

## **Remerciements**

*Je ne trouve vraiment pas mes mots pour exprimer ma profonde gratitude à l'égard de mes Professeurs Messieurs **LAZRAQ Abderrahim** et **LOUAHLIA Saïd** qui ont encadré ma thèse. Vous avez su, durant toute cette période, être toujours disponibles tout en me laissant beaucoup d'autonomie. Vos compétences et votre ouverture d'esprit m'ont beaucoup apporté. Merci de tous les efforts que vous avez concédés à ce travail. Vos conseils et corrections pertinents m'ont guidé durant cette étude.*

*Je remercie par la même occasion le Professeur **EL GHADRAOUI Lahsen**, Directeur du laboratoire Ecologie Fonctionnelle et Environnement, pour son accueil chaleureux et sa patience. Merci de votre gentillesse, votre patience et vos précieux conseils. J'ai beaucoup apprécié de travailler à vos côtés tant sur le plan scientifique que sur le plan humain. Je garde toujours beaucoup de plaisir à discuter avec vous et à bénéficier de vos conseils.*

*J'adresse mes remerciements les plus sincères aux **membres de jury** qui m'ont fait l'honneur de lire et d'évaluer mon manuscrit et de participer à mon jury de thèse.*

*Je remercie le Professeur **José Alberto Pereira** de m'avoir accueilli au sein de son laboratoire d'Agro biotechnologie à l'Institut Polytechnique de Bragança (Portugal). Merci à l'équipe du laboratoire d'Agro biotechnologie, en particulier Dr. Maria Villa pour son soutien.*

*Mes sincères remerciements au Professeur **Mohammed MERZOUKI** et toute l'équipe du laboratoire de Biotechnologie à la Faculté des Sciences Dhar El Mahraz de l'Université Sidi Mohamed Ben Abdellah-Fès. Particulièrement Madame Fatiha SOUNNI de leur contribution technique.*

*Je tiens également à remercier les propriétaires des vergers d'étude, pour leur hospitalité et pour leur grandeur d'esprit. Je remercie tout particulièrement Monsieur Mohamed Harti pour sa disponibilité, gentillesse et les précieuses informations, dont il m'a fait part. Merci à Monsieur Majid, Technicien au domaine Harti, pour son aide précieuse.*

*Mes sincères remerciements à tout le corps enseignant du Département de Biologie qui m'ont beaucoup aidé et conseillé, à travers ma participation à l'encadrement des Travaux pratiques pendant la préparation de la présente thèse.*

*Merci à Saad EL MOURABIT de m'avoir aidé et accompagné durant mes études sur terrain. Merci à Mme Mariame Houhou pour son aide à la*

*réalisation du dosage des polyphénols totaux et des flavonoïdes de mes extraits de plantes. J'aimerai remercier par la même occasion tous mes collègues du laboratoire Ecologie Fonctionnelle et Environnement pour l'ambiance sympathique qui y règne, et tous mes ami(e)s doctorant(e)s qui m'ont toujours accompagné de leur présence, leurs conseils et leur soutien.*

*Je suis, tout particulièrement, reconnaissant envers mes chers parents de m'avoir donné la possibilité de réaliser ce que j'avais entrepris. Toute expression me paraît insignifiante devant ce que vous faites. Merci du fond du cœur. Ce travail n'aurait pas vu le jour sans vos concessions, encouragements et soutien permanent, que dieu tout puissant vous préserve !*

## Avant-propos

Ces travaux de recherche ont été réalisés dans le cadre d'une collaboration entre le laboratoire des Ressources Naturelles et Environnement, de la Faculté polydisciplinaire de Taza et le laboratoire d'Ecologie Fonctionnelle et Environnement, de la Faculté des Sciences et Techniques de l'Université Sidi Mohamed Ben Abdellah-Fès.

Les résultats obtenus dans le cadre de ce travail, ainsi que la collaboration avec d'autres membres du laboratoire, ont permis la rédaction et la publication d'un certain nombre d'articles scientifiques et la participation à des congrès, séminaires et forums au niveau national et international.

### Articles publiés

- **Meni Mahzoum Abdelkader**, Louahlia S, El Ghadraoui L, M. Rochdi, Lazraq A. 2018. Dynamics of codling moth larvae (*Cydia pomonella* L.) in three varieties of apple (*Malus domestica* Borkh.) in the region of Aït Sbaa (Morocco). Journal of Materials and Environmental Sciences. ISSN: 2028-2508. Volume 9, Issue 5, Page 1512-1517.

- **Meni Mahzoum Abdelkader**, Lazraq A, El Ghadraoui L, Rais C, Louahlia S 2017. Study of the dynamics of codling moth larvae (*Cydia pomonella* L.) in three varieties of Apple (*Malus domestica* Borkh.) in the region of Laanoucer (Morocco). Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. ISSN: 0975-8585. 8(2) Page No.696.

- Errabhi N, El Ghadraoui L, Essakhi D, **Meni Mahzoum Abdelkader**, Lazraq A. 2017. Altitudinal effect and its ecological influence on population dynamics of locust, *Dociostaurus maroccanus* (Thunberg, 1815) in the Moroccan Middle Atlas. Journal of Entomological Research ISSN : 361-368. Volume 41 (4), Page 361-368

- Rais C, Lazraq A, Nechad I, Houhou M, El Harchali H, El Ghadraoui L, **Meni Mahzoum Abdelkader**, Louahlia S. 2017. The biochemical and metabolic profiles of the leaves in *Ziziphus lotus* L. would constitute a potential adaptive criterion to the environmental conditions. Journal of Materials and Environmental Sciences ISSN : 2028-2508. Volume 8, Issue 5, Page 1626-1633.

- Zaim A, Benjelloun M, El Harchli E, Farah A, **Meni Mahzoum Abdelkader**, El Ghadraoui L, Alaoui Mhamdi M. 2015. Chemical composition and acridicid properties of

the moroccan *Tanacetum annuum* L. essential oils. International journal of engineering and science ISSN : 2278-4721. Volume 5, Issue 5, Page 13-19.

