ul>	[1]
			<i>Phyllocoptura oleivora</i>	phytophage	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dégâts sur fruits, qui sont la de l'épiderme. La croissance des fruits peut même être stoppée conséquence de nombreuses piqûres et les fruits prennent un aspect gris argenté (Figure F. 2 et 3).</li> </ul>	[322]

## APPENDICES F (2)



**Figure F.1:** Déformation de fruit par *Aceria sheldoni* sur les agrumes [322]



**Figure F.2:** les phytoptes sur feuilles (loupe x15) [322]



**Figure F.3:** Les oranges attaquées par les Phytoptes [322]



**Figure F.4:** L'araignée sur feuilles d'agrumes *Eutetranychus* sp [322]

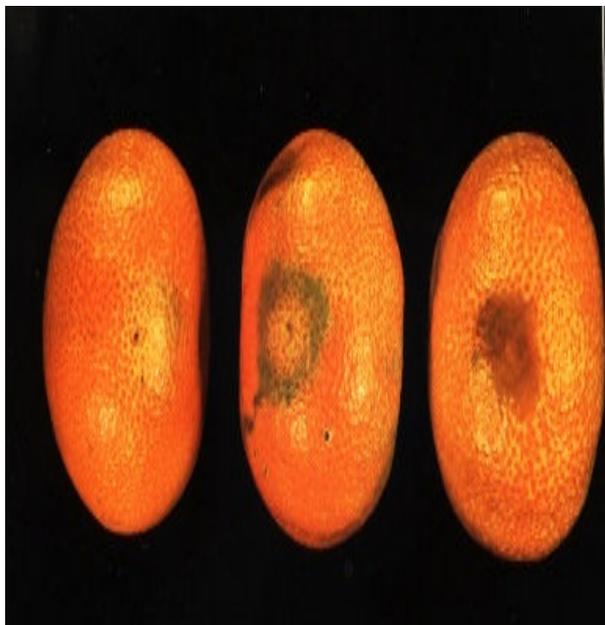


**Figure F.5:** L'araignée rouge des agrumes *Panonychus citri* [322]

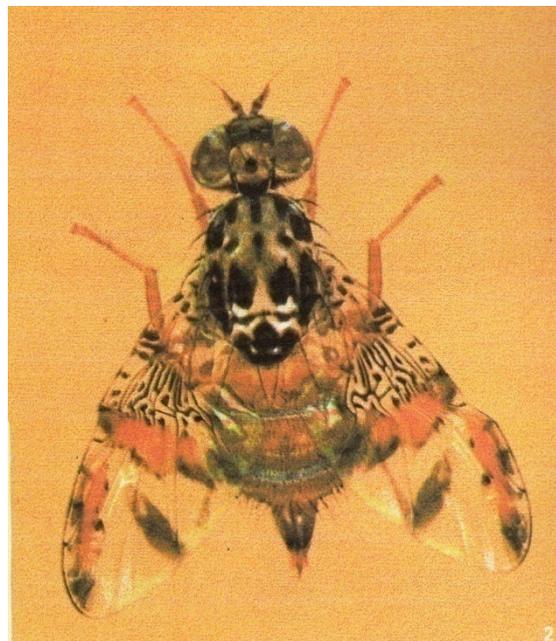
## APPENDICES F (3)

ravageurs	Classification		Nom		dégâts	Références
	Ordre	famille	scientifique	commun		
<b>Araignées</b>			<i>P citri</i> et <i>Eutetranych</i> <i>us</i>	araignées rouges	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Piqûres décolorent les jeunes pousses qui deviennent jaune clair. (Figure F. 4 et 5)</li> <li>- Palissement des feuilles en mosaïque</li> </ul>	[31]
<b>Cératite</b>	Diptères		<i>Ceratitis</i> <i>capitata</i>	Mouche méditerrané e des fruits	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fruits pourries impropre à la consommation.</li> <li>- Pourriture de la pulpe des fruits provoquée par les piqûres des femelles (Figure F. 6 et 7).</li> </ul>	[31 ; 36]
<b>Aleurodes</b>			<i>Acaudaleyro</i> <i>des citri</i> , <i>Dialeurodes</i> <i>citri</i> et <i>Aleurothrixus</i> <i>floccosus</i>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- miellat qu'elles rejettent conduit aux qui est à l'origine d'une asphyxie plus ou moins marquée des feuilles</li> <li>- Prise continue de sève,</li> <li>- affaiblissent l'arbre,</li> <li>- favorise l'installation d'autres parasites.</li> <li>- développement de la fumagine (Figure F. 8)</li> </ul>	[31 ; 59]

## APPENDICES F (4)



**Figure F.6:** Piqûre de cératite développée en tache sur fruits des agrumes [31].



**Figure F.7:** *Cératitis capitata* [4].



**Figure F.8:** l'aleurode sur feuilles d'agrume [322]

## APPENDICES F (5)

ravageurs	Classification		Nom		dégâts	Références
	Ordre	famille	scientifique	commun		
Cochenille	Homoptères	Coccidae	<i>Ceroplastes sinensis</i> , <i>Aonidiella aurantii</i> , <i>Chrysomphalus dictyospermi</i> MORGAN, <i>Lepidosaphes beckii</i> et <i>Lepidosaphes gloverii</i> RACKARD		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Jaunissement et chute des feuilles.</li> <li>- chute des jeunes fruits et dépréciations de la valeur commerciale des fruits en plus affaiblissements des arbres.</li> <li>- Développement de fumagine sur le miellat sécrété par ces cochenilles</li> <li>- Déformations et des décolorations de l'écorce des fruits.</li> <li>- Dessèchement et encroûtements des rameaux. (Figure F. 9 à 22)</li> </ul>	[1 ; 4 ; 30 ; 31 ; 36]
				<b>Pseudococcus citri</b>		

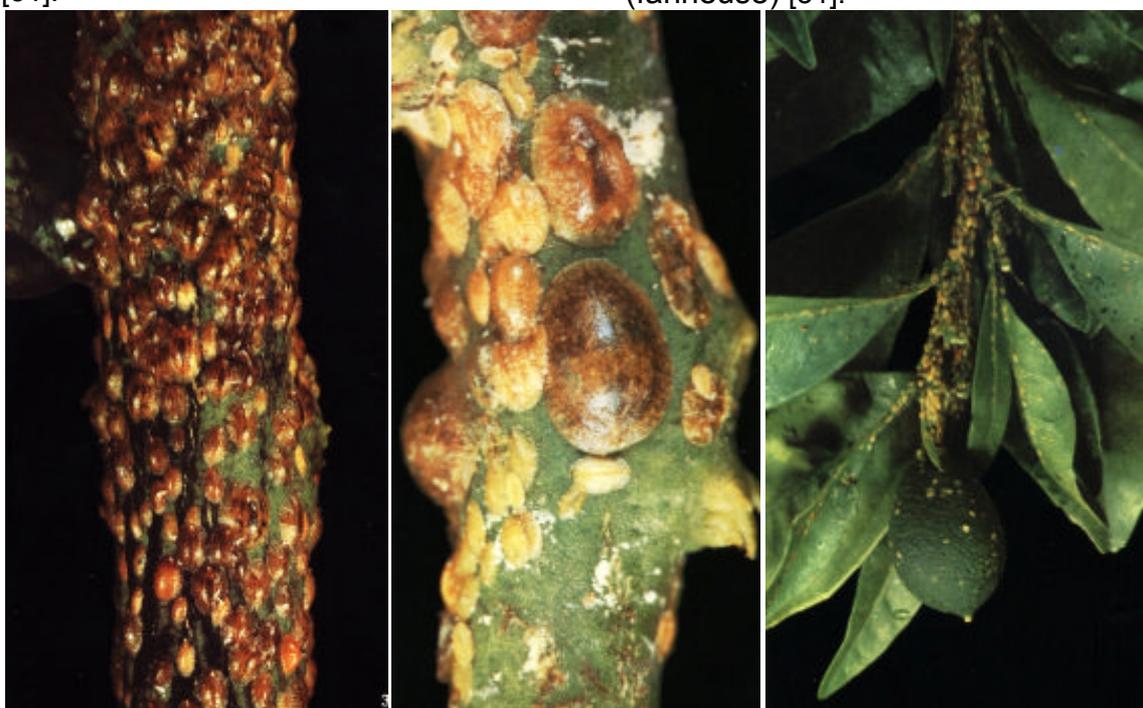
## APPENDICES F (6)



**Figure F.9:** Cochenille virgule (serpette) [31].



**Figure F.10:** Cochenille blanche (farineuse) [31].



**Figure F.11:** Cochenille plate colonie sur bois et sur poussées [31].

## APPENDICES F (7)



**Figure F.12:** Cochenille australienne (*Icerya purchasi* Maskell) [322]



**Figure F.13:** Les larves d'*Icerya purchasi* [322]



**Figure F.14:** La Cochenille de l'Hibiscus, *Maconellicoccus hirsutus* recouverte de filaments cireux blancs [322]



**Figure F.15:** *Chrysomphalus adonidum* : le pou rouge (taille : 2 mm). ([322])



**Figure F.16:** *Pseudaonidia trilobitiformis* (taille : 2 mm). [322]



**Figure F.17:** *Selenaspidus articulatus* (taille : 1,5 mm). [322]

## APPENDICES F (8)



Figure F.18: Cochenille chinoise [4].



Figure F.19: Pou de Californie [4].

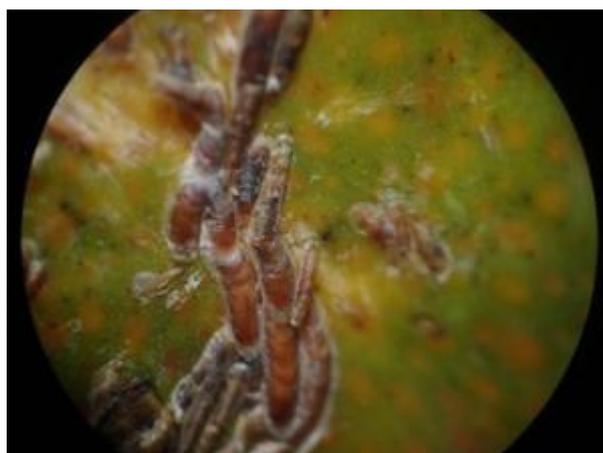


Figure F.20: Cochenille serpette grossissement x40- [322]

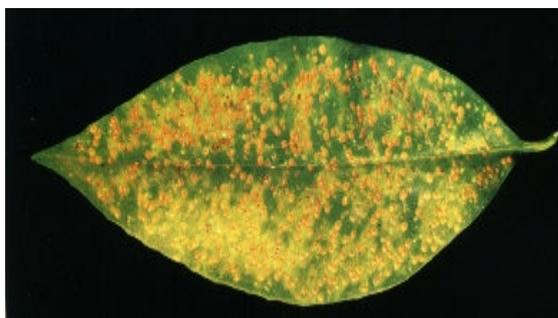


Figure F.21: Pou rouge sur feuille [31].

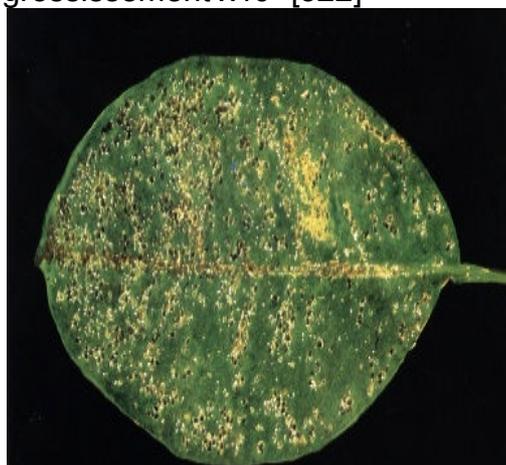


Figure F.22: Pou noir sur feuille [31].

## APPENDICES F (9)

ravageurs	Classification		Nom		dégâts	Références
	Ordre	famille	scientifique	commun		
Cochenille	Homoptères	Margaroïdes	<i>Icerya purchasi</i> , <i>Parlatoria ziziphus</i>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Jaunissement et chute des feuilles.</li> <li>- chute des jeunes fruits et dépréciations de la valeur commerciale des fruits en plus affaiblissements des arbres.</li> <li>- Développement de fumagine sur le miellat secrété par ces cochenilles</li> <li>- Déformations et des décolorations de l'écorce des fruits.</li> <li>- Dessèchement et encroûtements des rameaux. (Figure F. 9 à 22)</li> </ul>	[1 ; 4 ; 30 ; 31 ; 36]
		Lecanines	<i>Saissetia oleae</i> , <i>Coccus hesperidum</i>			
Mineuse des agrumes	Lépidoptères	gracillariidae	<i>Phyllocnistis citrella</i>	Mineuse des agrumes	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Galeries brillante et transparente sur la face inférieure des jeunes feuilles, et des bourgeons en croissance</li> <li>- Déformation et enroulement des feuilles (Figure F. 23 et 24)</li> </ul>	[31]
			<i>Myelois ceratoniae</i>	Le ver de l'ombilic	- attaquent fleurs et fruits	

## APPENDICES F (10)



**Figure F.23** L'adulte male, *Phyllocnistis citrella* . [322]



**Figure F.24** : La chenille du *Phyllocnistis citrella*, consomme l'intérieur des feuilles en forant une galerie[322]



**Figure F.25:** Puceron noir des agrumes *Toxoptera aurantii* [4] .

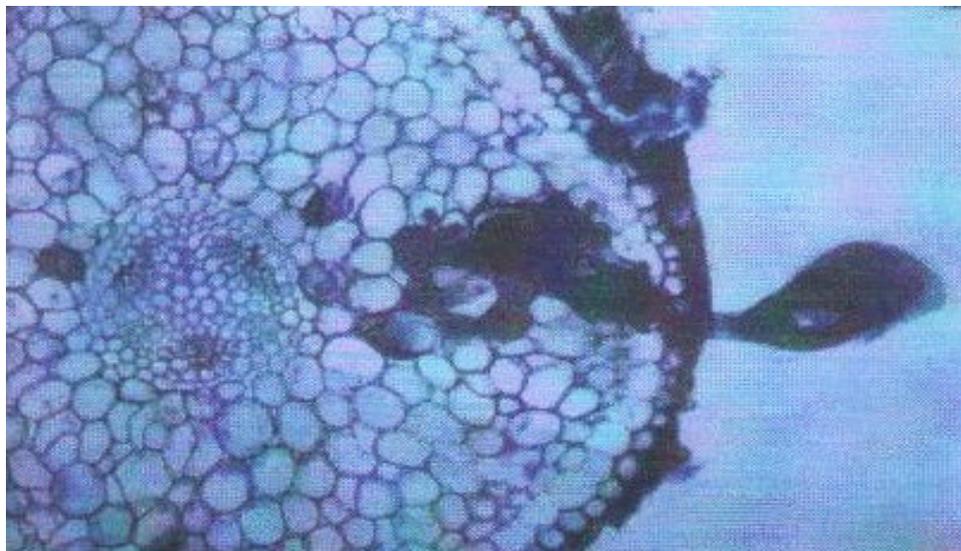


**Figure F.26** : Puceron vert des agrumes *Aphis citricola* [4] .

## APPENDICES F (11)

ravageurs	Classification		Nom		dégâts	Références
	Ordre	famille	scientifique	commun		
<b>Pucerons</b>	<b>homoptères</b>		<i>Toxoptera aurantü</i> , <i>Aphis Citricola</i> , <i>Aphis Gossypü</i> , <i>Aphis Craccivora</i> , <i>Myzus Persicae</i> , <i>Macrosiphumu euphorbiae</i> et <i>Brachycandus Helichrysi</i>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- succion de la sève,</li> <li>- excrétion du miellat,</li> <li>- formation de la fumagine,</li> <li>- dépréciation du fruit, et affaiblissement de l'arbre,</li> <li>- Transport des virus,</li> <li>- déformation des feuilles,</li> <li>- inhibition et le ralentissement de la formation des pousses et des jeunes rameaux. (Figure F. 25 et 26)</li> </ul>	[3 ; 4 ; 5 ; 31 ; 43 et 59]
<b>Nématodes</b>			<b><i>Tylenchulus semipenetans</i></b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Des nécroses massives sur les racelles les racines.</li> <li>- Elle est responsable du dépérissement des Citrus (Figure F. 27).</li> </ul>	[1 ; 4 et 30]