### **Articles soumis à publications**

- **Meni Mahzoum Abdelkader**, Louahlia S, El Ghadraoui L, Lazraq A. Influence of apple Variety and canopy on *Cydia pomonella* Larval infestation.
- **Meni Mahzoum Abdelkader**, Lazraq A, El Ghadraoui L, Louahlia S. Apple (*Malus domestica* Borkh.) tree morphological characterization in the Middle Atlas (Morocco).
- **Meni Mahzoum Abdelkader**, Lazraq A, El Ghadraoui L, Louahlia S. Laboratory and field experiments towards the development of a bioinsecticide for the control of the codling moth, *Cydia pomonella* L.
- **Meni Mahzoum Abdelkader**, Villa M, Benhadi-Marín J, Pereira JA. Functional response of *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) larvae on *Saissetia oleae* (Olivier) (Hemiptera: Coccidae): implications for biological control

### **Communications scientifiques**

- **Meni Mahzoum Abdelkader**, Villa M, Benhadi-Marín J, Pereira JA. (2018, Juin). Functional response of *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) to *Saissetia oleae* (Olivier) (Hemiptera: Coccidae). 8th IOBC-WPRS meeting on “Integrated Protection of Olive Crops”, Florence, Italie.
- **Meni Mahzoum Abdelkader**, Villa M, Benhadi-Marín J, Pereira JA. (2018, Juin). A cochonilha negra, *Saissetia oleae*, como alimento para larvas e adultos de *Chrysoperla carnea* s.l.. 8º Simpósio Nacional de Olivicultura, Santarém, Portugal.
- **Meni Mahzoum Abdelkader**, El Mourabit S, El Khetabi A, Louahlia S, Lazraq A, El Harchli E, Rais C, El Ghadraoui L, Benjelloun M. (2015, octobre). Contribution à l'élaboration d'une méthode alternative à la lutte chimique contre *Penicillium expansum* sur les pommes (*Malus domestica* Borkh.). Congrès International : Biotechnologie au Service de la Société, Fès, Maroc.
- **Meni Mahzoum Abdelkader**, El Mourabit S, Louahlia S, El Harchli E, Rais C, El Ghadraoui L, Lazraq A. (2015, novembre). Étude de l'effet des huiles essentielles de

*Rosmarinus officinalis* sur la survie du carpocapse. Forum international sur les plantes aromatiques et médicinales : valorisation et innovation, Fès, Maroc.

- **Meni Mahzoum Abdelkader**, El Mourabit S, Louahlia S, El Harchli E, Rais C, El Ghadraoui L, Lazraq A. (2014, décembre). Utilisation des huiles essentielles de *Rosmarinus officinalis* et *Thymus vulgaris* dans la lutte antifongique chez le pommier. 1<sup>er</sup> workshop national de biodiversité : plateforme au service du développement durable, Fès, Maroc.

- **Meni Mahzoum Abdelkader**, El Mourabit S, Louahlia S, El Harchli E, Rais C, El Ghadraoui L, Lazraq A. (2014, décembre). Étude de la variabilité de quelques caractères morphologiques de trois variétés de pommier (*Malus domestica* Borkh.). 1<sup>er</sup> workshop national de biodiversité : plateforme au service du développement durable, Fès, Maroc.

Par ailleurs, le travail collaboratif au sein d'une équipe de chercheurs a permis ma contribution à la réalisation et la rédaction d'articles scientifiques et des participations à des manifestations scientifiques diverses :

- Rais C, Nechad I, Houhou M, Bouayad K, **Meni Mahzoum Abdelkader**, El Ghadraoui L, Lazraq A, Louahlia S. (2015, novembre). Analyse de la variabilité morphologique chez trois populations naturelles de *Ziziphys lotus* au Maroc. 1<sup>er</sup> workshop national de biodiversité : plateforme au service du développement durable, Fès, Maroc.

- Rais C, Louahlia S, Nechad I, Houhou M, **Meni Mahzoum Abdelkader**, Bouayad K, Lazraq A, El Ghadraoui L. (2015, novembre). Potential impact of contrasting environmental conditions on leaf content of soluble carbohydrates and soluble proteins in three Moroccan populations of *Ziziphys lotus*. Forum international sur les plantes aromatiques et médicinales : valorisation et innovation, Fès, Maroc.

## **Distinctions**

- Intervention, entant que conférencier sur la valorisation des algues bleues, à l'Institut Polytechnique de Bragança (Portugal), le 29 Juin 2018.
- Intervention, entant que conférencier sur l'invasion de méduses sur la Côte de Martil (Maroc), à l'Ecole écologique internationale « Eau, adaptation et innovation face au réchauffement climatique sur le littoral », au 4 Avril 2016 à la Communauté urbaine de Dunkerque (France).
- Intervention, entant que conférencier sur le thème Agriculture Biologique, à la journée Développement Durable du Lycée Lyautey de Casablanca, le 19 Mars 2016.
- Membre du Jury à l'évènement "6 minutes pour convaincre" de la manifestation de l'Institut Français de Casablanca "le Climat change et nous ?", organisé le 10 décembre 2015 en marge de la COP21.
- Troisième prix du jury à la finale internationale "Ma thèse en 180 secondes", le 1er octobre 2015 à l'université Paris-Sorbonne (France).
- Intervention en tant que lauréat du concours "Ma Thèse en 180 secondes" à la 1ère édition de la rencontre ingénieurs & docteurs le 1er juillet 2015 à l'École Mohammadia d'ingénieurs à Rabat.
- Deuxième prix du jury à la finale nationale "Ma thèse en 180 secondes", le 12 Juin 2015 au Centre National pour la Recherche Scientifique et Technique à Rabat.
- Troisième prix du jury au "Falling Walls Lab (Germany)" pour ma présentation intitulée "Codling moth biological control", le 4 Mars 2015 au palais des congrès de Fès.

## Résumé

La caractérisation morphologique du pommier dans la région du Moyen Atlas marocain porte sur trois variétés : Golden delicious, Royal gala et Starking delicious. Les parcelles étudiées se situent à des altitudes différentes et sont soumises à des pratiques culturales standards. Dans un premier temps, nous avons étudié la morphométrie du pommier des différentes variétés ; ce qui nous a permis de mettre en évidence les différents critères morphologiques distinctifs de ces variétés à différentes altitudes. Starking delicious étant la plus faible au niveau de ses mesures morphométriques. Dans un deuxième temps, en tenant compte de l'altitude de la parcelle, nous avons abordé la dynamique des populations de carpocapse (*Cydia pomonella* L.), ravageur du pommier, en fonction de nombreux facteurs, dont la variété, les points cardinaux et le niveau de la plante. Les résultats obtenus ont montré un lien étroit entre l'ensemble de ces facteurs et le taux d'infection par le carpocapse. En outre, la variété Starking delicious étant la moins attaquée. Au niveau de l'orientation, la partie Nord de la plante se montre la moins infestée. Quant au niveau de la plante, la position moyenne est la plus attaquée par les larves de *C. pomonella*. En dernier lieu, nous avons mené une étude de lutte contre les larves de carpocapse, en utilisant les extraits aqueux de trois plantes aromatiques et médicinales : *Mentha pulegium*, *Lavandula officinalis* et *Cupressus sempervirens*, *in vitro* comme *in vivo*. Les résultats obtenus ont montré que ces extraits ont un effet répulsif, relativement important, avec un effet très apparent de *L. officinalis* utilisée à forte concentration (300g/l).