## APPENDICES F (12)



**Figure F.27:** Femelle du nématode *Tylenchulus semipenetrans* fixé sur racine [4].

## APPENDICES G (1)

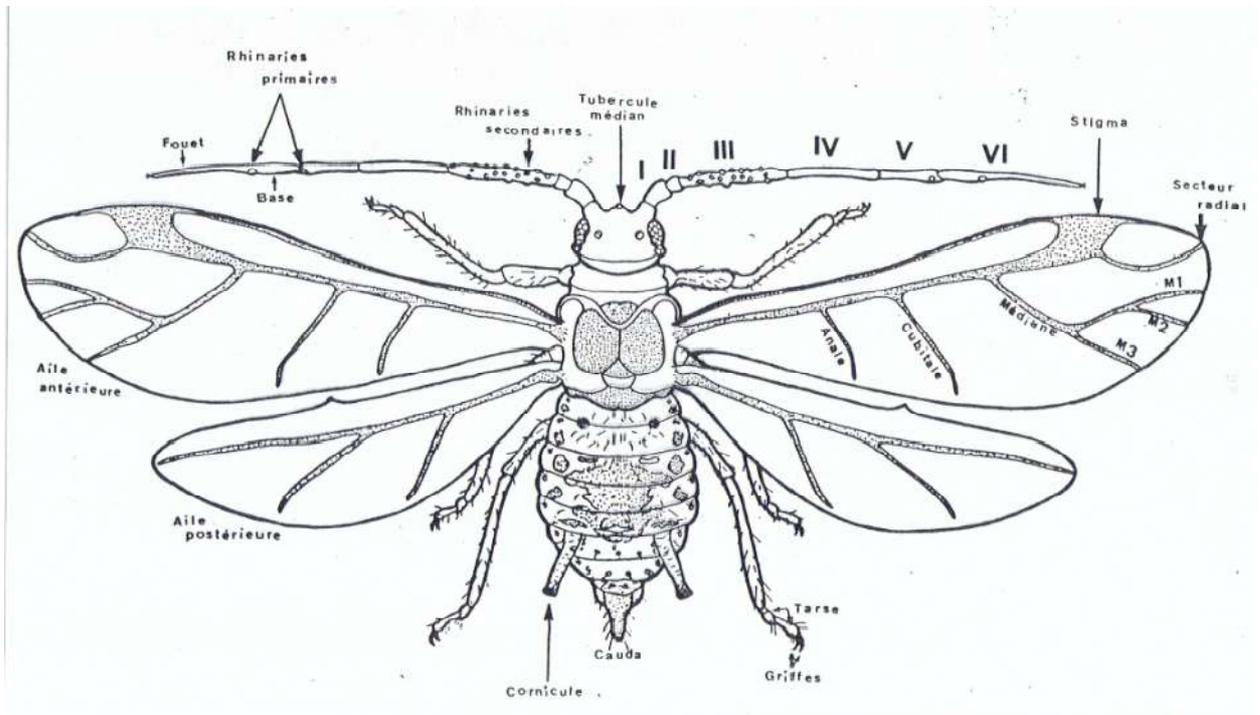


Figure G.1 : Morphologie d'un puceron ailé [80].

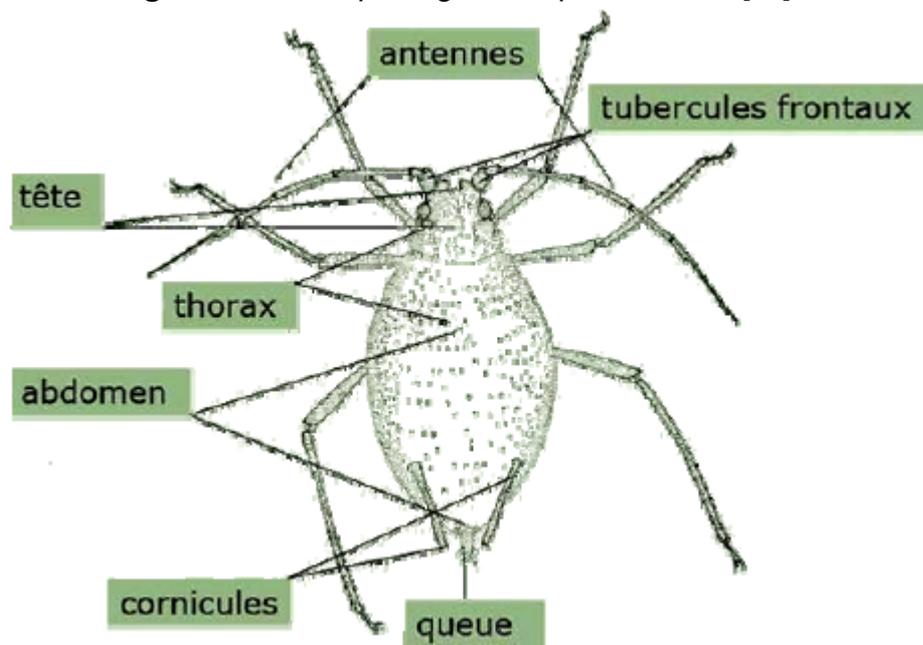
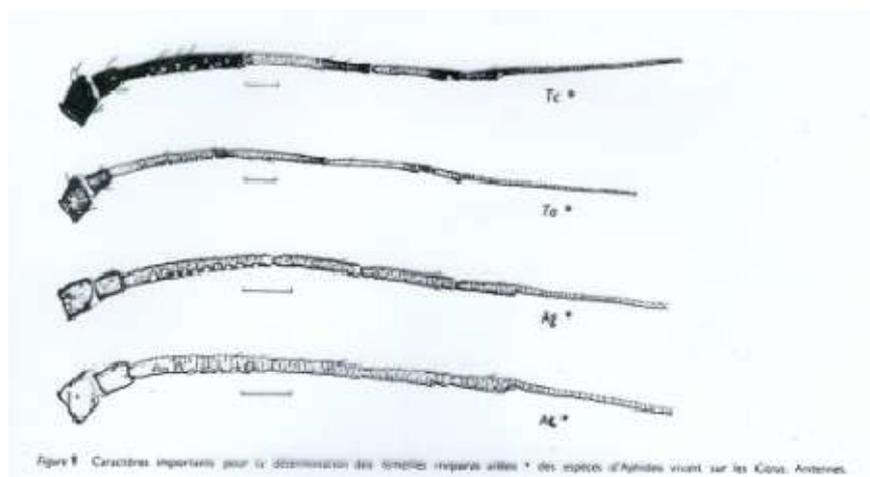
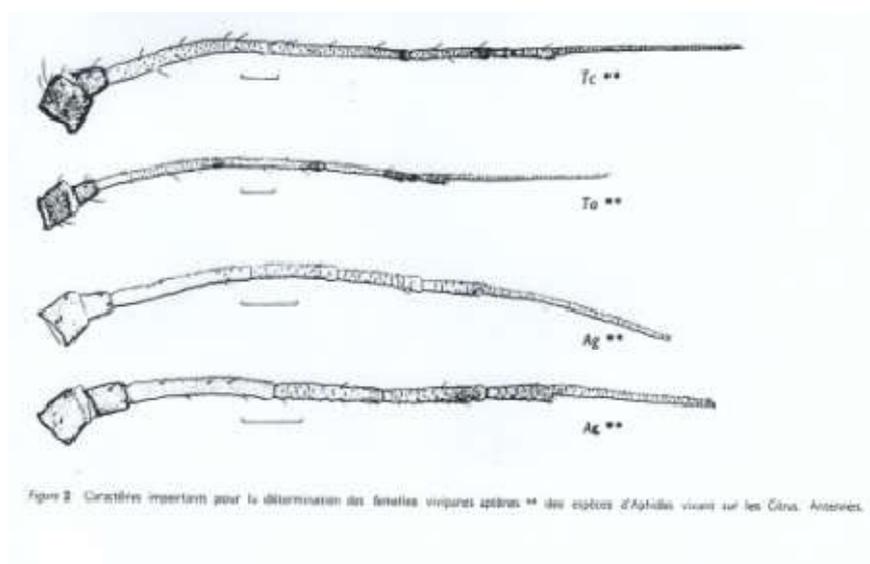


Figure G.2 : Morphologie d'un puceron aptère [80].

## APPENDICES G (2)

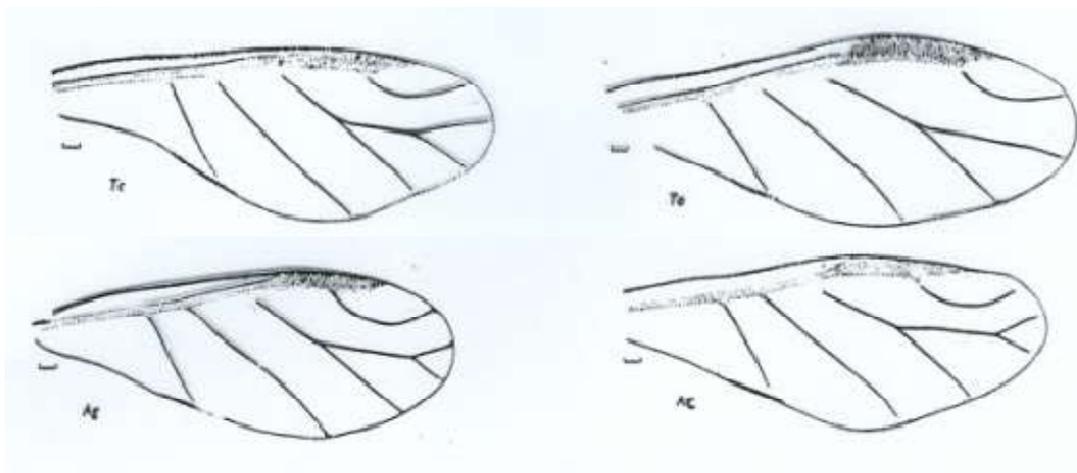


**Figure G. 3:** caractère antennaire pour la détermination des femelles vivipares ailées des espèces aphides vivant sur les citruses [80].

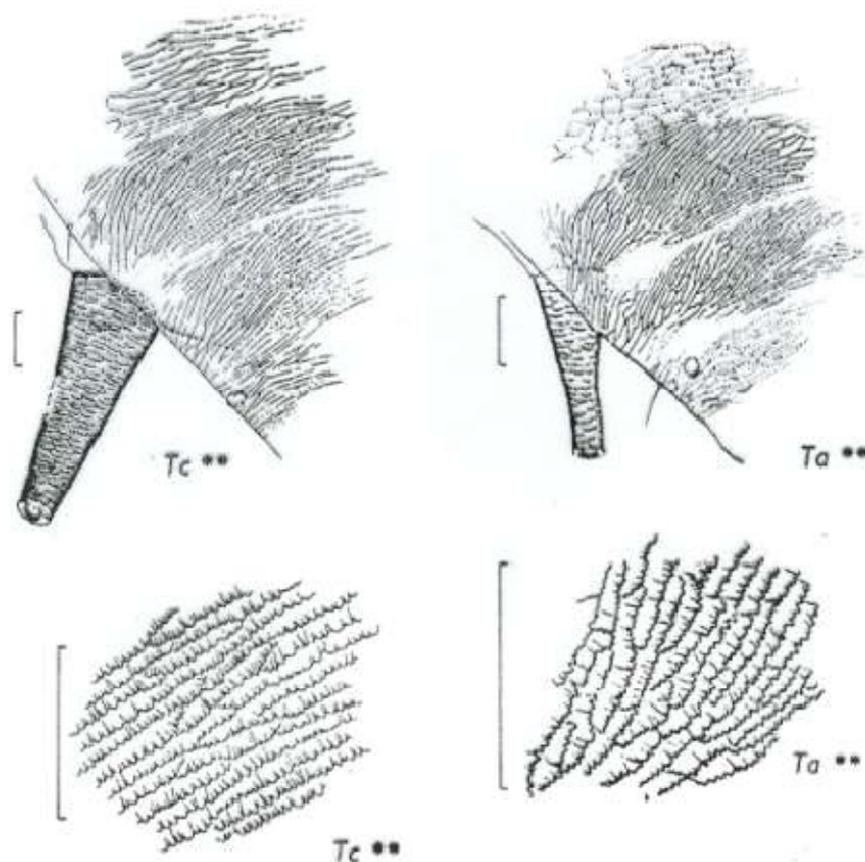


**Figure G. 4:** caractère antennaire pour la détermination des femelles vivipares aptères des espèces aphides vivant sur les citruses [80].

## APPENDICES G (3)



**Figure G.5 :** Morphologie les ailes: Caractères importants pour la détermination des femelles vivipares ailées des espèces d'aphides vivants sur les citrus (ailes antérieures) [80].