**Mots clés** : pommier, caractérisation, *Cydia pomonella*, attaque, effet répulsif, extrait de plantes.

## Abstract

The morphological characterization of the apple tree (*Malus domestica* Borkh.) in the Moroccan middle Atlas region concerns three varieties: Golden delicious, Royal gala and Starking delicious. The studied plots are located at different altitudes under standard cultivation practices. Firstly, we studied the morphometry of the apple trees; This allowed us to reveal different morphological distinguished criteria of these varieties in different altitudes. Starking delicious is the weakest in its morphometric measurements. Secondly, considering the plot altitude, we approached the dynamics of the codling moth (*Cydia pomonella* L.), insect pest of apple trees, depending on many factors, which are the altitude, the apple varieties, the cardinal points and the tree canopy. The results showed a close link between these factors and the rate of infection by the codling moth. In addition, Starking delicious variety is the least attacked. Concerning the canopy, the north-facing side of apple trees is less damaged by codling larvae. However, the middle height level of the apple tree is the most attacked by *C. pomonella* larvae. Finally, we performed a codling moth control study, using aqueous extracts of tree aromatic and medicinal plants: *Mentha pulegium*, *Lavandula officinalis* and *Cupressus sempervirens*, *in vitro* as well as *in vivo*. The results showed that these extracts have a relatively high repellent effect, with a very apparent effect of *L. Officinalis* used at high concentration (300g/l).

**Keywords:** apple tree; characterization; *Cydia pomonella*; attack; repellent effect; plant extract.

## ملخص

من خلال دراسة الخصائص المورفولوجية لشجرة التفاح بالأطلس المتوسط المغربي ركزت على 3 أصناف هي: Starking delicious و Royal gala و Golden delicious. تقع القطع الأرضية المدروسة على ارتفاعات مختلفة وتخضع لممارسات زراعية موحدة. أولا، قمنا بدراسة مرفو مترية لأشجار التفاح بين أصناف مختلفة؛ الشيء الذي مكنا من استخلاص اختلافات في الخصائص المورفولوجية بين الأصناف الثلاثة المتواجدة على ارتفاعات مختلفة. هذه الخصائص أصغر عموما لدى Starking delicious. ثانيا، تطرقنا لديناميكية مجموعة دودة التفاح (*Cydia pomonella* L.) أي الآفة الحشرية لشجرة التفاح، أخذا بعين الاعتبار ارتفاع البقعة الأرضية، وذلك بالدلالة على مجموعة من العوامل الآتية: صنف التفاح والجهات الأربع للبوصلية ومستوى الشجرة. فيما يخص صنف التفاح، تعرض Starking delicious لهجات أقل بسبب هذه الآفة الحشرية. أما بالنسبة للجهات الأربع للبوصلية، فالجهة الشمالية لشجرة التفاح هي الأقل تلفا. بخصوص مستوى النبتة، تعرض المستوى الأوسط لشجرة التفاح لتلف أكثر من طرف يرقات *C. pomonella*. ثالثا، قمنا بدراسة لمحاربة يرقات دودة التفاح، باستعمال المستخلصات المائية لثلاثة نباتات طبية وعطرية: *Mentha pulegium* و *Lavandula officinalis* و *Cupressus sempervirens*، بالوسط المخبري كما بالوسط الحيوي. حصلنا على نتائج بينت أن هذه المستخلصات لها تأثير طارد، هذا التأثير كان واضح جدا بعد استعمال *L. officinalis* بتركيز عال (300g/l).

**الكلمات المفتاحية:** شجرة التفاح، دراسة الخصائص، *Cydia pomonella*، هجمة ، تأثير طارد، مستخلص النبتة.

## Liste des abréviations

<b>CYP</b>	: Cyprès vert
<b>DO</b>	: Densité optique
<b>EqAG</b>	: Équivalent Acide Gallique
<b>EqQ</b>	: Équivalent Quercétine
<b>FAOstat</b>	: Bases de données Statistiques de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
<b>GD</b>	: Golden delicious
<b>HPLC</b>	: Chromatographie Liquide à Haute Performance
<b>LAV</b>	: Lavande officinale
<b>MAPM</b>	: Ministère de l'agriculture et de la pêche maritime du Maroc
<b>MP</b>	: Menthe pouliot
<b>PAM</b>	: Plantes Aromatiques et Médicinales
<b>RG</b>	: Royal gala
<b>SD</b>	: Starking delicious
<b>TR</b>	: Temps de rétention
<b>UV</b>	: Ultraviolet.

## Liste des figures

Figure 1. Composantes morphologiques principales du pommier .....	5
Figure 2. Fleur du pommier ( <i>Malus domestica</i> Borkh.) .....	6
Figure 3. Répartition de la superficie du pommier par région au Maroc .....	8
Figure 4. Répartition de la superficie occupée par les variétés de pommier au Maroc.....	10
Figure 5. Description des cinq stades de développement du pommier .....	11
Figure 6. Carpopapse adulte ( <i>Cydia pomonella</i> L.).....	14
Figure 7. Larve de carpopapse .....	15
Figure 8. Distribution géographique de <i>Cydia pomonella</i> .....	16
Figure 9. Cycle biologique de <i>Cydia pomonella</i> .....	17
Figure 10. Dégâts actifs causés par les larves de carpopapse au niveau des pommes.....	19
Figure 11. Situation géographique du transect étudié .....	25
Figure 12. Les différentes mesures d'un arbre de pommier .....	27
Figure 13. Les différentes mesures d'une feuille de pommier .....	28
Figure 14. Les différentes mesures de la pomme .....	28
Figure 15. Observation de l'arbre selon sa hauteur .....	29
Figure 16. Observation de l'arbre selon son orientation .....	29
Figure 17. Dispositif expérimental du test de lutte contre les larves de carpopapse .....	33
Figure 18. Disposition des arbres dans le verger traité par les extraits de plantes .....	34
Figure 19. Hauteur des pommiers en Juillet et Août 2014 .....	37
Figure 20. Largeur des pommiers en Juillet et Août 2014. ....	38
Figure 21. Diamètre du tronc des pommiers en Juillet et Août 2014.....	39
Figure 22. Hauteur des pommiers en Juillet et Août 2015 .....	42
Figure 23. Largeur des pommiers en Juillet et Août 2015 .....	43
Figure 24. Diamètre du tronc des pommiers en Juillet et Août 2015.....	44
Figure 25. Longueur des branches charpentières en Juillet et Août 2014.....	49
Figure 26. Longueur des entre-nœuds des branches charpentières en Juillet et Août 2014...50	
Figure 27. Longueur des branches charpentières en Juillet et Août 2015.....	53
Figure 28. Longueur des entre-nœuds des branches charpentières en Juillet et Août 2015...54	
Figure 29. Longueur des branches fructifères en Juillet et Août 2014.....	59
Figure 30. Longueur des entre-nœuds des branches fructifères en Juillet et Août 2014.....	60

Figure 31. Nombre de feuilles des branches fructifères en Juillet et Août 2014.....	61
Figure 32. Nombre de pommes des branches fructifères en Juillet et Août 2014.....	62
Figure 33. Longueur des branches fructifères en Juillet et Août 2015.....	67
Figure 34. Longueur des entre-nœuds des branches fructifères en Juillet et Août 2015.....	68
Figure 35. Nombre de feuilles des branches fructifères en Juillet et Août 2015.....	69
Figure 36. Nombre de pommes des branches fructifères en Juillet et Août 2015.....	70
Figure 37. Longueur de pétiole en Juillet et Août 2014.....	76
Figure 38. Epaisseur du pétiole en Juillet et Août 2014.....	77
Figure 39. Longueur de limbe en Juillet et Août 2014.....	78
Figure 40. Largeur de limbe en Juillet et Août 2014.....	79
Figure 41. Longueur de pétiole en Juillet et Août 2015.....	86
Figure 42. Epaisseur du pétiole en Juillet et Août 2015.....	87
Figure 43. Longueur de limbe en Juillet et Août 2015.....	88
Figure 44. Largeur de limbe en Juillet et Août 2015.....	89
Figure 45. Longueur des pommes en Juillet et Août 2014.....	92
Figure 46. Largeur des pommes en Juillet et Août 2014.....	93
Figure 47. Longueur des pommes en Juillet et Août 2015.....	98
Figure 48. Largeur des pommes en Juillet et Août 2015.....	99
Figure 49. Effet de l'altitude sur l'infestation par <i>C. pomonella</i> en 2014.....	102
Figure 50. Effet des variétés des pommes sur l'infestation par <i>C. pomonella</i> en 2014.....	106
Figure 51. Effet des points cardinaux sur l'infestation par <i>C. pomonella</i> en 2014.....	111
Figure 52. Effet des points cardinaux par <i>C. pomonella</i> en 2015.....	117
Figure 53. Effet du niveau du pommier sur l'infestation par <i>C. pomonella</i> en 2014.....	122
Figure 54. Effet du niveau du pommier sur l'infestation par <i>C. pomonella</i> en 2015.....	129
Figure 55. Chromatogrammes d'HPLC des extraits aqueux de <i>Mentha pulegium</i> , <i>Lavandula officinalis</i> et <i>Cupressus sempervirens</i> .....	135
Figure 56. Effet des extraits aqueux de <i>Mentha pulegium</i> , <i>Lavandula officinalis</i> et <i>Cupressus sempervirens</i> sur l'infestation par <i>C. pomonella</i> au niveau du verger.....	141

## Liste des tableaux

Tableau 1. Nombre de pommes étudiées dans la dynamique des larves de carpocapse. ...	100
Tableau 2. Teneurs en polyphénols totaux et en flavonoïdes dans les extraits aqueux de <i>Mentha pulegium</i> , <i>Lavandula officinalis</i> et <i>Cupressus sempervirens</i> .....	130
Tableau 3. Temps de rétention des différents polyphénols obtenus par la technique de séparation HPLC dans les extraits aqueux de <i>Mentha pulegium</i> , <i>Lavandula officinalis</i> et <i>Cupressus sempervirens</i> .....	134
Tableau 4. Effet répulsif de 2g/l des extraits des plantes <i>Mentha pulegium</i> , <i>Lavandula officinalis</i> et <i>Cupressus sempervirens</i> sur les larves de carpocapse.....	136
Tableau 5. Effet répulsif de 4g/l des extraits des plantes <i>Mentha pulegium</i> , <i>Lavandula officinalis</i> et <i>Cupressus sempervirens</i> sur les larves de carpocapse.....	136
Tableau 6. Effet répulsif de 6g/l des extraits des plantes <i>Mentha pulegium</i> , <i>Lavandula officinalis</i> et <i>Cupressus sempervirens</i> sur les larves de carpocapse.....	137
Tableau 7. Effet répulsif de 8g/l des extraits des plantes <i>Mentha pulegium</i> , <i>Lavandula officinalis</i> et <i>Cupressus sempervirens</i> sur les larves de carpocapse.....	137
Tableau 8. Effet répulsif de 10g/l des extraits des plantes <i>Mentha pulegium</i> , <i>Lavandula officinalis</i> et <i>Cupressus sempervirens</i> sur les larves de carpocapse.....	138

## Sommaire

INTRODUCTION GENERALE .....	1
I. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE .....	5
1. Généralités sur le pommier ( <i>Malus domestica</i> Borkh.) .....	5
1.1. Genre <i>Malus</i> .....	7
1.2. Systématique .....	7
1.3. Données socio-économiques sur le pommier .....	7
1.4. Données botaniques .....	9
1.5. Développement de l'arbre .....	9
1.6. Profil variétal des pommes au Maroc .....	10
1.7. Cycle annuel du pommier .....	11
1.8. Ravageurs du pommier .....	11
1.8.1. Mineuses .....	12
1.8.2. Pucerons .....	12
1.8.3. Acariens .....	12
1.8.4. Carpocapse .....	13
2. Description du carpocapse ( <i>Cydia pomonella</i> L.) .....	14
2.1. Systématique .....	15
2.2. Aire de répartition .....	15
2.3. Plantes hôtes .....	16
2.4. Cycle de vie .....	16
2.4.1. Hivernation .....	17
2.4.2. Reproduction .....	17
2.4.3. Croissance des larves .....	18
2.5. Comportement de l'insecte .....	18
2.5.1. Nutrition .....	18
2.5.2. Ponte .....	18

2.6. Dégâts larvaires .....	19
2.6.1. Dégâts actifs .....	19
2.6.2. Dégâts stoppés .....	19
2.6.3. Dégâts cicatrisés .....	19
3. Méthodes de protection du pommier contre le carpocapse.....	20
3.1. Lutte culturale .....	20
3.2. Confusion sexuelle .....	20
3.3. Lutte physique .....	20
3.4. Lutte biologique .....	21
3.4.1. Prédateurs .....	21
3.4.2. Parasitoïdes .....	22
3.4.3. Pathogènes .....	22
3.5. Autres méthodes de lutte .....	23
II. MATERIEL ET METHODES.....	25
1. Régions d'étude .....	25
2. Vergers étudiés et matériel végétal .....	26
3. Méthodologie de travail .....	26
3.1. Caractérisation morphologique du pommier .....	26
3.2. Dynamique des larves de carpocapse .....	29
3.3. Lutte contre les larves de carpocapse .....	30
3.3.1. Insectes .....	30
3.3.2. Matériel végétal .....	30
3.3.3. Préparation des extraits.....	30
3.3.4. Etude phytochimique des extraits.....	30
3.3.4.1. Analyse HPLC.....	31
3.3.4.2. Dosage des polyphénols totaux .....	31
3.3.4.3. Dosage des flavonoïdes .....	32