**Figure G. 6:** Les crêtes denticulées (Toxoptera) [80].

## APPENDICES H (1)

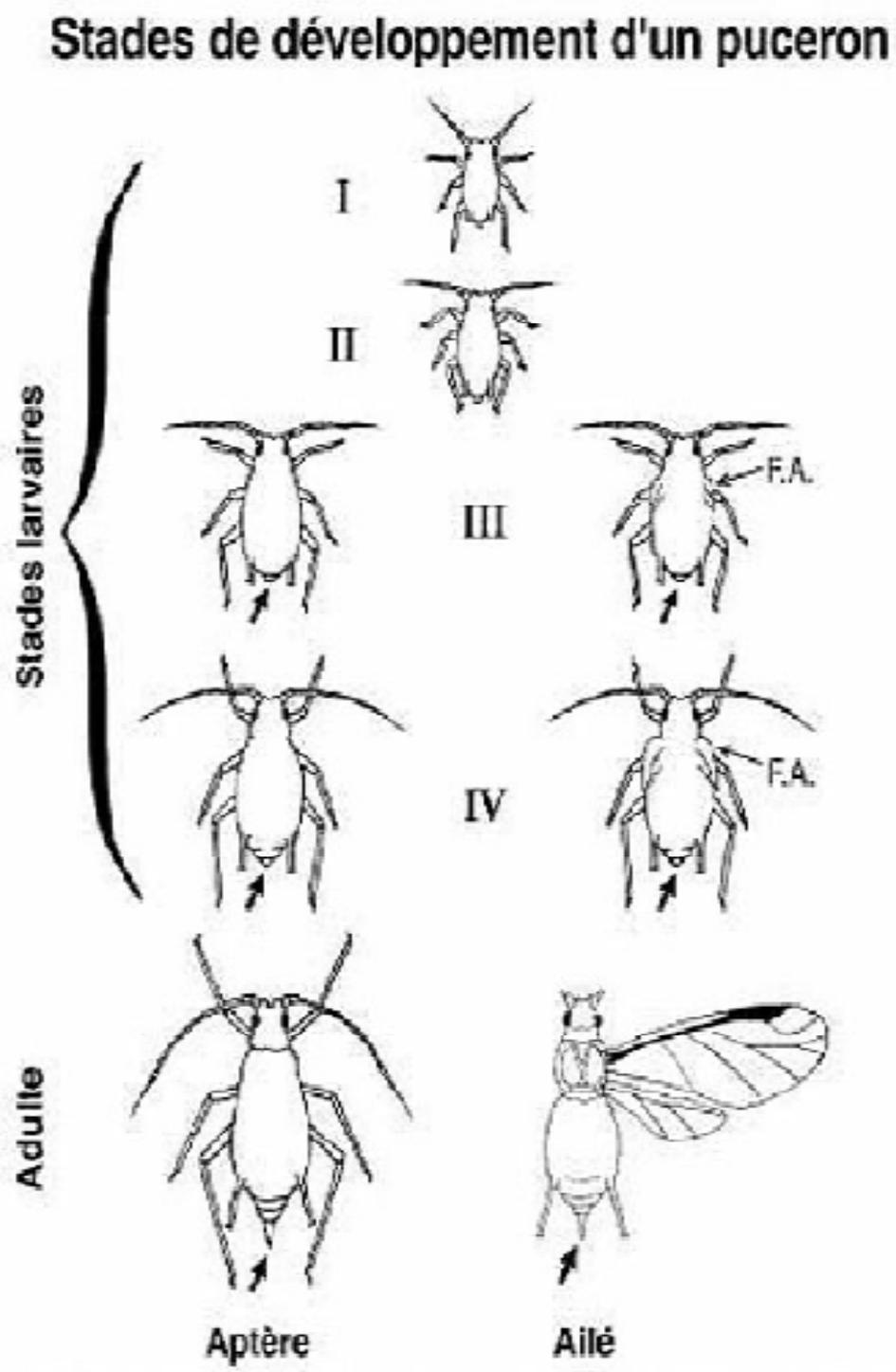
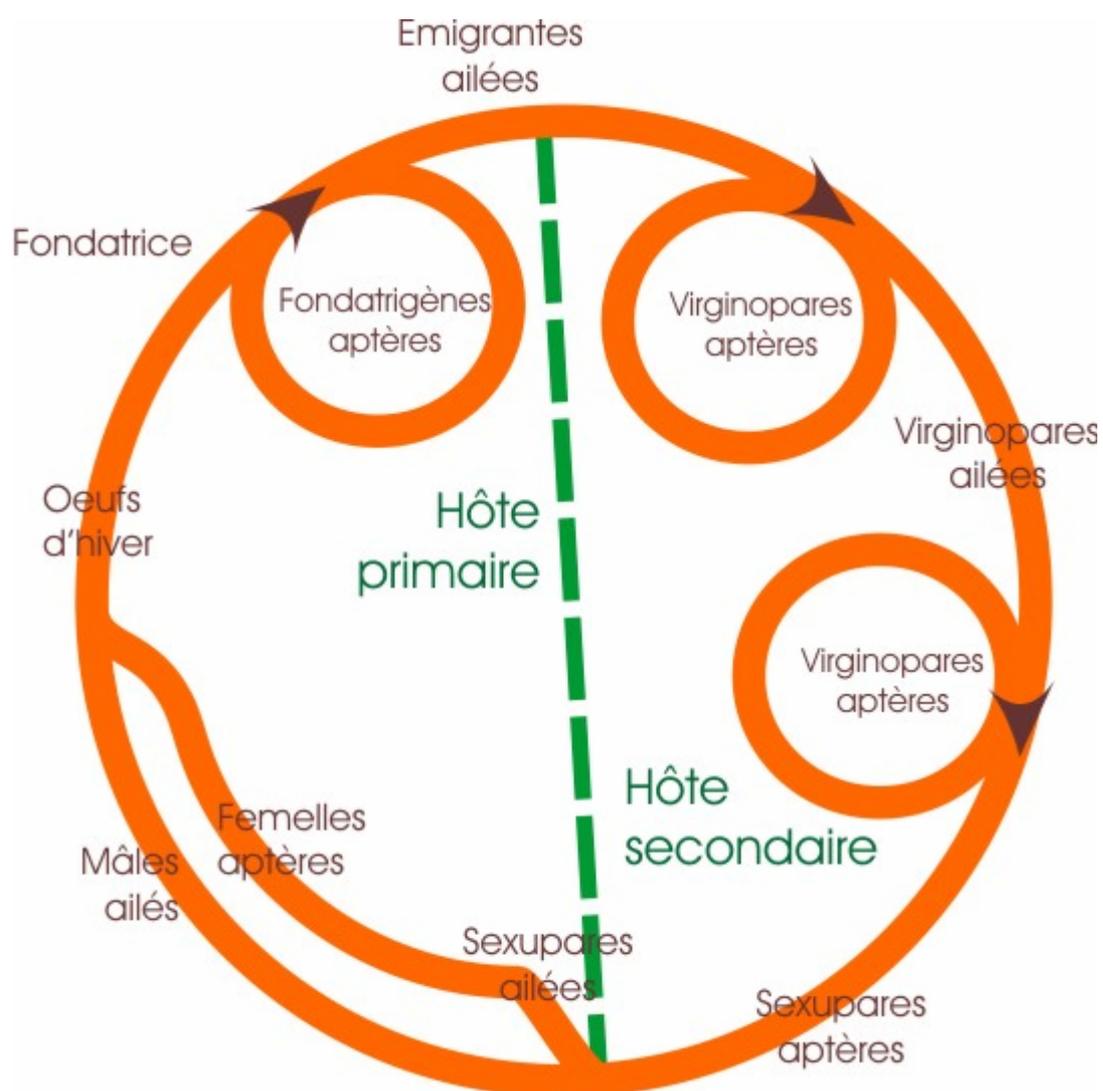


Figure H. 1: Stade de développement d'un puceron [80].

## APPENDICES H (2)



**Figure H.2:** Cycle biologique des pucerons [80].

## APPENDICES I (1)

Année	Paramètres	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
1998	Tmax (°C)	24,5	28	28	32	33,5	40	40,5	39	45,5	35,5	26,5	
	Tmin (°C)	5	8	6,5	7,5	11	14,5	18,5	29,5	18,5	10,5	5,5	
	Tmoy (°C)	15	16	16,8	18,9	20,8	26,1	29,2	34,2	27,7	21,2	14,8	14,9
	Pv (mm)	34,3	62,5	49,7	79,4	237,2	0,8	0,1	18,1	22,8	37,2	103,5	49,7
	Evap (mm)	74	78,4	70,4	108,6	308,9	56,6	40		53,7	37,6	123,7	
	Vent moy (Km/h)	3,7	2,7	2,7	4,3	3,3	3,4	3,1		3,5	3,1	3	
1999	Tmax (°C)									41	40,5	29	26,0
	Tmin (°C)									19	15	4,5	4,5
	Tmoy (°C)	15,9	14,9	19,3	21,3	26,7	29,3	33,0	35,3	27,9	25,6	16,5	14,6
	Pv (mm)	9,2	2,2	11,4	35	31,5	0	0,2	0	25,2	10	116	202,1
	Evap (mm)									48,41	65,14	146,38	43,7
	Vent moy (Km/h)									3,6	3,7	3,6	4,41
2000	Tmax (°C)	23,5	26,5	31	23,88	27	30,83	33,14	34,88	30,56	24,67	21,73	19,04
	Tmin (°C)	5,5	7	7	10,3	16,04	17,48	19,06	19,38	17,33	12,33	9,5	7,01
	Tmoy (°C)	12,8	16,1	17,6	17,09	21,52	24,15	26,1	27,13	23,94	18,56	15,61	13,02
	Pv (mm)	11,2	6,4	20,6	42,9	50,8	0	0	4,2	10,1	85,9	131,3	49,3
	Evap (mm)	36,4	71,6	107,8	159,9	165,5	235,4	256,5		169,4	97,7	74,3	56,5
	Vent moy (Km/h)	3	2,8	4,6	5,2	3,6	4,2	3,5		3,5	3,4	4,3	3,8

## APPENDICES I (2)

Année	Paramètres	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
2001	Tmax (°C)	17,77	18,44	24,67	23,26	25,2	32,8	33,64	35,09	30,43	29,29	19,9	16,74
	Tmin (°C)	6,45	4,33	10,37	8,8	13,66	17,86	19,76	21,16	18,03	16,38	9,06	4,96
	Tmoy (°C)	12,16	11,38	17,52	16,03	19,13	25,33	26,69	28,12	24,23	22,83	14,48	10,85
	Pv (mm)	197,1	57,1	62,7	59,2	23,8	0,5	0	0	28,7	14	69,6	71
	Evap (mm)	59,7	56,6			152	277,4	281,4	153,6	70,5	137,3	68,6	37,2
	Vent moy (Km/h)	4,5	3,6			3,5	4,1	2,3	4,3	3,6	3,2	3,8	2,3
2002	Tmax (°C)	18,51	20	22,9	22,4	27,2	32,8	32	31,35	30,98	28,3	21,9	18,45
	Tmin (°C)	3,69	4,05	6,3	9,96	12,4	17,9	21	19,82	18,03	15,48	11,56	7,41
	Tmoy (°C)	11,1	12	14,6	14,7	19,8	25,3	26,5	25,58	24,5	21,89	16,73	12,93
	Pv (mm)	63,8	42,1	74,6	58,3	32,1	0,7	17,4	15,5	10,2	78	140,5	114,5
	Evap (mm)	36,6	50,3	96,7	114,9	183,2	251,3	224,3	197,8				
	Vent moy (Km/h)	2,1	2,9	3,7	3,4	3,7	3,7	3,5	3,9				
2003	Tmax (°C)	14,91	16,01	21,8	22,38	25,96	33,45	34,59	35,59	29,5	25	22	18
	Tmin (°C)	5,69	4,39	6,89	9,4	12,41	19,36	21,36	21,83	18	12	9	4
	Tmoy (°C)	10,3	10,2	14,34	15,89	19,18	26,4	27,97	28,71	23,21	20,04	15,7	10,56
	Pv (mm)	107,1	50,7	52,4	73,8	105,7	2	0,7	1,5	33,4	35	83,9	118
	Evap (mm)									156,6	98,3	59,6	33,5
	Vent moy (Km/h)									3,2	2,9	3,6	2,8

## APPENDICES I (3)

Année	Paramètres	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
2004	Tmax (°C)	20	26	19,5	25,5	26,5	33,5	38	35,1	37,5	37,5	18,5	18,5
	Tmin (°C)	3,5	5	1,5	7,5	11,5	17,5	19,5	22,9	16,5	15	7,5	3,5
	Tmoy (°C)	10,7	12,4	12,7	15,57	17	25,14	27,8	29	26,4	24,4	13,4	10,7
	Pv (mm)	109,1	58,5	84,3	72,7	164,1	4,6	6,5	3,7	11,8	43,3	95,4	170,4
	Evap (mm)	42,2	65,9	69,1	105,6	107,6	201,3	240,8		148,7	134,72	50,9	38,3
	Vent moy (Km/h)	2,9	3,3	2,6	3,4	3,7	2,8	3,4		3,08	2,5	2	3,2
2005	Tmax (°C)	12,5	13,5	21	23	30	37	35	40	32	32	26	18,5
	Tmin (°C)	1,5	2,5	3,5	7	15	18	21,5	21	17	15,5	6,5	5,5
	Tmoy (°C)	6,4	7,7	12,6	16,8	22,4	26,5	28,5	27,3	24,3	21,9	14,7	11,1
	Pv (mm)	94,2	128,4	58,2	40,6	5,6	1,9	0	2,4	49,5	69,7	84,8	101
	Evap (mm)	34,5	44,8	66,9	96,2	166	218,5	266,9	233,4	151,8	107,5	50,2	42,3
	Vent moy (Km/h)	2,62	3,6	3,01	2,8	2,4	3,4	3,7	3,5	2	2,1	2,4	3
2006	Tmax (°C)	15	17	30	29	39	37,5	36,5	35	32,5	37	26,5	21,5
	Tmin (°C)	2	4	6	9,5	14,5	15	22	21,5	17	15,5	10,5	6
	Tmoy (°C)	9,3	10,3	17,3	18,5	22,4	25,1	29	27,45	24,9	23,5	18,2	12,4
	Pv (mm)	168,1	101,1	25,2	9,1	150,3	0	0	2	43,1	23,3	68	176,7
	Evap (mm)	26,7	46	93,7	108,5	144,7	221,7	269,7	225,5	140,2	130,4	78,2	33,9
	Vent moy (Km/h)	2,2	3,7	4	2,8	3,15	4,25	3,75	3,61	3,1	2,49	2,09	2,56



## APPENDICE J (1)

## Calendrier des sorties

MOIS	date des sorties	Travaux			Traitement et fertilisations			Observation
		T. du sol	Taille	Irrigations	Produits	Dose	Date	
Juin	02/06/2008				Ultracide 40 + l'huiles blanches	1/ha 20/ha	05/06/09	présence de cochenilles noires
	15/06/2008							Régénération du tapie des mauvaises herbes ; Chute des fruits ; présences des fourmis, escargots, mouche blanche et des pucerons
Juillet	07/07/2008							Chute feuilles et des fruits ;
				X				
	21/07/2008				épandages d'engrais forme granule (urée 46%)	4qx/ha	19/06/09	Régénération des feuilles accompagné par des bourgeons floraux; présences de la mineuse d'agrumes ; une faible densité pucerons au centre de cime d'arbre, a une hauteur d'homme l'activité des pucerons est remarquable + fourmis + œuf de chrysope
			X					
Aout	04/08/2008							Développements des mauvaises herbes ; absences d'entretiens ; la nouvelle poussé et envahies par la mineuse, pucerons + champignons
				X				
	18/08/2008							mauvaises herbes ; absences d'entretiens ; la nouvelle poussé et envahies par la mineuse, pucerons, aleurodes + champignons
		X		X				
	31/08/2008							La nouvelle poussé et mal développée, présence de mineuse, pucerons, aleurodes + champignons

## APPENDICE J (2)

## Calendrier des sorties (suite)

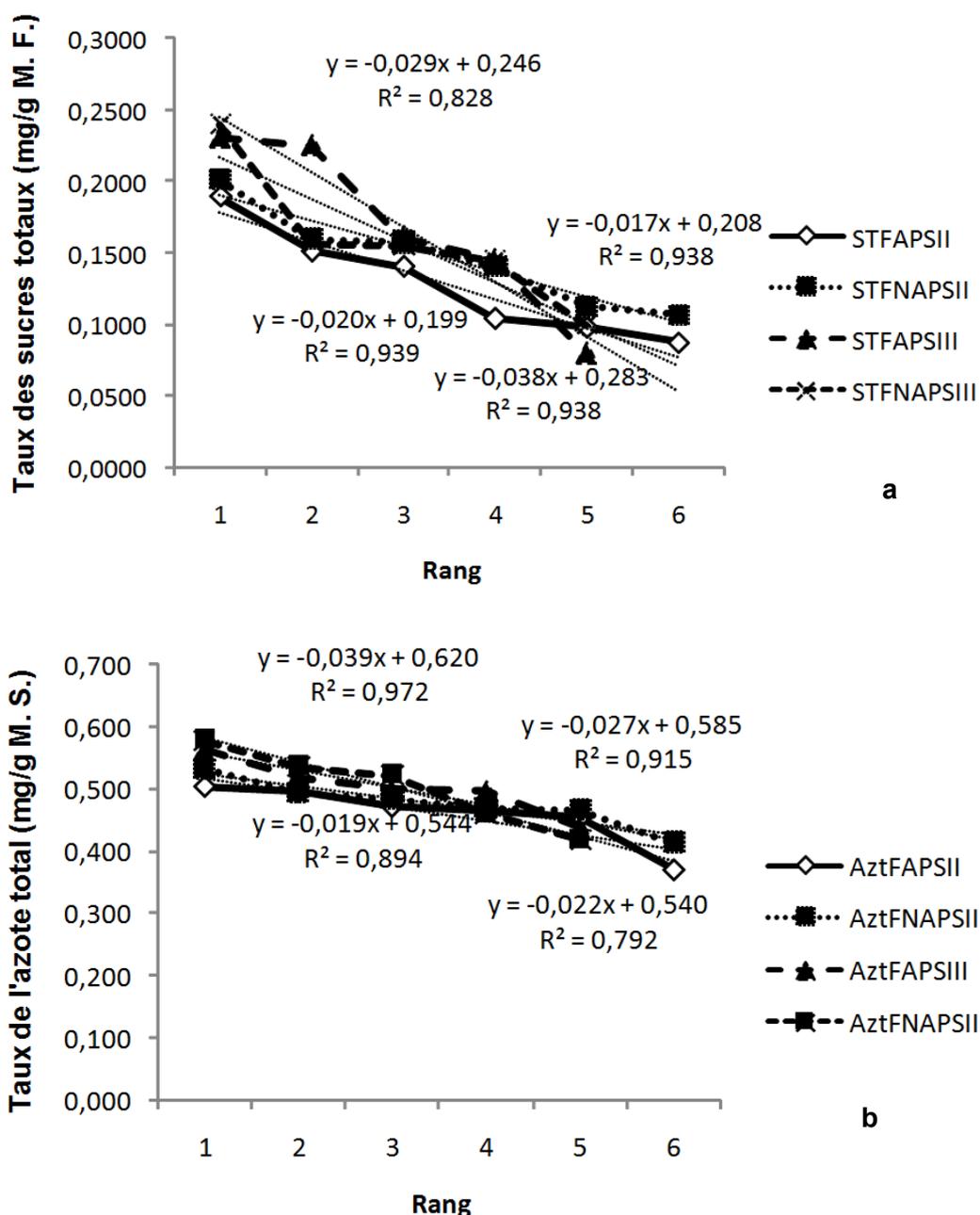
MOIS	date des sorties	Travaux			Traitement et fertilisations			Observation
		T. du sol	Taille	Irrigations	Produits	Dose	Date	
Septembre				x				
	08/09/2008							Régénération de tapie des mauvaises herbes ; activité remarquable des pucerons + aleurodes + fourmis
	23/09/2008							Mauvaises herbes ; pucerons + aleurodes + fourmis
					Lamb-dacytrine formal- tion EC			
Octobre	09/10/2008							Absences des pucerons ; développements des bourgeons floraux; changement remarquable de la couleur des fruits
	28/10/2008							Feuilles humides, fruit en pleine maturité, une activité faunistique : sauterelle, coccinelle, d'œuf de chrysope
Novembre	12/11/2008							Développements intenses du tapie des mauvaises herbes ; activité faunistique : sauterelle, coccinelle, d'œuf de chrysope
	22/11/2008							Développements intenses du tapie des mauvaises herbes d'une hauteur des 35 - 40 cm ; une faible densité des pucerons
Décembre	15/12/2008							Absences des pucerons
	28/12/2008							Absences des pucerons
Janvier 2009	11/01/2008							Absences des pucerons

## APPENDICE K

### Matériels d'étude du dosage utilisé au laboratoire

- pipettes pasteurs, entonnoirs en Pyrex, laine de verre, verre à pied de 100 ml,
- tubes Eppendorf Polylabo (1,5ml), pince entomologique,
- micropipette de 20-200  $\mu$ l, et celui de 100- 1000  $\mu$ l, pipette 1ml, 5ml, et 25ml,
- loupe binoculaire OPTECH, étuve MEMMERT, centrifugeuse NÜVE,
- balance de précision KERN 770,
- bouteilles en verre brun, ballons en verres de petites tailles,
- évaporateur sous flux d'azote, spectrophotomètre JENWAY,
- bouteilles en verre brun ; broyeur en téflon pour tubes eppendorf ;
- Papiers filtres, mortier, évaporateur sous flux d'azote, bain marie,
- tubes à essais, spatule, vortex.

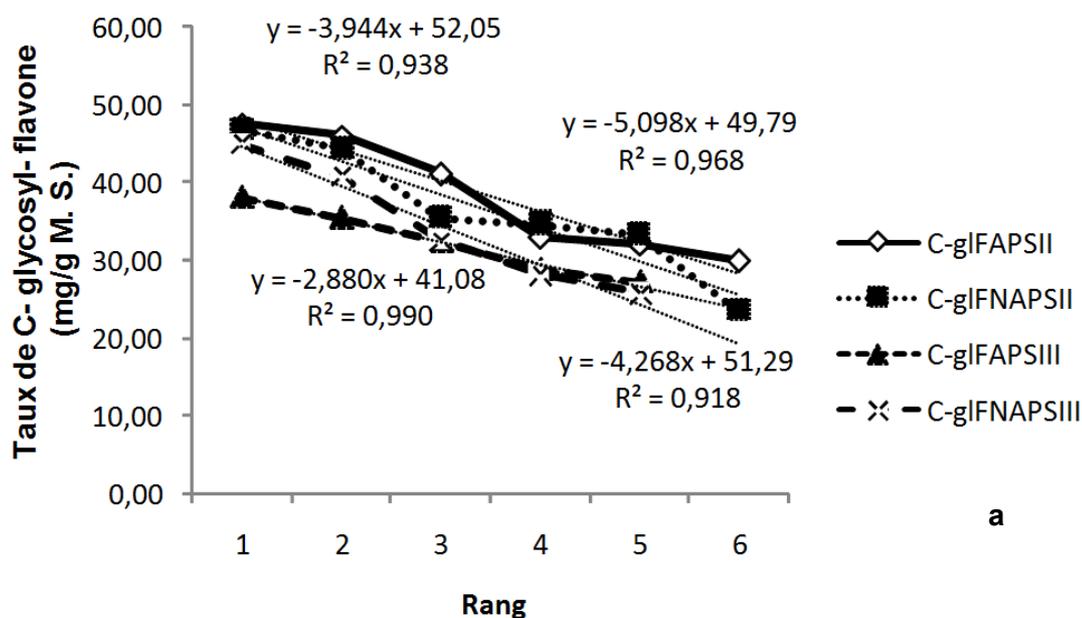
## APPENDICE L



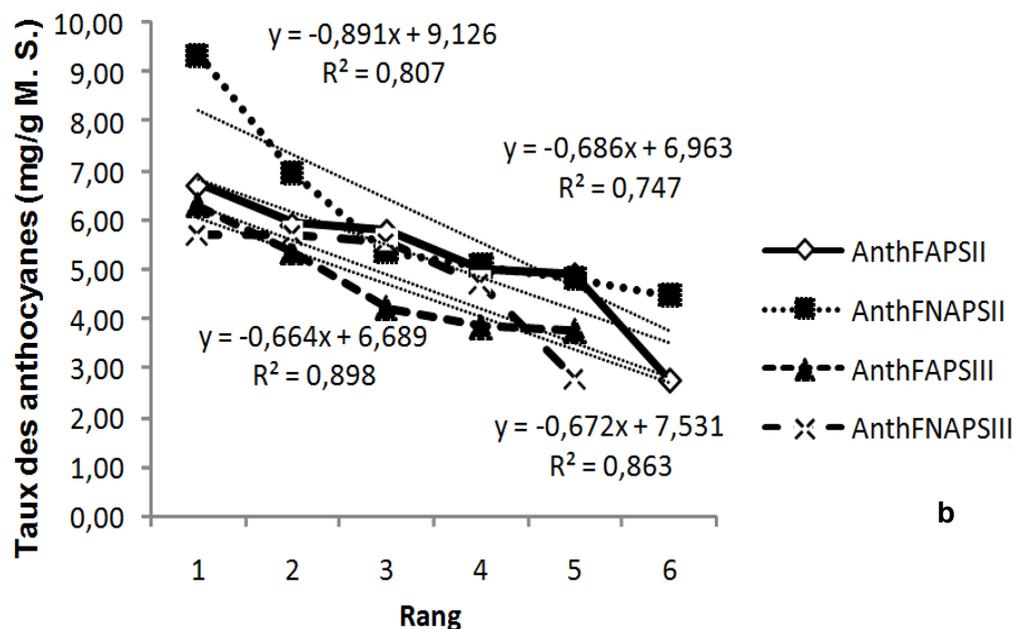
**Figure L. 1:** Variation des supports alimentaires des feuilles attaquées de *C. clementina* en fonction de la pousse de sève.

(a) ST : sucres totaux ; (b) Azt : azote total ; FA : feuilles attaquées, FNA : feuilles non attaquées, psII : deuxième poussée de sève, psIII : Troisième poussée de sève.

## APPENDICE L



a

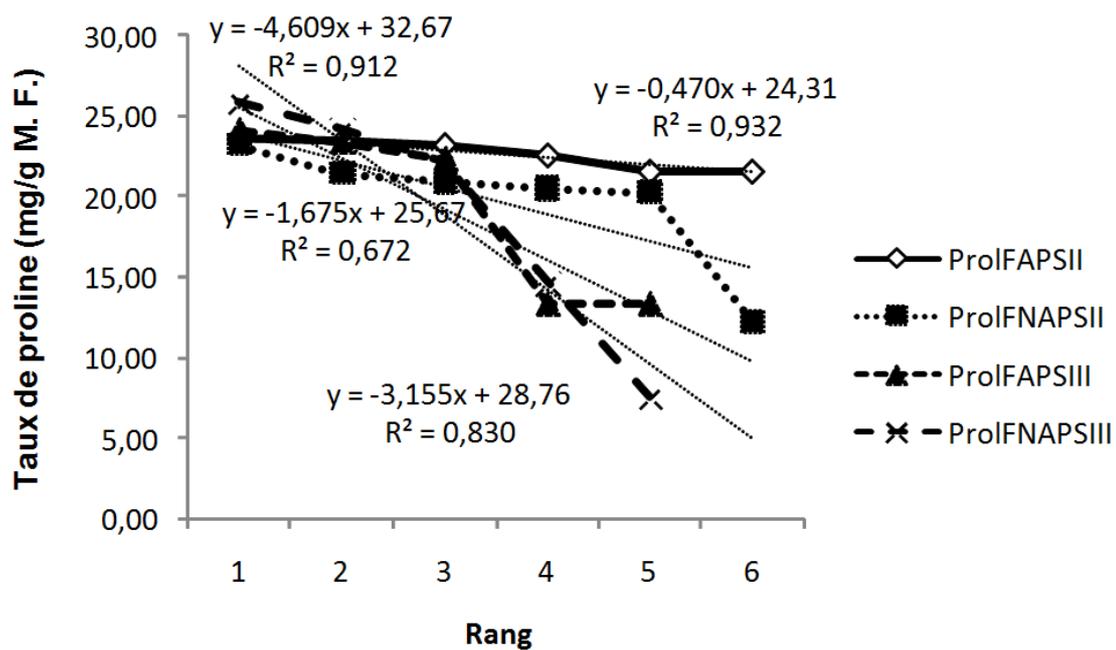


b

**Figure L. 2:** Variation des supports non alimentaires des feuilles attaquées de *C. clementina* en fonction de la pousse de sève.

(a) C-gl : C-glycosyl-flavone ; (b) Anth : anthocyane ; FA : feuilles attaquées, FNA : feuilles non attaquées, psII : deuxième poussée de sève, psIII : Troisième poussée de sève.

## APPENDICE L



**Figure L. 2:** Variation des supports non alimentaires des feuilles attaquées de *C. clementina* en fonction de la pousse de sève.

Prol : proline ; FA : feuilles attaquées, FNA : feuilles non attaquées, psII : deuxième poussée de sève, psIII : Troisième poussée de sève.