3.3.5. Tests des effets biologiques .....	33
3.3.5.1. Tests biologiques <i>in vitro</i> .....	33
3.3.5.2. Tests biologiques <i>in vivo</i> .....	33
III. RESULTATS ET DISCUSSIONS .....	35
1. Caractérisation morphologique du pommier .....	35
1.1. Arbre.....	35
1.2. Branches charpentières.....	46
1.3. Branches fructifères.....	55
1.4. Feuilles .....	72
1.5. Pommes .....	90
2. Dynamique des larves de carpocapse .....	100
2.1. Effet de l'altitude sur l'infestation par les larves de carpocapse .....	100
2.2. Effet des variétés des pommes sur l'infestation.....	103
2.3. Effet des points cardinaux sur l'infestation .....	107
2.4. Effet du niveau du pommier sur l'infestation .....	118
3. Lutte contre les larves de carpocapse .....	130
3.1. Caractérisation des plantes aromatiques et médicinales utilisées .....	130
3.1.1. Dosage des polyphénols totaux et des flavonoïdes .....	130
3.1.2. Caractérisation par HPLC.....	131
3.2. Lutte contre les larves de carpocapse <i>in vitro</i> .....	136
3.3. Lutte contre les larves de carpocapse <i>in vivo</i> .....	139
CONCLUSION GENERALE .....	142
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	146

## **INTRODUCTION GENERALE**

Le pommier présente plusieurs exigences climatiques qui rendent sa plantation très ardue : nombre d'heures de froid, interception de lumière, persistance de la pluviométrie, état hygrométrique, etc. Le développement du pommier et sa production sont très influencés par les conditions de l'environnement (Frossard et Cruiziat, 1995 ; Frossard, 1993).

Les effets des variables environnementales sur la morphologie du pommier ont été largement étudiés. Néanmoins, on compte peu de travaux s'intéressant à la comparaison des caractères morphologiques chez les différentes variétés de pommier. Toutefois, il existe chez cet arbre une variabilité marquée de productivité entre variétés. Actuellement, les projets d'implantation des vergers de pommiers négligent de prendre en considération les particularités fonctionnelles et écologiques des variétés de pommier ou leur sensibilité face aux changements climatiques.

Les projets en cours de modernisation d'implantation des vergers de pommiers au Maroc, menés par le Ministère de l'agriculture et de la pêche maritime du Maroc (MAPM), se basent sur 3 grands axes : l'identification des produits de terroir, l'amélioration de la commercialisation et l'assistance des producteurs pour la labellisation des produits. Pour compléter ces efforts, il est primordial de développer nos connaissances sur l'effet des facteurs environnementaux sur les variétés de pommier. Notre but est de choisir des variétés qui peuvent non seulement satisfaire les exigences des clients, en qualité optimale des pommes au sein d'un marché mondial très compétitif mais aussi, qui répondent aux demandes des pomiculteurs. Nous cherchons, éventuellement, à atteindre une production moins gourmande en traitements agricoles et qui nécessite moins d'heures de travail. Ainsi, le pomiculteur peut assurer un meilleur rendement après chaque récolte, tout en augmentant ses profits, peu importe les conditions climatiques.

Les conditions climatiques ont eu des effets négatifs sur la pomiculture au Maroc, avec des niveaux d'altération différents selon les variétés. Des variétés de pomme, dont le groupe des Golden, risquent de disparaître des vergers marocains de haute altitude pour laisser la place à d'autres, moins exigeantes en heures de froid, comme le groupe des Gala (Houssa et *al.*, 2017). Ces dernières décennies, les fortes pressions sur les nappes phréatiques, en plus des périodes de chaleurs intense que connaît le Maroc, ont manifesté notre besoin urgent d'améliorer nos connaissances sur les caractéristiques morphologiques des variétés de l'espèce pommier, dans des conditions environnementales différentes. Partant de ces

observations, ce travail de thèse a donc consisté à comparer les trois variétés de pommiers de point de vue morphologique, pour mieux comprendre la part de la variabilité des conditions climatiques sous effet d'altitude sur les trois variétés étudiées.

Par ailleurs, les insectes sont des acteurs majeurs de l'agriculture. Environ 35% de la production mondiale de cultures provient d'espèces cultivées qui bénéficient de la pollinisation par les insectes (Klein et *al.*, 2007). Cependant, certains insectes sont de redoutables ennemis de l'agriculture, notamment les arbres. L'utilisation de pesticides pour lutter contre les insectes nuisibles, fait partie intégrante des pratiques agricoles modernes. Malgré cela, presque 13% de l'ensemble de la production mondiale est perdue à cause des insectes nuisibles (Pimentel et *al.*, 1991). Le carpocapse, *Cydia pomonella* L. (*C. Pomone la*) (Lepidoptera, Tortricidae) est le ravageur clé du pommier au Maroc (Hmimina, 2014).

La lutte chimique contre le carpocapse reste la méthode la plus utilisée par les agriculteurs. A côté des effets néfastes que peut provoquer la lutte chimique sur l'environnement et la santé, l'utilisation de cette méthode est associée au développement de résistances par le carpocapse vis-à-vis de plusieurs molécules actives (Reyes et *al.*, 2007). L'une des méthodes alternatives de plus en plus utilisée pour la lutte contre le carpocapse est la perturbation de l'accouplement en employant la technique de la confusion sexuelle (Howell et *al.*, 1992; Vickers et Rothschild, 1991). Cependant, les méthodes de lutte alternatives ont de multiples points négatifs tels que leur coût élevé et leur inefficacité dans le cas de dégâts très importants (Sheppard et *al.*, 2003).

Il est essentiel de maîtriser les mécanismes de choix de ponte et de prise de nourriture chez les insectes afin de mettre au point des techniques de luttés innovantes (Foster et *al.*, 1997). C'est le cas du carpocapse dont plusieurs études ont démontré leur comportement de choix vis-à-vis de ses plantes hôtes (Hern et Dorn, 1999, 2004; Knight et Light, 2001). De plus, le comportement de choix des plantes hôtes par les femelles du carpocapse est un facteur important dans la vie des larves (Yan et *al.*, 1999). Toutefois, il n'existe pas, à notre connaissance, des études dans ce sens sur le carpocapse au Maroc, ce qui constitue l'originalité de cette étude. L'objectif dans un premier temps étant de comparer la dynamique des larves de carpocapse chez les variétés de pommier Golden delicious Royal gala et Starking delicious, suivant un transect d'altitude croissante au niveau des vergers du Moyen atlas marocain et de déterminer également l'effet des quatre points cardinaux

(Nord, Sud, Est, Ouest) aussi que la canopée du pommier (niveaux : Haut, Moyen et Bas de l'arbre) sur la dynamique larvaire du carpocapse.