## REFERENCES

1. **LOUSSERT R., 1989** – Les agrumes, production. *Ed. Sci. Univ., Vol2, Liban, 280p.*
2. les statistiques : campagne agricole 2008, direction des services agricoles – wilaya de Blida
3. **BENASSY C. et SORIA F., 1964** – *Observation s écologiques sur les cochenilles diaspines nuisibles aux agrumes en Tunisie.* Ann. I.N.R.A., Tunisie, pp. 193-222.
4. **CHAPOT H., et DELUCCHI V.L., 1964** – Maladies, troubles et ravageurs des agrumes au Maroc. *Ed. I.N.R.A., Rabat, 339 p.*
5. **AROUN M.E.F., 1985** - Les aphides et leurs ennemis naturels en vergers d'agrumes de la Mitidja (Algérie). *Th. Mag. Agro. Inst. Nat. Agro., El-Harrach, 125.*
6. **BENFEKIH L., 1989** – Etude de la bioécologie des pucerons *Aphis gossypii*, *Myzus persicae* et *Macrosiphum euphorbiae* et de leurs prédateurs sur cultures maraîchères (Tomate et poivron) dans la région de Remchi (Tlemcen). Thèse Ing. Agro., Inst. Agro.forest., Univ. Tlemcen, 120p.
7. **BOUGHNOU N., 1998** – Etude des pucerons et leurs ennemis naturels dans un verger d'oranger dans la région de Oued Aissi (Tizi Ouzou). Thèse .Ing. Agro. Univ. Tizi-Ouzou. 86p.
8. **BETAM A., 1998** – Contribution à l'étude des pucerons et leurs ennemis naturels dans la région de Bir Touta (Batna). Thèse .Ing. Agro. Univ. Batna. 82p.
9. **SAIGHI., 1998-** Biosystématique des Aphides et de leurs ennemis naturels dans deux stations d'étude. Le jardin du Hamma et le parc de l'institut national agronomique d'el Harrach .Thèse Mag. Agro. Inst. Nat. Agro. ,El Harrach,312 P.

10. **DJAZOULI Z. E., DOUMINDJI-MITICHE B., ZAMOUM M. et NOWBAHARI E., 2008** – Les protéines totaux et les éléments minéraux des feuilles de différents groupes du peuplier expliquent – ils la dynamique des populations de *Chaitophorus leucomelas* Koch 1854 (Homoptera, Aphididae) et *Phyllocnistis unipunctella* Stph (Lepidoptera, Phyllocnistidae) ? Recueil des résumés 3<sup>ème</sup> journées nationales sur la protection des végétaux 7 et 8 avril 2008. INRA El Harrach, Algérie.
11. **BENACHOUR-KADA K., 2008** – Evaluation des deux souches de *Bacillus thuringiensis* sur le puceron Aphis sp. Recueil des résumés 3<sup>ème</sup> journées nationales sur la protection des végétaux 7 et 8 avril 2008. INRA El Harrach, Algérie.
12. **BENOUFELLA-KITOUS K., DOUMANDJI-MITICHE B. et SAHRAOUI L., 2008** – inventaire des pucerons des agrumes à Oued Aïssa (Tizi Ouzou). Recueil des résumés 3<sup>ème</sup> journées nationales sur la protection des végétaux 7 et 8 avril 2008. INRA El Harrach, Algérie.
13. **AUBERT B., GARNIER M., CASSIM J.C. et BERTIN Y., 1988** – Citrus greening disease in east and west African countries south of the Sahara. In: *Proceedings of the 10th Conference of the International Organization of Citrus Virologists*, pp. 226-230.
14. **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'appivoiser dans nos stratégies d'aménagement » tenu à Shawinigan, 27-29 mars 2001. pp.27-32.
15. **BARAT M., 2006** – Spéciation et interactions plante-insecte. Etude des charançons parasitant les graines d'ajonc en Bretagne.
16. **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.
17. **MOPPER S. 2005** – Phenology how time creates spatial structure in endophagous insect populations. *Annales zoologici Fennici* 42: 327-333.
18. **LAWRENCE R.K., MATTSON W.J. et HAACK R.A., 1997** – White spruce and the spruce budworm : defining the phenological window of susceptibility. *Cano Entomol.* 129: 291-318.
19. **HOUSE H. L., 1965** – Insect nutrition (The physiology of insecta). Vol. I.

Academie Press, New York. Pp. 769-813.

20. **FEENY P. P., WALLACE eds. I et MANSELL R., 1976** – Plant apparency and chemical defense. In "Biochemical interactions between plants and insects." Recent adv. Phytochem. 10: 1 - 40.
21. **HUNTER A. F. et ELKINTON S., 2000** – Effects of synchrony with host plant on population's offspring-feeding lepidopteran. Ecology. 81(5):1248-1261.
22. **EIDT D. C. et LITTLE C. H. A., 1970** – Insect control through induced host-insect asynchrony: a progress report. J. Econ. Entomol. 63: 1966-1967.
23. **COLLINGE, S. K. et LOUDA S. M., 1989** – Influence of plant phenology on the insect herbivore/bittercress interaction. Oecologia, 79(1): 111-116.
24. **MACLAUHLAN L.E. et BORDEN J.H., 1995** – Discrimination between pine shoots with and without oviposition by *Pissodes terminalis* hopping (Coleoptera: Curculionidae). Cano Entomol. 127: 267-269.
25. **GAUTIER M., 1987-** La culture fruitière. Vol. 1 : L'arbre fruitier. Ed. *Technique et documentation, Paris, 492 p.*
26. **LOUSSERT R., 1985** – Les agrumes, Arboriculture. Ed. *Baillière, Paris, 136p.*
27. **ALLAYA, M. ; LENQUETTE, L. ; ARADEILLES, M.N. ; DEBABI, I. ; ARFA L. 1995** – Medagri, annuaire des économies agricoles, IAN, 1995, CIHEAM, IAMM, pp. 431 – 346
28. **REBOUR H., 1945** – Les agrumes. Ed. *Union des syndicats de production d'agrumes, Alger, 485 p.*
29. **REBOUR H., 1950** – Les agrumes en Afrique du nord. Ed. *Union des syndicats de production d'agrumes Alger, 485p.*
30. **PRALORAN J.C., 1971** – Les agrumes. Ed. *Maisonneuve et Larose, France, 565 p.*
31. **ANONYME, 2006** – Perspectives de développement des agrumes. *I.T.A.F.V., Alger, 8 p.*
32. **CHAPOT., 1963** – *La clémentine.* El Awamia, n°7, rabat pp134.

33. **VAN DERWEYEN R., 1983** – Contribution à l'étude de la gommose à phytophtora des agrumes au Maroc. *Rev. Fruits*, Vol.37, n°7-8, pp 435 - 439.
34. **SWINGLE, W.T. et REECE, P.C.1967** – The botany of citrus and its wild relatives of the orange subfamily. In: Webber, H.J and Batchelor, L.D (Eds.), *The citrus industry*. University of California: 90-422.
35. **BOSSARD R. et CUISANCE P., 1986** – Arbres et Arbustes d'ornement des régions tempérées et méditerranéennes. *Ed. Baillière, Paris, 600 p.*
36. **REBOUR H., 1966** – Les agrumes .Manuel de culture des citrus pour bassin méditerranéen. *Ed.J.B. Baillier et fils, Paris, 178p.*
37. **GUIGNARD J.L., 1983** – Abrégé de botanique. *Ed. Masson, Paris, 259 p.*
38. **ANONYME., 1931** - Journée de l'arbre fruitier. Comptes-rendus du congrès de l'arbre fruitier. Alger, 736p.
39. **MUTIN G., 1969** - L'Algérie et ses Agrumes. Extrait de la revue de geo. , Lyon, Vol 441, 36p.
40. **BERKANI A., 1989** – Possibilités de régulation d'*Aleurothrixus floccosus* MASK (Hom. *Aleurodidae*) en Algérie. Thèse Doc.Sci.3<sup>ème</sup> cycle. Univ. Marseille, Paris, France, 140p.
41. **SELTZER P., 1946** – *Le climat de l'Algérie*. Inst. Meteo. Phy. Globe, Univ. Alger, 219p.
42. **BLONDEL L., 1959** – La culture des agrumes en Algérie. Station expérimentale d'arboriculture de Boufarik. Bull., (176) : 25p.
43. **LOUSSERT R., 1987** – Les agrumes, l'arboriculture. *Ed. Lavoisier. Vol. 1. Paris, 113p.*
44. **MUTIN G., 1977** – La Mitidja décolonisation et espèces géographiques. *Ed. OPU, Alger, 607p.*
45. **HATATEBA R., 1978** – Etat nutritionnel de quelques vergers de clémentinier de la Mitidja et du Sahel par la méthode du diagnostic foliaire. *Th. Ing. Sci. Agro., Univ., Blida, 65 p.*
46. **ANONYME, 1953** – Annuaire des agrumes nord Africains. *Edition*

*agricole d'Afrique du Nord, n°5, Alger, 123 p.*

47. **PATRICK S., 1999** – Fertilisation des vergers : environnement et qualité. *Ed. Techniques & Documentation, Paris, 86 p.*
48. **NADIR M. et GAGNAIRE J., 1973** – Variation de la composition des feuilles d'oranges au Maroc selon leur orientation, leur situation et leur position sur l'arbre. *Congres Mondial de Citriculture. pp129 -137.*
49. **MARTIN-PREVEL P., GARNARD J. et GAUTIER P., 1984** - L'analyse végétale dans le contrôle de l'alimentation des plantes tempérées et tropicales. *Ed. Tech. & Doc. - Lavoisier, Paris, 810 p.*
50. **DRIS R., 1990** – Dynamique des éléments fertilisants N.P.K. sur clémentinier (*Citrus reticulata blanco*) greffée sur deux porte-greffes : *Citrangé troyer* et *Poncirus trifoliata* en sol basique. *Th. Ing. Sci. Agro., Univ., Blida, 52p.*
51. **ANDRE L., 1986** - Les oligo-éléments en agriculture. *Ed. Agri-nathan, Paris, 339p.*
52. **SOING P., VAYASSE P. et RICARD J.P., 1999** – Fertilisation des vergers, Environnement et qualité. *A.C.T.A. Paris, 86p.*
53. **CABOT F., BLANKENAU K, 2004** – Problématique de la fertilisation en céréaliculture en Algérie, la formule unique ACTHYVA. *Développement technique. France, pp. 2 – 21*
54. **HENRI R., 1965** - L'engrais premier outil de l'agriculteur. *Ed. Flammarion, Paris, 32 p.*
55. **LOUE A., 1986** – Les oligo-éléments en agriculture. *Coll. Agri- Nathan, Paris, 339p.*
56. **ANONYME, 1995** - Agrumiculture 2 : Conduite d'un verger d'agrumes. *I.T.A.F.V., 60 p.*
57. **ANONYME b, 1995** - Agrumiculture 1 : Création d'un verger. *I.T.A.F.V., 68 p.*
58. **ANONYME c, 1995** - Agrumiculture 3 : Taille des agrumes. *I.T.A.F.V., 21 p.*
59. **ANONYME, 1976** - La protection phytosanitaire des agrumes en

Algérie. Ed. *Cibla Geicy*, Alger, 159.

60. **BAILLAY R., AGUITAR J., FAIURE-AMIOT A., MIMAUDJ et PATRIEK G., 1980** – Guide pratique de la défense des cultures. Ed. le Carousel, A.C.T.A, Paris, 419 P.
61. **COUSSIN M.T., 1995** – *Phytoplasmoses et phytoplasmes*, classification, symptômes et évection. Phytoma. Défense des végétaux. 472 :22-23.
62. **DEDRYVER C.A., 1982** – Qu'est ce qu'un puceron ? Les pucerons des cultures. Jour. D'étude D'inf. Paris, 2, 3 et 4 mars 1981, A.C.T.A., pp. 9 - 20.
63. **DJAZOULI Z.E., 1996** – Inventaire et interaction de l'entomofanne inféodée au peuplier noir *Populus nigra* L. Etude de la dynamique des populations et d'evoloppement ovarien de *Chaitophoru leucomelas* (Koch, 1854) (*Homoptera : Aphididae*) en Mitidja. Thés, Mag. Agro. I.N.A. El Harrach, Alger, 102p.
64. **TCHAKER F. Z. 2007** – évaluation 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, 57p.
65. **DERIASSA A. 2008** – Contribution à l'évaluation du ratio coût/bénéfice dans les Trophobioses entre FOURMICIDAE et HOMOPTERA par l'utilisation des biomarqueures énergétiques (lipides et sucres) : Cas des insectes du peuplier, Thèse Ing. Agro. Inst. Agro. , BLIDA, 48p.
66. **DIALLO KARA M. 2008** – Réponses métaboliques de *Chaitophorus leucomelas* (KOCH, 1854) (*HOMOPTERA : APHIDIDAE*) à la variation qualitative des *Populus sp.* dans les régions littorale et sublittorale d'Algérie. Thèse Ing. Agro. Inst. Agro. , BLIDA, 76p.
67. **BENYAHIA A. 2008** – Réponse métabolique des générations sexupares et sexuées de *Chaitophorus leucomelas* (*HOMOPTERA; APHIDIDAE*) au stress chimique, Thèse Ing. Agro. Inst. Agro. , BLIDA, 48p.
68. **DESMORAS et CHAMP., 1982** – Substances chimiques actuelles et futures. Journée d'information et d'étude sur les pucerons des cultures, le 2, 3, 4 mars. Ed. A.C.T.A., Paris, PP69-72.
69. **SAHRAOUI L., 1994** - Inventaire et étude de quelques aspects bioécologiques des coccinelles entomophages (*Coléoptéra*).

- Coccinellidae**) dans l'algérois. *Journ of Afri. Zoology*. 108, 6, 538 - 546.
70. **SAHRAOUI L., 1998** - Les Coccinelles d'Algérie Inventaire préliminaire et régime alimentaire *Bul. Soc. Ent. France.*, 103 (3), 213 – 224.
  71. **BALACHOWSKY A. et MESNIL L., 1936** – Les insectes nuisibles aux plantes cultivées. Ed Meryl, Paris, 1921p.
  72. **LECLANT F, 1996** – Dégâts et identification des pucerons. *Rev.. P.H.M. Horticole N° 369*. PP 19-23.
  73. **HULLE M., TURPEAU E., et LECLANT F., 1998** – Les pucerons des arbres fruitiers, cycle Biologique et activités de vol. *Ed. ACTA, Paris, 80p*.
  74. **GRASSE PP., 1951** – Traité de zoologie : Anatomie, systématique, biologie. *Ed. Masson et Cie, Paris VI, T. X, Fasc. II, 1942 p*.
  75. **BONNEMAISON L., 1961** – Le ennemis animaux des plantes cultivées et des forets. Ed. Sep. T.I., Paris, 554 P.
  76. **HOFFMAN E.T.A. 1974** – Contes fantastiques complets in-8 broché - 3 vol. Ed. Flammarion - Coll. L'Age d'Or. 1050p.
  77. **VAN LERBERGUE- F., 1996** - La variabilité des pucerons : causes et conséquences. *Rev. P.H.M. Horticole, N° 369. Avril*. PP 13-17.
  78. **SYMES C.B., 1924** – Notes on the black citrus aphid. *Rhodesia Agricultural Journal* : 21, 612-626, 725-737.
  79. **TAYLOR C.E., 1958** – The black citrus aphid. *Rhodesia Agricultural Journal*: 55, 192-194.
  80. **SEKKAT A., 2007** – Les pucerons des agrumes au Maroc Pour une agrumiculture plus respectueuse de l'environnement. *ENA 18 décembre 2007*.
  81. **MUNSON M. A., BAUMANN, P. et MORAN N. A., 1992** – Phylogenetic relationships of the endosymbionts of mealybugs (Homoptera: Pseudococcidae) based on 16S rDNA sequences. *Mol. Phylogenet. Evol.* 1, 26-30.
  82. **WILKINSON T. L., ADAMS D., MINTO L.B. et DOUGLAS A.E., 2001** – The impact of host plant on the abundance and function of symbiotic bacteria in an aphid. *Journal of Experimental Biology*. 204, 3027– 3038.