Le carpocapse est un ravageur redoutable du pommier. Dans de nombreux cas, il est la principale cause d'attaques d'insectes ravageur dans les vergers de pommier (Beers, 1993). Il y a un besoin croissant de nouvelles méthodes pour lutter contre ce ravageur et réduire notre dépendance à l'égard des insecticides chimiques en raison de l'augmentation de la résistance du carpocapse à certains molécules actives (Knight, 1994; Varela *et al.*, 1993).

L'intérêt pour la lutte biologique contre le carpocapse par l'utilisation d'extraits de plantes ne cesse d'augmenter. Pourtant, les extraits de plantes ont toujours été le seul moyen pour lutter contre le carpocapse. Ces dernières années, des efforts considérables ont été déployés pour trouver des substances phytochimiques ayant des activités insecticides (Epstein *et al.*, 2001). De nombreux extraits de plantes ont un effet répulsif sur les insectes ravageur en les appliquant directement aux plantes hôtes ou en les ajoutant aux milieux nutritifs de ces insectes au laboratoire (Jacobson, 1990). Ces extraits agissent principalement par effet répulsif. L'application d'extraits végétaux protège les plantes contre le carpocapse (Landolt *et al.*, 2000).

La femelle du carpocapse pond la plupart de ses œufs sur les feuilles du pommier et les larves doivent généralement se déplacer pour pénétrer les pommes dont les composés volatiles attirent les larves (Jackson, 1979; Landolt *et al.*, 2000; Sutherland *et al.*, 1977). Ce comportement des larves de carpocapse pourrait être exploité pour les empêcher d'atteindre les pommes en utilisant des extraits de plantes non-hôtes. Nous nous sommes proposés, dans un deuxième temps de la présente étude, de tester dans les conditions de laboratoire et de terrain, l'effet répulsif des extraits aqueux de trois plantes aromatiques et médicinales (PAM) qui sont la Menthe pouliot (*Mentha pulegium* L.), le Cyprès vert (*Cupressus sempervirens* L.) et la Lavande officinale (*Lavandula officinalis* L.) sur la l'infestation causée par les larves de carpocapse.

Ce manuscrit comporte 4 chapitres. La première partie présente une synthèse bibliographique permettant de faire un état des lieux des connaissances actuelles en rapport avec le sujet. La deuxième partie de ce travail présente, sur la base d'une caractérisation morphologique de l'espèce pommier, une comparaison de trois variétés de pommier. La troisième partie présente l'étude de la dynamique des larves de carpocapse dont l'infestation du pommier par les larves de carpocapse a été étudiés sous l'effet de l'altitude,

des variétés des pommes, des points cardinaux et du niveau du pommier. La quatrième partie présente une comparaison de l'efficacité de trois PAM dans la lutte contre les larves de carpocapse *in vitro* et *in vivo*. Enfin, ce manuscrit se termine par une conclusion reprenant les principaux résultats de cette thèse et les perspectives de travail qu'elle permet d'envisager.

## I. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

### 1. Généralités sur le pommier (*Malus domestica* Borkh.)

Les Rosacées sont une famille botanique très diversifiée. Elle se présente sous formes d'arbres, arbustes et plantes herbacées avec plus de 100 genres et 3 100 espèces. Cette famille est dominée par les espèces sauvages. Les espèces cultivées appartiennent à 70 genres environ dont les plantes ornementales, médicinales et les arbres. Ces derniers sont répartis en rosacées à noyaux (prunier, pêcher, cerisier, abricotier, amandier, etc.) et rosacées à pépins (pommier, poirier, cognassier, etc.).

Le pommier est la plus importante espèce des rosacées à pépins de point de vue économique. Sa pomme est très prisée partout dans le monde. La production de pommes a connu une forte augmentation cette dernière décennie notamment en Chine et aux États-Unis. Parmi les variétés les plus cultivées dans le monde, on compte Golden Delicious, Starking Delicious, Royal Gala, Fuji, Jonagold et Granny Smith. Ces variétés sont très appréciées par les consommateurs et peuvent s'adapter à des environnements variés avec des rendements importants.

Les composantes morphologiques principales du pommier sont le tronc, la branche charpentière, la branche fructifère, la feuille et la pomme (ou la fleur) (Figure 1). Le pommier présente des rameaux à bourgeons végétatifs. Les feuilles portent 2 stipules à la base du pétiole. Elles sont simples, caduques, entières et dentées sur les bords.

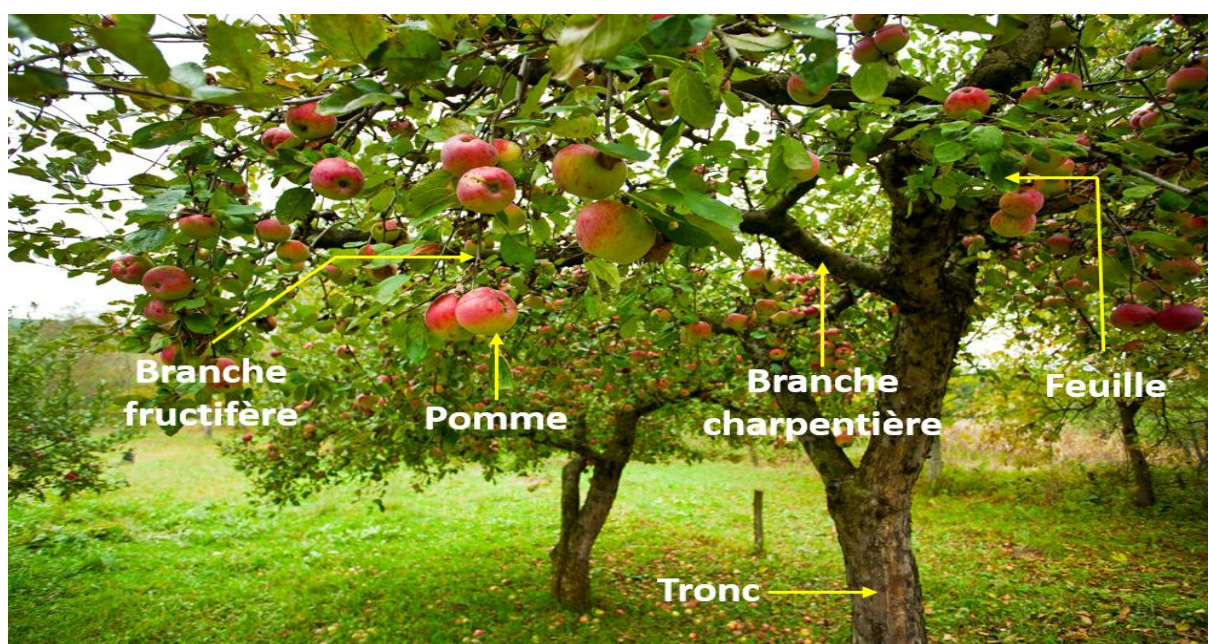


Figure 1. Composantes morphologiques principales du pommier (*Malus domestica* Borkh.)