83. **DOUGLAS A. E., 2006** – Phloem-sap feeding by animals: problems and solutions *Journal of Experimental Botany*, Vol. 57, No. 4, pp. 747–754
84. **DOUGLAS, A. E., 1998** – Nutritional interactions in insect–microbial symbioses: aphids and their symbiotic bacteria *Buchnera*. *A. Rev. Entomol.* 43, 17–37.
85. **SANDSTRÛM J. et MORAN N. 1999** – How nutritionally imbalanced is phloem sap for aphids?. *Entomol. Exp. Appl.* **91**, 203-210.
86. **DIXON A. F. G., 1998** – Aphid Ecology: An Optimization Approach, Ed 2. Chapman and Hall, New York
87. **WILKINSON T.L.et DOUGLAS A.E. 2003.** Phloem amino acids and the host plant range of the polyphagous aphid, *Aphis fabae*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 106, 1–11.
88. **BALACHOWSKY A.S., 1966** – Entomologie appliquée à l'agriculture. Tome II. Les Lépidoptères. Ed. France Masson – Paris, 1397p.
89. **KRANZ J., SCHMUTTERER H., KOCH W., 1977** – *Diseases, pests and weeds in tropical crops*, pp. 342-343. Paul Parey, Berlin, Allemagne.
90. **DONCASTER, J.P.; EASTOP, J.F., 1956** – The tropical citrus aphid. *FAO Plant Protection Bulletin* 4, 109-110.
91. **STROYAN H.L.G., 1961** – Identification of aphids living on citrus. *FAO Plant Protection Bulletin* 9, 45-65.
92. **EASTOP, V.F., HILLE RIS LAMBERS, D., 1976** – Survey of the World's Aphids. Junk, La Haye, Pays-Bas.
93. **OEPP/EPPO, 1990** – Exigences spécifiques de quarantaine. *Document technique de l'OEPP* n° 1008.
94. **ROBERT Y., 1982** – Fluctuations et dynamique des populations de puceron. Les pucerons des cultures, journées d'étude et d'information, Paris 2,3 et4 Mars 1981, Acta. 76p.
95. **LECLANT F., 1976** – Peut-on aménager la lutte contre les pucerons des agrumes. 13ème colloque (Réunion de la commission agrotechnique du COMAP). Tunis, 23-27février, 15 p.
96. **LECLANT F., 1982-** Les effets nuisibles des pucerons sur les cultures. Jour. D'info. Et d'étu. Sur les pucerons des cultures, le 2, 3 , 4 mars. Ed.

A.C.T.A., Paris, PP 37-56.

97. **ROISTACHER C.N. et BAR JOSEPH M., 1987** – Aphid transmission of citrus tristeza virus: a review. *Phytophylactica* 19, 163-167.
98. **ROCHAT J., 1997** – *Modélisation d'un système hôte-parasitoïde en lâcher inoculatif : application au couple Aphis gossypii – Lysiphlebus testaceipes en serre de concombre*. Thèse de doctorat, Université Claude Bernard – Lyon-I. 229pp.
99. **ROCHAT J., 1995** – *Dynamique des populations des pucerons des agrumes à la Réunion*. Rapport d'Activité, Service National au titre de l'Aide Technique, INRA-CIRAD, 364pp.
100. **IPERTI G., 1978** – Comportement alimentaire des coccinelles entomophages. *Ann. Zool. Anim.* 10 (3), pp. 405 -406.
101. **IPERTIE G., 1986** – Les coccinelles de France. *Phytoma, Déf. des cult.* n° 377, 14 - 22.
102. **TREVIZOLI D., et GRAVENA S., 1979** – Efficacité et sélectivité des insecticides en lutte intégrée contre *Toxoptera citricidus*. *Cientifica* 7, 115-120.
103. **FAO, 1984** – *International Plant Quarantine Treatment Manual*. FAO Plant Production and Protection Paper No. 50. FAO, Rome, Italie.
104. **VAN GESTE L C.A.M., et VAN BRUMMELENT.C., 1996** – Incorporation of the Biomarker concept in ecotoxicology calls for a redefinition of terms. *Ecotoxicology* 5 pp.217-225.
105. **EGGEN R.I.L., 2001** – Moderne biologische Analyse: Potenzial, Entwicklung und Anwendung. *Gas Wasser Abwasser* 3, 167–171.
106. **LAGADIC L., CAQUET TH., et AMIRAD J.C ET RAMADE F., 1997** : Biomarqueurs en Ecotoxicologie : Aspects Fondamentaux. Collection d'Ecologie, Masson Editeur, Paris, pp. 28-241.
107. **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.
108. **DEPLEDGE M. H. et FOSSI M. C., 1994** – the role of biomarkers in

environmental (2). Invertebrates. *Ecotoxicology* 3: 161- 172.

109. **MOLVEN A., et GOKSOYR A., 1993** – Biological effects and biomonitoring of organochlorines and polycyclic aromatic hydrocarbons in the marine environment *Ecotoxicology Monitoring*, Richardson M., WEINHEIM, Germany, VCH, pp.137-162.
110. **LE GAL Y., LAGADIC L., LE BRAS S., et CAQUET TH., 1997** – Biomarqueurs en Ecotoxicologie: Aspect Fondamentaux. Collection d'Ecologie, Masson Editeur, Paris, pp. 241-285.
111. **KOOIJMAN, S.A.L.M., 2000** – Dynamic energy and mass budgets in biological systems. Cambridge University Press.
112. **GILBERTL I., et O'CONNOR J.D., 1970** – Lipid metabolism and transport in arthropods. *Chemical Zoology*, Vol. V, Florkin M., SCHEER B.T., New-york and London, Academic Press, pp.229-253.
113. **WIGGLESWORTH V. B., 1972** – *The circulatory and system and associated tissues*, The Principles of Insect Physiology. Chapman et Hall, London.
114. **GILBERTL. I., 1967** – Lipid metabolism and function in insects *Advances in insects. Physiology*, BEAMENT J.W.L., TREHERNE J.E., WIGGLESWORTH V.B., London and New-York. Academic Press 4, pp.69-211.
115. **CONVEY P., 1992** – Seasonal lipid contents of *Antartic microarthropods*. *Experimental and Applied Acarology* 15, pp.219-231.
116. **L'HELIAS C., 1970** – Chemical aspects of Growth and development in insects *Chemical Zoologie*, Florkin M., et Scheers B.T., *Chemical Zoologie*, London Academic Press5, pp.343-400.
117. **WYATT T.D., 1967** – Biochemistry of sugars and polysacharides in insectes *advances in insects physiology*. Beament J.W.L., Treherne J.E. et Wigglesworth V.B., New-york, Academic Press.
118. **STEELE J. E., 1981** – *The role of carbodhydrate metabolism in physiological fumction*. Energy metabolism. R. G. H. Downer. New York, plenum press.
119. **KAMMENGA J. E., DALLINGER R., DONKER R., KOHLER H. R., SIMONSEN V., TREIBSKORN R. et WEEKSJ. M., 2000** – Biomarkers in

- terrestrial invertebrates for ecotoxicological soil risk assessment. *Rev. Envir. Contam. Toxicol.* 164: 93 – 147.
120. **POWER W.P., KIRBY C. W. et TAYLOR N. J., 1998** – A Single-Crystal <sup>59</sup>Co NMR Study of Vitamin B<sub>12</sub>. *J. Am. Chem. Soc.*, 120 (37), pp 9428–9434
  121. **HOPKIN S. P., 1997** – Biology of the Springtails (Insecta : Collembola). Oxford, Oxford university press.
  122. **MCCARTHY J. F. et SHUGART L. R., 1990** – Biomarkers of Environmental Contamination. Boca raton, floride. Lewis.
  123. **CAIRNS J. Jr. et MCCORMICK P. V., 1992** – developing and ecosystem-based for ecological risk assessments. *Environment Professional* 14: 186-196.
  124. **DEPLEDGE M. H., 1992** – conceptual paradigms in marine ecotoxicology. Proceeding of the 12<sup>th</sup> Baltic Marine Biologists Syposium. Fredensborg, Denmark, Olsen et Olsen : 47- 52.
  125. **PEAKALL D. B. et SHUGART L. R. 1992** – Biomarkers: research and application in the Environmental Health. Berlin, Heidenberg, *Springer Verlag*.
  126. **FOSSI C., LEONZIO C., 1993** – Noudestructive biomarkers in vertebrates. Boca Raton, Floride
  127. **GARNIER-LAPLACE J., AUSSEIL O., FRAYSSE B., PORCHER J. M., BAUDIN J. P. et CASELLAS C., 2000** – La multipollution dans les hydrosystème mes fluviaux : un trait d’union entre l’écotoxicologie et la radioécologie, la protection de l’environnement, RAPPORT SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE, pp186-193
  128. **FENT K. et BUCHELI T., 1995** – Induction of cytochrome P450 as a biomarker for environmental contamination in aquatic ecosystems. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, Volume 25, pages 201 - 268
  129. **DE LAAT W.L., JASPERS N.G.J. et HOEIJMAKERS J. H.J., 1999** – Molecular mechanism of nucleotide excision repair. *Genes & Dev.* 13: 768-785
  130. **PROKOPY R.J. et OWENS E.D. 1983** – Visual detection of plants by

herbivorous insects. *Rev. Annu.Entomol.* 28: 337-364.

131. **WILSON C.G., 1991** – Notes on *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera: Phyllocnistidae) attacking four citrus varieties in Darwin. *J. Austr. Entomol. Soc.* 30: 77-78.
132. **PICIMBON, 2002** - Les Péri-récepteurs chimiosensoriels des insectes. *Rev. Médecine et sciences*, n°18, pp. 1089-1094.
133. **MATTSON W.J. et ADDY N.D. 1975** – Phytophagous insects as regulators of forest primary production. *Science* 190:515-522.
134. **OHGUSUI T., 1992** – Resource limitation on insect herbivore populations. In: Effects of resource distribution on animal-plant interactions. Ed. Academic press. Inc. New York, pp. 199-241.
135. **WATT A.D., LEATHER S.R., HUNTER M.D et KIDD N.A.C., 1990** – population dynamics of forest insects. Intercept, Andover, Etats-unies, 408p.
136. **MATTSON, W.J., 1980** – Herbivory in relation to plant nitrogen content. *Annual Review Ecology Systematics*, n° 11, pp. 119-161.
137. **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. 63 pp.
138. **MCNEILL S. et SOUTHWOOD T.R.E., 1978** – The role of nitrogen in the development of insect/plant relationships. *Biochemical aspects of plant and animal coevolution*, J.B. Harborne, ed., Academic Press, London, 77-98.
139. **BREWER W., CAPINEA J.L., DASHON, R.E. et WALAMSLY M.L., 1985** – Influence of foliar nitrogen levels on survival, development and reproduction of western spruce budworm, *Choristoneura occidentalis* (Lepidoptera: Tortricidae). *Canadian Entomologist*, Canada, pp. 23-32.
140. **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.
141. **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. pp. 347-364.
142. **DADD R.H., 1985** – Nutrition: organisms. In: Comprehensive Insect physiology, Biochemistry and pharmacology. Vol. 4. Ed. Pergamon press. Oxford, pp. 313 - 390.
  143. **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, pp. 105-146.
  144. **REINECKE J.P., 1985** – Nutrition: Artificial diets. In: *Comprehensive Insect Physiology, Biochemistry and Pharmacology*, vol. 4, ed. G.A. Kerkut & L.I. Gilbert, pp. 391- 419. Oxford: Pergamon Press.
  145. **CHAPMAN R.F., 1998** – Nutrition In: The Insects, Cambridge University press, pp.69-93
  146. **SCRIBER J.M., 1977** – Limiting effects of low leaf-water content on the nitrogen utilization, energy budget, and larval growth of *Hyalophora cecropia* (Lepidoptera: Saturniidae), *Oecologia* 28, New York, pp. 269-287.
  147. **SIMPSON S.J. et SIMPSON C.L., 1990** – The mechanisms of nutritional compensation by phytophagous insects. In: Insect-Plant interactions. Vol. II. Ed. CRC press, Florida, pp. 111-160.
  148. **WALDBAUER G.P., 1968** – The consumption and utilization of food by insects. *Advances in insect physiology* n° 5, pp. 229-288.
  149. **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. pp. 133-140.
  150. **CHROUSOS G. P. et GOLD P. W., 1992** – The concepts of stress and stress system disorders. Overview of physical and behavioural homeostasis. *J. Am. Med. Assoc.* 267, 1244-1252.
  - 151 **SELYE H., 1973** – *The evolution of the stress concept.* *Am. Scientist* 61,

pp. 692-699

152. **ALTMANN L., 2000** – Evaluation du stress chez le personnel de l'ANPE. Thèse doc. Université Louis Pasteur, Faculté de médecine de Strasbourg, 146p.
153. **LACOSTE A., 2001** – Neuroendocrinologie et neuroimmunologie du stress chez un modèle invertébré, l'huitre *Crassostrea gigas*. Thèse doc. Université Pierre et Marie Curie (Paris 6), 323 p.
154. **KOGAN M., 1975** – Plant resistance in pest management. In *Introduction to insect pest management*, ed. W. a. Sons; New York, pp. 103-146.
155. **PAINTER R. H., 1951** – Insect resistance in crop plants: University of Kansas Press. 520 p.
156. **PILLEMER E. A. et TINGEY W. M., 1978** - Hooked trichomes and resistance of *Phaseolus vulgaris* to *Empoasca fabae* (Harris). *Entomol. Exp. Appl.* vol. 24, pp.83-94.
157. **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. Hortic. Sci.* vol. 14, pp. 29-30.
158. **FRAENKEL G. S., 1959** – The raison d'être of secondary compounds. *Science* ; vol. 129, pp. 1466-1470.
159. **SCHULTZ J. C., 1988** – Many factors influence the evolution of herbivore diets, but plant chemistry is central. *Ecology*, vol. 69, pp. 896-897.
160. **LOUIS S. 2004** – Diversité structurale et d'activité biologique des albumines entomotoxiques de type 1b des graines de légumineuses. Thèse de doctorat, Institut national des sciences appliquées de Lyon, 260p.
161. **AUGER J., DUGRAVOT S., NAUDIN A., ABO-GHALIA A., PIERRE D. et THIBOUT E., 2002** – Utilisation des composés allelochimiques des *Allium* en tant qu'insecticides, *Use of pheromones and other semiochemicals in integrated production IOBC wprs Bulletin Vo.: 25.*
162. **KENNEDY J.S., 1965** – Mechanisms of host plant selection. *Ann. Appl. Biol.* 56: 317-322.