La fleur présente 5 sépales, 5 pétales et 20 étamines à filets libres (Figure 2). Les périodes de floraison dépendent des conditions pédoclimatiques du verger et des variétés du pommier. La floraison du pommier est généralement de fin mars à fin mai (Costes et *al.*, 1995). L'ovaire comprend 5 carpelles avec 2 ovules chacun (Zhang et Lespinasse, 1988). Les anthères produisent du pollen lisse dont le diamètre atteint 30 à 36  $\mu\text{m}$  environ (Chevalier, 1942).



Figure 2. Fleur du pommier (*Malus domestica* Borkh.)

Le pommier porte des fleurs hermaphrodites dont la reproduction est assurée avec une allogamie prédominante. Une fécondation réussie est nécessaire pour le bon développement des pommes de bonne qualité (Pesson et Louveaux, 1984). Les variétés sont pour la plupart auto-incompatibles, ce qui nécessite la présence d'une autre variété pour assurer la fécondation croisée. La saison de pollinisation du pommier est le printemps. L'abeille domestique est le principal agent pollinisateur.

Le pommier (*Malus domestica* Borkh.) présente un nombre élevé de chromosomes ( $x=17$ ), supérieur à celui des autres sous-familles des Rosace ( $x =7$  à  $9$ ) (Chevreau et *al.*, 1985). Les variétés de pommier cultivé sont principalement diploïdes ( $2n = 34$  chromosomes) ou parfois triploïdes (51 chromosomes) (Verdoodt et *al.*, 1998). Les variétés triploïdes sont cultivées pour la qualité ou la grosseur de leurs pommes (Reinettes du Canada, Jonagold). Toutefois le statut triploïde est moins répandu que les variétés diploïdes (Golden delicious, Royal gala, Starking delicious, etc.). Ces derniers ont une meilleure adaptation à différents environnements.

## 1.1. Genre *Malus*

Le genre *Malus* date de l'ère tertiaire (Massonnet, 2004). Il est originaire du Caucase et des bords de la mer caspienne puis s'est réparti vers l'Europe Orientale, la Russie, l'Europe Occidentale et l'Afrique du nord (Jonard et *al.*, 1983). Il est réparti dans la zone entre les latitudes nord 30° et 60° (El Yaacoubi et *al.*, 2014).

## 1.2. Systématique

Jadis, le pommier appartenait au sous-genre *Pyrus-Malus*. Actuellement, *Pyrus* et *Malus* forment deux genres distincts, bien que très voisins (Vieira et *al.*, 2007). Le pommier est classé comme suit (APG III, 2009) :

Règne : Archéplastides

Clade : Angiospermes

Clade : Dicotylédones vraies

Clade : Rosidées

Clade : Fabidées

Ordre : Rosales

Famille : Rosacées

Sous-famille : Amygdaloïdées

Genre : *Malus*

Espèce : *Malus domestica* Borkh.

## 1.3. Données socio-économiques sur le pommier

La Chine est le premier producteur mondial de pomme. Sa production a augmenté de 25 millions de tonnes en 2007 à plus de 40 millions de tonnes en 2014. Le Maroc est le premier producteur de pommes au Maghreb. En 2014, la production marocaine de pomme a dépassé les 535 000 tonnes avec 44 000 ha de superficie cultivée par les pommiers (FAOstat, 2016). Au Maroc, le pommier est représenté dans la majorité des régions agricoles mais avec une large dominance de la région de Fès-Meknès qui monopolise près

de 50 % de la superficie de pommier cultivé au Maroc (Figure 3). C'est la plus importante culture marocaine de rosacées après l'amandier (Zguigal et al., 2006).

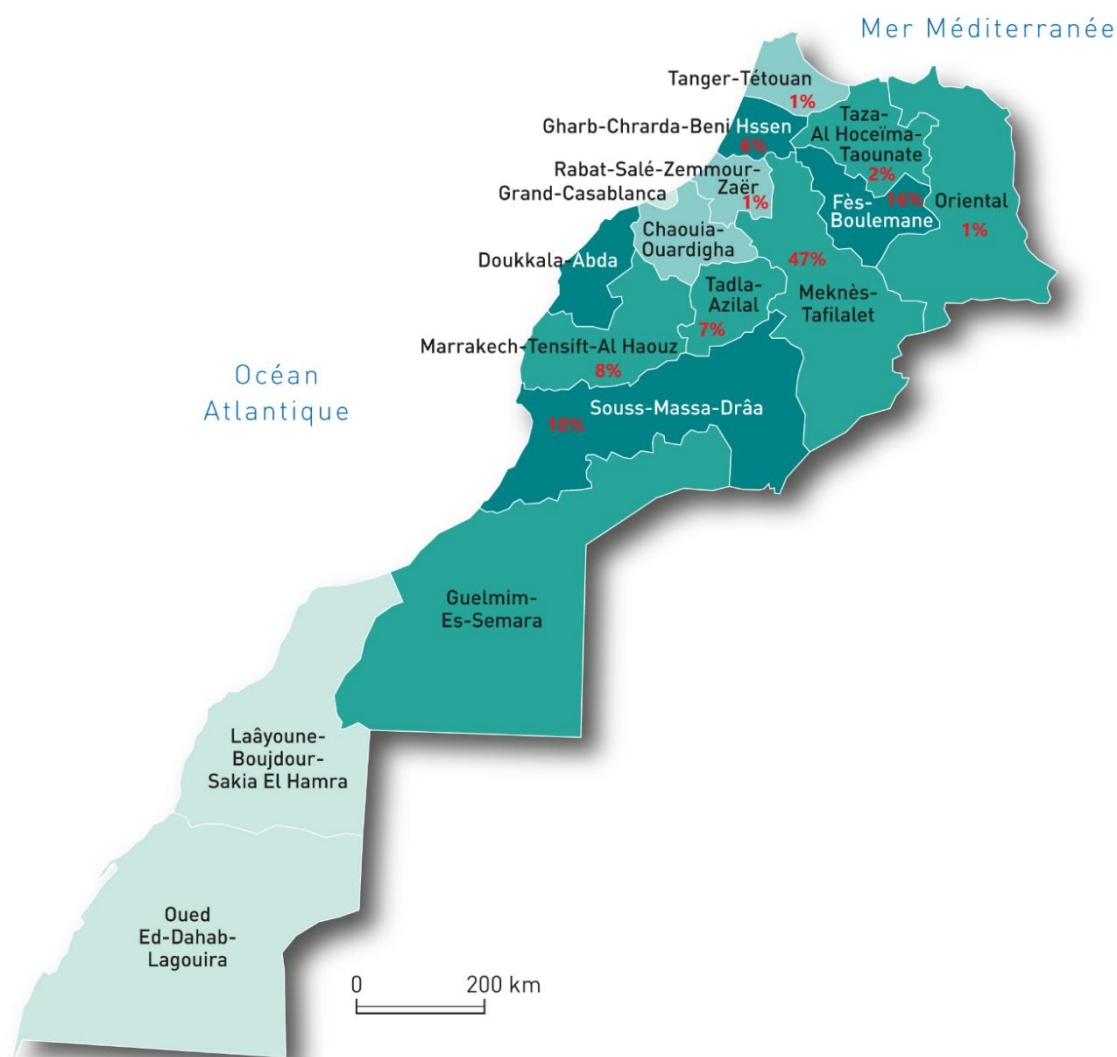


Figure 3. Répartition de la superficie du pommier par région au Maroc (MAPM, 2014)