163. **CORDELIER S, de RUFFRAY P, FRITIG B, KAUFFMANN S., 2003** – Biological and molecular comparison between localized and systemic acquired resistance induced in tobacco by a *Phytophthora megasperma* glycoprotein elicitor. *Plant Mol Biol.* 51:109–118.
164. **KESSLER A. et BALDWIN I.T., 2002** – Plant responses to insect herbivory: the emerging molecular analysis. *Rev Annu Plant Biol*, 53:299-328.
165. **DEAN R.A. 1997** – Signal pathways and appressorium morphogenesis. *Annu. Rev. Phytopathol.* 35, 211- 234.
166. **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.
167. **LEV S., SHARON A., HADAR R., MA H. et HORWITZ B. A., 1999** – A mitogen-activated protein kinase of the corn leaf pathogen *Cochliobolus heterostrophus* is involved in conidiation, appressorium formation, and pathogenicity: Diverse roles for mitogen-activated protein kinase homologs in foliar pathogens. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 23, 13542-13547.
168. **CHESTER K., 1933** – The problem of acquired physiological immunity in plants. *Q. Rev. Biol.* 8, p. 129–154, 275–324.
169. **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.
170. **VAN LOON L. C. et VAN STRIEN E., 1999** – A physiological and Molecular Plant. *Pathology.* 55 : 85-97
171. **KOIWA H., BRESSAN R. A. et HASEGAWA P. M., 1997** – Regulation of protease inhibitors and plant defense. *Trends in Plant Science.* 2: 379-384.
172. **GARCIA-OLMEDO F., MOLINA A., ALAMILLO J. M. et RODRIGUEZ-PALENZUELA P., 1998** – Plant defense peptides. *Biopolymers* 47: 479-491
173. **GARCIA-CASADO G., CRESPO J. F., RODRIGUEZ J. et SALCEDO G., 2001** – Isolation and characterization of barley lipid transfer protein and protein Z as beer allergens. *J Allergy Clin Immunol.* 108: 647-9.

174. **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: 243-54.
175. **FRITIG B., HEITZ T. & LEGRAND M., 1998** – Antimicrobial proteins in induced plant defense. *Curr. Opin. Immunol.* 10, 16-22.
176. **STICHER L., MAUCH-MANI B. et MÉTRAUX J. P., 1997** – Systemic acquired resistance. *Annu. Rev. Phytopathol.* 35, 235-270.
177. **MÉTRAUX J. P., 2001** – Systemic acquired resistance and salicylic acid: current of knowledge. *Eur. J. Plant Pathol.* 107, p. 13–18.
178. **GÖRLACH J., RAESECKE H., RENTSCH D., REGENASS M., ROY P., ZALA M., KEEL C., BOLLER T., AMRHEIN N. et SCHMID J., 1995** – Temporally distinct accumulation of transcripts encoding enzymes of the prechorismate pathway in elicitor-treated, cultured tomato cells. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 92, 3166-3170.
179. **BISCHOFF M., ROSLER J., RAESECKE H. R., GORLACH 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.
180. **RUSTÉRUCCI C., STALLAERT V., PUGIN A., RICCI P. et BLEIN J.-P., 1996** – Relationship between AOS, lipid peroxidation, necrosis and phytoalexin production induced by elicitors in *Nicotiana*. *Plant Physiology.* 111: 885-891.
181. **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.
182. ANONYME, 2008 – [www.colvir.net/prof/chatal.proulux/702/chapitre5.htm](http://www.colvir.net/prof/chatal.proulux/702/chapitre5.htm).
183. **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

184. **PAINTER R.H., 1958** - Resistance of plants to insects. *Rev. Entomology* 3. New York, pp.267-290.
185. **KUMBASLI M., 2005** – Etudes sur les composés polyphénoliques en relation avec l'alimentation de la tordeuse des bourgeons de l'épinette (*choristoneura fumiferana* (clem.)) Thèse Philosophiae Doctor (Ph.D.) Faculté de foresterie et de géomatique, université Laval, QUÉBEC, 150p.
186. **ALBERT P.J. et PARISELLA S., 1985** – Feeding preferences of eastern spruce budworm larvae in two-choice tests with combinations of host-plant extracts. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 38: 221-225.
187. **BAUCE É., CREPIN M. et CARISEY N., 1994** – Spruce budworm growth, development and food utilization on young and old balsam fir trees. *Oecologia* 97: 499-507.
188. **BAUCE É., 1995** – Application de l'écophysiologie de l'alimentation des insectes à la lutte contre la TBE: utilisation de la scie à chaîne. Comptes rendus du Séminaire sur la tordeuse des bourgeons de l'épinette : en savons-nous assez pour lutter efficacement contre la tordeuse? Direction de la recherche forestière et la Direction de la conservation des forêts, Ministère des Ressources Naturelles du Québec. 12-13 avril 1995. pp. 13-26.
189. **EDWARDS P. B. et WANJURA W. I., 1989** – Eucalypt-feeding insects bite off more than they can chew: sabotage of induced defenses? *Oikos* 54: 246-248.
190. **HAUKIOJA E. et NEUVONEN S., 1987** – Insect population dynamics and induction of plant resistance: the testing of hypotheses. In: Insect outbreaks. Edited by P. Barbosa & J.C. Schultz. *Academic Press*, New York. pp. 411-432.
191. **MATTSON W.J. et HAACK R.A., 1987** - The role of drought stress in provoking outbreaks of phytophagous insects. – In: Barbosa, P. and Schultz, J.C. (eds), Insect outbreaks. *Academic. Press*, San Diego, pp. 365-407.
192. **VAN RENSBURG L., KRÜGER H. et KRÜGER G.H.J., 1995** – Intercellular space variation among air-cured *Nicotiana tabacum* L. ecotypes and its relation to their water use efficiency. INRA, Inter drought, X-25.

193. **BERGMANN H., LEINHOS V., MACHELETT B. et SCHÖNBECK F., 1995** – Amino alcohols as tools to improve stress tolerance. INRA, Inter drought, VIII-26.
194. **ALBERT P.J., CEARLEY C., HANSON F. et PARISELLA S., 1982** – Feeding responses of eastern spruce budworm larvae to sucrose and other carbohydrates. *Journal of Chemical Ecology*, 8: 223-239.
195. **ALBERT P.J. et PARISELLA S., 1988** – Feeding preferences of eastern spruce budworm larvae in two-choice tests with extracts of mature foliage and with pure amino acids. *Journal of Chemical Ecology*, 14(8): 1649-1656.
196. **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. pp. 273-320.
197. **TURNER N.C., 1990** – The benefits of water deficit. In : proceedings of the international congress of plant physiology, New Delhi, India, Vol. 2, Sol. Plant Physiol. Biochem., New Delhi.
198. **BÁLO B., VARGA I., VÁRADI G. et MISIK S., 1995** – Drought damage in vineyards. INRA, Inter drought, VIII-27.
199. **MEDRANO H., AGUILO F. et SOCIAS F.X., 1992** – Effect of drought on subterranean clover: 1- leaf water relations of plants subjected to rapid or slowly induced drought. *Photosynthetica*, 27(3), 413-419.
200. **CABEZA C., KIN A. et LEDENT J. F., 1995** – Effect of irrigation and tiller removal on development and yield of the main shoot in two wheat cultivars. INRA, Inter drought, VIII-29.
201. **DIB T.A., MONNEVEUX P et ARAUS J.L., 1992** - Adaptation à la sécheresse et notion d'ideotype chez le blé dur. II : caractères physiologiques d'adaptation. Elsevier, INRA, Agronomie, 12, 381-393.
202. **DEBAEKE P., CASALS M.L. et PUECH J., 1996** – Elaboration du rendement du blé d'hiver en conditions de déficit hydrique.1. Etude en lysimètres. *Agronomie* 16, 3 – 23.
203. **TURNER N.C., WALTER R.S et EVANS P., 1987** – Water relations and osmotic adjustment of leaves and roots of Lupines' in response to water deficits. Published in *Crop Sci.*, 27, 977-983.

204. **GATE Ph. 1995** – Ecophysiologie du blé. ISBN 2 – 7430 – 0046 – 5. Ed Tec et Doc Lavoisier, 429 p.
205. **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'état en Sciences, 156 pp.
206. **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
207. **STEWART C.R., 1978** – role of carbohydrates in proline accumulation wilted Barley leaves. *Plant Physiol*, 61, 775-778.
208. **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, Pp 377 – 385.
209. **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.
210. **BELLINGER Y. et LARHER F. 1987** – Proline accumulation in higher plants: a redox buffer ? . *Plant Physiology*, 6, 23-27.
211. **CARCELLER J., 1995** – Proline and the export of N compounds from senescing leaves of Maize under water stress. INRA, Inter drought, VI-5.
212. **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.
213. **NOIRAUD N., DELROT S. et LEMOINE R., 2000** – The sucrose transporter of Celery. Identification and expression during salt stress 1. *Plant physiol.*, Vol.122, PP 1447-1456.
214. **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.
215. **KAMELI A. et LÖSEL D.M., 1995** – Carbohydrates and water status in

- wheat plants under water stress. *New Phytol.*, **125**, 609-614.
216. **KAMELI A. et LÖSEL D.M., 1995** – Contribution of carbohydrates and other solutes to osmotic adjustment in wheat leaves under water stress. *J. Plant Physiol.*, Vol .147, Pp 363-366.
217. **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.
218. **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*, Vol.124, Pp 71 - 84.
219. **MASTRANGELO A.M., RASCIO A., MAZZUCCO L., RUSSO M., CATTIVELLI L. et DI FONZO N., 2000** – Molecular aspects of abiotic stress resistance in durum wheat. *Option méditerranéenne*, N°40, 207 - 213.
220. **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, 1 – 13.
221. **LEVITT J., 1980** – Water stress. In « Responses of plants to environmental stresses». Vol. II, 2èd.edit. by T.T. KOZLOWSKI. *Academic press*, p 25 - 229.
222. **ALBOUCHI A., BEJAOUI Z. et EI AOUNI M. H., 2003** – Influence of moderate or severe water stress on the growth of *Casuarina glauca* Sieb. seedlings. *Sécheresse* (Montrouge) 14, 137-42. Institut national de recherches en génie rural, eaux et forêts, Tunisia
223. **WARING G.L. et COBB N.S., 1992** – The impact of plant stress on herbivore population dynamics, in: Insect-plant interactions. Vol. IV. Ed. E.A. CRC press. Florida, pp. 167-226.
224. **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. pp. 273-320.

225. **BRYANT J.P., CLAUSEN T.P., REICHHARDT P.B., MCCARTHY M.C. et WERNER R.A., 1987** – Effect of nitrogen fertilization upon the secondary chemistry and nutritional value of quaking aspen (*Populus tremuloides* Michx.) leaves for the large aspen tortrix (*Choristoneura conflictana* Walker). *Oecologia*, 73: 513-517.
226. **WARING G.L. et PRICE P.W., 1988** – Consequences of host plant chemical and physical variability to an associated herbivore. *Ecological Research*, 3: 205-216.
227. **KYTÖ, M., NIEMELA, P. et LARSSON, S, 1996** – Insects on trees: Population and individual response to fertilization. *Oikos*, pp. 148-168.
228. **MASON, R.R., WICKMAN, B.E., BECKWITH, R.C. et PAUL, H.G., 1992** – Thinning and nitrogen fertilization in a grand fir stand infested with western spruce budworm. Part I: Insect response. *Forest Sciences*, 38: 235-251.
229. **PIENE H., 1989** – Spruce budworm defoliation and growth loss in young balsam fir: defoliation in spaced and unspaced stands and individual tree survival. *Canadian Journal of Forest Research*, 19: 1211-1217.
230. **APPERT J., 1972.** Catalogue des insectes nuisibles aux cultures malgaches. IRAM, Madagascar, 125p.
231. **LOUCIF Z. et BONAFONTE P., 1977** – Observation des populations du pou de San José dans la Mitidja. *Rev. Fruits*, N° 4 .Vol .32, pp.253-261.
232. **MERCIER A., 1999** – L'importance du fonctionnement morphodynamiques du cour d'eau sur les habitats des éphémères l'exemple d'une rivière de montagne : l'Ariège (Pyrénées centrale françaises) », *Ephemera* , vol. 1 (2) : 111-117.
233. **ANONYME., 1998** – Changement climatique et ressources en eau dans les pays du Magreb, Algerie, Maroc, Tunisie, en jeux et perspective. Dept. Env. Rabat, Maroc, 55p.
234. **ANONYME., 2006** - Relevés climatologiques (2005-2006). Manuscrit I.T.A.F.V., Boufarik, 18p.
235. **STEWART P., 1969** – Quotient pluviométrique et dégradation biosphérique ; Quelques réflexions. *Bull. Soc. Hist. Afri. Du nord*, pp. 24-24.

236. **BAGNOULS F. et GAUSSEN H., 1953** – Saison sèche et indice xérothermique. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, 88 : 193-239.
237. **DAJOZ R., 1985** – Précis d'écologie. *Ed. Bordas, Paris, 505 p.*
238. **FRONTIER S., 1983** – Stratégie d'échantillonnage en écologie. *Ed. Masson, Paris et Les Presses de l'Université de Laval, Québec, 494 p.*
239. **VAN BRUMMELEN T.C., et SUIJFZAND 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 supplement*, pp. 921-929.
240. **WIN DECOEN T., 2000** – Influence of metals on reproduction, mortality and population growth in *Onychiurus armatus (Collembola)*. *Jour. of Applied Ecol.* 22, pp. 967-978.
241. **KJELDHAL J., 1883** – Neue Method zur Bestimmung des Stickstoffs in organischem körpen. *Z. Anal. Chem*; 22. P: 366-382.
242. **DUBOIS M.K.A., GILLES Y.K., HAMILTON P.A et al., 1956** – Colemetric method for determination of sugars and related substance. *Anal and Chem. Jour.* 28. P: 350-356.
243. **TROLL W. et LINDSLEY J., 1955** – A photometric method for the determination of proline. *J. Biol. Chem.*, 216, pp. 655 – 660.
244. **DREIR W. et GORING M., 1974** – Der einfluss boher. Salzkonzentrationen auf physiologische parameter von aiswurzelu. *Wiss. Der H. V. Berlin, Nath. Naturwiss*, 23, 641 – 646.
245. **LEBRETON P., JAY M., et VOIRIN B., 1967** – Sur l'analyse qualitative et quantitative des flavonoïdes. - *Chim. Anal. (Paris)*, 49(7), 375-383.
246. **IGANAKI H., 1967** – Mise au point de la loi de Motomura et essai d'une écologie évolutive, *Vie Milieu* 18 153-166.
247. **HAMMER O., HARPER D.A.T., et RYAN P. D., 2001** – PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9pp. [http://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm)
248. **PHILLIPPEAU G., 1986** – Comment interpréter les résultats d'analyse en

composantes principales (ACP). Institut technique des céréales et fourrages (ITCF), Paris.

249. **BENASSY C., 1975** – Les cochenilles des agrumes dans le bassin méditerranéen. Ann. Inst. Nat. Agro. Vol. V, n°6, El-Harrach, pp. 118-142.
250. **CHARLES S., FERREOL M., CHAUMOT A., et PÉRY A.R.R., 2004** – Food availability effect on population dynamics of the midge *Chironomus riparius* : a Leslie modeling approach. *Ecological Modelling* 175: 217-229.
251. **CASWELL, H., 2001**. Matrix Population Models. Sinauer Associated Inc., second edition. Sunderland.
252. **SAHA S. K. et BREWER C. F., 1993** – Determination of the concentration of oligosaccharides, complex type carbohydrates, and glycoproteins using the phenol-sulfuric acid method. *Carbohydrate research*, 254: 157 – 167.
253. **BEENAKKERS A. M. T., VAN DE HORST D. J. et VAN MARREWIJK, 1981** – Role of lipids in energy metabolism. Energy metabolism in insects. Downer, R. G. H., New York: 53- 100.
254. **SANDSTRO M J. P., RUSSELL J. A., WHITE J. P., et Moran N. A., 2001** - Independent origins and horizontal transfer of bacterial symbionts of aphids. *Mol. Ecol.* **10**:217–228
255. **LEVINS R., 1968** – Evolution in changing environments. *Princeton University Press*, Princeton.
256. **BARBAULT R., 1984** – Le concept de stratégie démographique, point de rencontre privilégié entre écologistes et généticiens de populations? *Acta Oecologica. Oecologia generalis* **5** : 243-259.
257. **ROFF D.A., 1992** – The evolution of life histories: theory and analysis. Chapman & Hall, London.
258. **HOPKINS. (1999)**. Introduction to plant physiology. Second edition. The university of western Ontario. *Edit. John Wilay and sons., Inc*, 512 p.
259. **BOUAOUINA S., ZID E et HAJJI M., 2000** – Tolérance à la salinité, transports ioniques et fluorescence chlorophyllienne chez le blé dur (*Triticum turgidum* L.). Option Méditerranéennes N°40, 239-243.
260. **APPEL H.M., 1993** – Phenolics in ecological interactions: the importance

of oxidation. *Journal of Chemical Ecology*, 19: 1521-1552.

261. **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.
262. **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.
263. **BAUCE É. et HARDY Y., 1988** – Effects of drainage and severe defoliation on the raw fiber content of balsam fir needles and growth of the spruce budworm (Lepidoptera: Tortricidae). *Environmental Entomology*, 17: 671-674.
264. **TURNER N.C., WALTER R.S et EVANS P., 1987** – Water relations and osmotic adjustment of leaves and roots of Lupins in response to water deficits. Published in *Crop Sci.*, 27, 977-983.
265. **ARAUS J. L., ALEGRE L., TAPIA L. et CALAFELLA R.,1986** – Relationship between leaf structure and gas exchange in wheat leaves at different insertion levels. *Journ . Exp . Bot.*, Vol (17), N° 182, PP 1323-1333.
266. **FLAVIA N.I., MILONE M.T., QUARTACCI M.K. and PINZINO C., 1993** – Plant Response to Water-Deficit Conditions. *Elsevier Sci. Pub. Ireland LTD*, 151-157.
267. **CASTRILLO M., FERNANDEZ D., CALCAGNOA M., GARCIA P., TRUJILLO I., KAZANDJIRAN A., FERNANDEZ P. et BELLATRIX M., 1995** – Effect of water deficit on plant metabolism in Maize, Tomato and Bean. INRA, Inter drought, VI-6.
268. **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*. Ed. University of Texas press, pp. 212-263.
269. **MATTHEWS R. E. F., 1991** – Relationships between plant viruses and invertebrates. In REF Matthews, Ed, *Plant Virology*, Ed 3. Academic Press, NY, pp. 520–561.
270. **GLAZEBROOK J. 1999** – Genes controlling expression of defense responses in *Arabidopsis*. *Curr. Opin. Plant. Biol.* 2: 280–286;

271. **HAIN F. P., 1987** – Interactions of insects, trees and air pollutants. *Tree Physiology*. 3: 93-102.
272. **MATTSON W. J. et HAACK R. A., 1987** – The role of drought in outbreaks of plant-eating insects. *BioScience*, 37, 2, pp. 110-118.
273. **LARSSON S., 1989** – Stressful times for the plant stress-insect performance hypothesis. *Oikos* 56(2):277-283
274. **POLLARD D. G., 1972** – Plant penetration by feeding aphids (Hemiptera, Aphidoidea): a review. *Bull. Entomol. Res.* 62: 631–714
275. **MILES P. W., 1999** – Aphid saliva. *Rev. Biol.* 74: 41–85
276. **VAN DER WESTHUIZEN A. J., QIAN X. M. et Botha A. M., 1998** - b-1,3-glucanase in wheat and resistance to the Russian wheat aphid. *Physiol Plant* 103: 125–131
277. **FIDANTSEF A.L., STOUT M.J., THALER J.S., Duffey S.S. et BOSTOCK R.M., 1999** – Signal interactions in pathogen and insect attack: expression of lipoxygenase, proteinase inhibitor II, and pathogenesis-related protein P4 in the tomato, *Lycopersicon esculentum*. *Physiol Mol Plant Pathol* 54: 97–114
278. **INBAR M., DOOSTDAR H., LEIBEE G. L. et MAYER R. T., 1999** – The role of plant rapidly induced responses in asymmetric interspecific interactions among insect herbivores. *J Chem Ecol* 25: 1961–1979
279. **PURCELL A. H., NAULT L. R., 1991** – Interactions among plant pathogenic prokaryotes and insect vectors. In P Barbosa, VA Krischik, CG Jones, eds, *Microbial Mediation of Plant-Herbivore Interactions*. J. Wiley and Sons, New York, pp 383–405
280. **DENNO R. F., MCCLURE M. S., 1983** – Variable plants and herbivores in natural and managed systems. Academic Press, New York, 717 pp
281. **RAUPP M. J. et DENNO R. F., 1983** – Leaf age as a predictor of herbivore distribution and abundance. In: Denno RF, McClure MS (eds) *Variable plants and herbivores in natural and managed systems*. Academic Press, New York, pp 91-124
282. **CIFO, 1995** - Fertilisers, gardening and agricultural products - Seeds and bulbs. Products for wine-growing and vegetal nutrition in general.

283. **FEENY P.P., 1970** – Seasonal changes in oak leaf tannins and nutrients as a cause of spring feeding by winter moth caterpillar. *Ecology*, 51: 565-581.
284. **MARSCHAL J., 1974-** Influence des porte-greffes sur la composition foliaire du clémentinier et d'autres espèces d'agrumes sous différents climats. *Rev. Fruit*, vol. 6, n°21, pp. 21-148.
285. **MARSCHAL M., 1975-** Variations saisonnières de la composition minérale des feuilles de clémentinier greffée sur bigaradier, Citrange « troyer » et *Poncirus trifoliata* en Corse. *Rev. Fruit*, vol. 5, n° 30, pp. 329-337.
286. **COÛC Y, TENDILLE C., 1972** – Importance de la racine dans la synthèse protéique chez certains genres de végétaux, *Acad. Agr. France*, pp. 681 – 690.
287. **CHABOT S., 2008** – Effet de la phénologie de l'hôte sur le développement du charançon du pin blanc (*Pissodes strobi*, peck). Mémoire de la Maîtrise en Biologie. Univ. du québec , 83p
288. **HAGERMAN A.E. et BUTLER L.G., 1991** – Tannins and lignins. pp.355-388 in G.A. Rosenthal and M.R. Berenbaum (eds.). *Herbivores, Their Interaction with Secondary Plant Metabolites*, Vol. I. The Chemical Constituents, 2nd ed. Academic Press, San Diego California.
289. **AWMACK C. S., et LEATHER S. R. 2002** – Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. *Annual Review of Entomology*, 47, pp. 817-844.
290. **STAMP N. E. et BOWERS M. D., 1991** – Indirect effect on survivorship of caterpillars due to presence of invertebrate predators. *Oecologia*, 88, 325-330.
291. **BENDEROTH M., TEXTOR S., WINDSOR A.J., MITCHELL-OLDS T., GERSHENZON J. et KROYMANN J., 2006** – Positive selection driving diversification in plant secondary metabolism. *Proc Natl Acad Sci USA* 103:9118–9123
292. **ALFARO R., LEWIS K., KING J., EL-KASSABY Y.A., BROWN G. et SMITH L.D., 2000** – Budburst phenology of Sitka spruce and its relationship to white pine weevil attack. *For. Eco. Management* 127: 19-

- 29.
293. **MARTIN D., THOLL D., GERSHENZON J. et BOHLMANN J., 2002** – Methyl Jasmonate Induces Traumatic Resin Ducts, Terpenoid Resin Biosynthesis, and Terpenoid Accumulation in Developing Xylem of Norway Spruce Stems. *Plant Physiol.*129: 1003-1018.
294. **BOCCO A. et HUBERT R., 1997** – Pouvoir antioxydant des polyphénols extraits de sous-produits d'agrumes Travaux Universitaires - Thèse nouveau doctoral. Ecole nationale supérieure des industries agricoles et alimentaires, Massy, France, 116 p.
295. **REGNAULT R.C., HAMRAOUI A., 1994** – Inhibition of reproduction of *Acanthoscelides obtectus* Say.(Coleoptera), a kidney bean (*Phaseolus vulgaris*) bruchid, by aromatic essential oils, *Crop Protection* 13, 8, 624-628
296. **KUEHNAV, 1986-** The flavonoids, A Class of semi-essentiels. Food components, their role in human Nutrition. *World Rev. Nutr. Diet.*, 24, pp: 117-191.
297. **BAUMANN P., MORAN N. A. et BAUMANN L., 2000** – Bacteriocyte-associated endosymbionts of insect. In Dworkin M (Ed) *The prokaryotes*. Springer-Verlag. New York. pp. 1-67. [Online] <http://link.springer.de/link/service/books/10125/>.
298. **RUSSELL. J A. et MORAN.N A., 2005** – Horizontal Transfer of Bacterial Symbionts: Heritability and Fitness Effects in a Novel Aphid Host. *APPLIED AND Environmental Microbiology, American Society for Microbiology*. Vol. 71, No. 12,8p.
299. **BEN HALIMA-KAMEL M., BEN HAMOUDA M.H. et RABASSE J.M., 1994** – Les pucerons des agrumes et leurs ennemis en Tunisie. *Tropicultura* 12 (4), p. 145-147.
300. **PERY A., 2003** – modélisation des effets des toxiques sur cheironme *chironomus riparius* de l'individu à la population, univ. Claude bernard – lyon 1, thèse doctorat, pp 120
301. **RISTOLA T., PELLINEN J., ROUKOLAINEN M., KOSTAMO A., 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* , 1999,18 :756-764.

302. **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.
303. **PHILOGENE J.R. et ARNASON J.T., 1986**- L'influence des composés secondaires des plantes sur la biologie des insectes. *Rev. Entom. Québ.*- Vol. 31 (1/2), pp. 33-42.
304. **CARISEY N. et BAUCE É., 1997** – Impact of balsam fir foliage age on sixth-instar spruce budworm growth, development and food utilization. *Canadian Journal of Forest Research*, 27: 257-264.
305. **CARISEY N. et BAUCE É., 2002** – Does nutrition-related stress carry over to spruce budworm, *Choristoneura fumiferana* (Lepidoptera: Tortricidae) progeny? *Bulletin of Entomological Research* 92: 101-108.
306. **VINCENT C.H. et BOIVIN G., 1986** – Les relations insectes- plantes : Perspectives de recherche. *Rev. Entom. Québ.*-Vol. 31 (1/2), pp. 5- 15.
307. **STAEMPFLI G., 2001** – Etude des relations entre l'exposition de "*Folsomia candida*" à un micropolluant organique et les effets observés à différents niveaux d'organisation biologique : utilité des biomarqueurs comme outil prévisionnel. Thèse EPFL, Maîtrise d'écologie, Université de Bourgogne, France. 141p.
308. **BEN HALIMA-KAMEL M., 1995** – Contribution à l'étude de la dynamique des populations de pucerons en vergers d'agrumes. *Bulletin OILB/SROP* 18 (5), p. 39-46.
309. **SIROT E. et BERNSTEIN C., 1996** – Time sharing between host searching and food searching in parasitoids: state-dependent optimal strategies. *Behavioral Ecology* 7 (2): 189.
310. **CASAS J., NISBET R.M., SWARBRICK S. et MURDOCH W.W., 2000** – Eggload dynamics and oviposition rate in a wild population of a parasitic wasp. *Journal of Animal Ecology*. 69. 185-193.
311. **CAMPANELLA P.J. et WOLF L.L., 1974** - Temporal leks as a mating system in a temperate zone dragonfly (Odonata : Anisoptera). I. *Plathemis lydia* (Drury). *Behavior* 51 49-87.
312. **RINGO J., 1996** – Sexual receptivity in insects. *Annual Reviews in Entomology* 41 473-494.

313. **VANCASSEL M., 1977** – Le développement du cycle parental de *Labidura riparia*. *Biology of Behaviour* **2** 51- 64.
314. **OLSSON O., 1997** – Clutch abandonment: a state-dependent decision in King Penguins. *Journal of Avian Biology*- 28 (3): 264.
315. **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.
316. **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*. 821-826.
317. **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.
318. **ROITBERG B. D., et PROKOPY R. J., 1983** – Host deprivation influence on response of *Rhagoletis pomonella* to its oviposition deterring pheromone. *Physiological Entomology*, 8, 69-72.
319. **BOVE J.M., 1995** – Virus and virus, like diseases of Citrus in the Near East Region FAO. Ed. Rome, Italy, 518p.
320. **VERNIERE C., 2003** – Analyse du Risque Phytosanitaire (ARP). Filière de production : AGRUMES. Organisme nuisible : *Citrus exocortis* viroid (CEVd). AGR-v1. CIRAD, 26p.
321. **VERNIERE C., 2003** – Analyse du Risque Phytosanitaire (ARP). Filière de production : AGRUMES. Organisme nuisible : Hop stunt viroid (HSVd-c). AGR-v1. CIRAD, 26p.
322. **LE BLANC F., 2005** – les agrumes et leurs predateurs. Ed. Cirad. France.