La culture du pommier au Maroc a débuté vers les années 60 dans les régions montagneuses où les hivers longs et froids favorisent l'installation et la fructification de l'espèce. Les vergers de pommiers ont ensuite été établis vers d'autres régions du pays. Selon le MAPM, le pommier présente une répartition géographique très étendue à une large zone du territoire marocain cultivé avec une concentration dans les régions montagneuses ayant un hiver très froid. Cette répartition donne au secteur un poids important dans l'économie du pays par la création d'emploi (2 millions de journées de travail) et en générant une valeur commerciale de l'ordre de 1,5 milliard de dirhams.

#### **1.4. Données botaniques**

Le pommier est arbre buissonnant qui atteint 10 mètres de hauteur, de vigueur moyenne, à port arrondi et à branches divergentes retombant avec l'âge (Chmielewski et *al.*, 2004). Ses rameaux ont une écorce lisse, de couleur brune et à lenticelles plus ou moins nombreuses, suivant les variétés. Les bourgeons des rameaux sont végétatifs ou à inflorescences. Sur ces rameaux, les feuilles sont caduques, alternes, simples, entières et dentées sur les bords, à pétiole plus court portant à sa base deux stipules foliacées (Abbott, 1984; Aslantaş et *al.*, 2007).

Les fleurs sont regroupées en corymbes de 8 à 11 fleurs portées à l'extrémité de rameaux courtes, nommées brindilles couronnées, ou directement sur les brindilles au niveau des boutons axillaires (Coutanceau, 1962). Elles sont hermaphrodites et la reproduction de l'espèce est assurée avec une allogamie prédominante (Boré et Fleckinger, 1997). La fécondation est croisée (Chevalier, 1921; Coutaud, 1946) dont l'abeille domestique est le principal insecte pollinisateur (Jacob-Remacle, 1989; Lespinasse et Chevreau, 1983).

La pomme mûre est charnue complexe, de goût et couleur variable selon la variété. "Le fruit" se forme à partir du conceptacle floral. La pomme est un mésocarpe charnu dont la chaire croquante est de teinte blanchâtre, jaune ou rose, avec 5 loges contenant le pépin (Luckwill, 1953).

#### **1.5. Développement de l'arbre**

Le pommier se développe en 2 phases successives à partir des graines (Crabbé, 1987). Premièrement, la période juvénile dont le développement de l'arbre est exclusivement végétatif peut durer jusqu'à 8 ans (Pratt, 1990). Lors de cette phase, la morphologie du pommier se caractérise par l'absence de floraison, la présence d'épines et le développement végétatif accru. La durée de la période juvénile diffère selon les variétés du pommier et les conditions de l'environnement.

Deuxièmement, la phase adulte durant laquelle le pommier se développe par reproduction. Cette phase est caractérisée par la croissance importante du système aérien qui permet au pommier de mieux coloniser son milieu ainsi qu'améliorer son aptitude d'assimilation de carbone. L'arbre cumule alors des réserves suffisantes pour sa reproduction et son développement végétatif (Sedgley et Griffin, 2013).

## 1.6. Profil variétal des pommes au Maroc

Le profil variétal des pommes au Maroc est constitué largement par les variétés étrangères. La répartition de superficie par variété est dominée par la variété Golden delicious avec un taux de 50 % du nombre total de pieds par ha, suivie par sa pollinisatrice Starking delicious ayant un taux de 14 % du nombre total de pieds par ha (Figure 4).

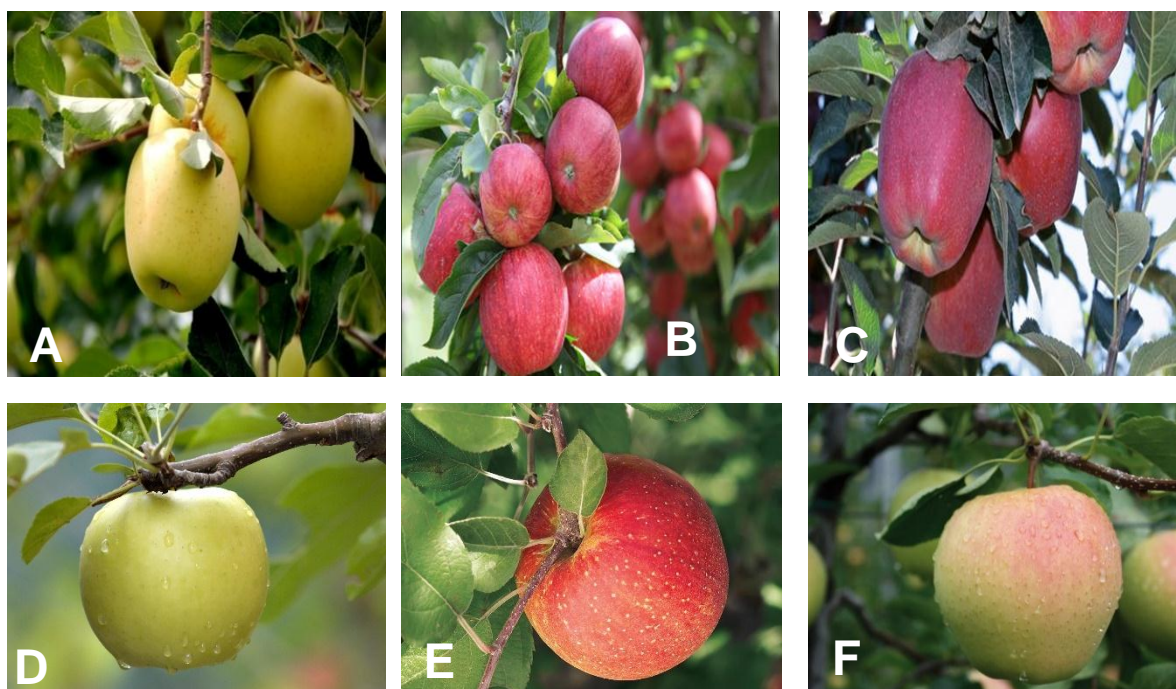
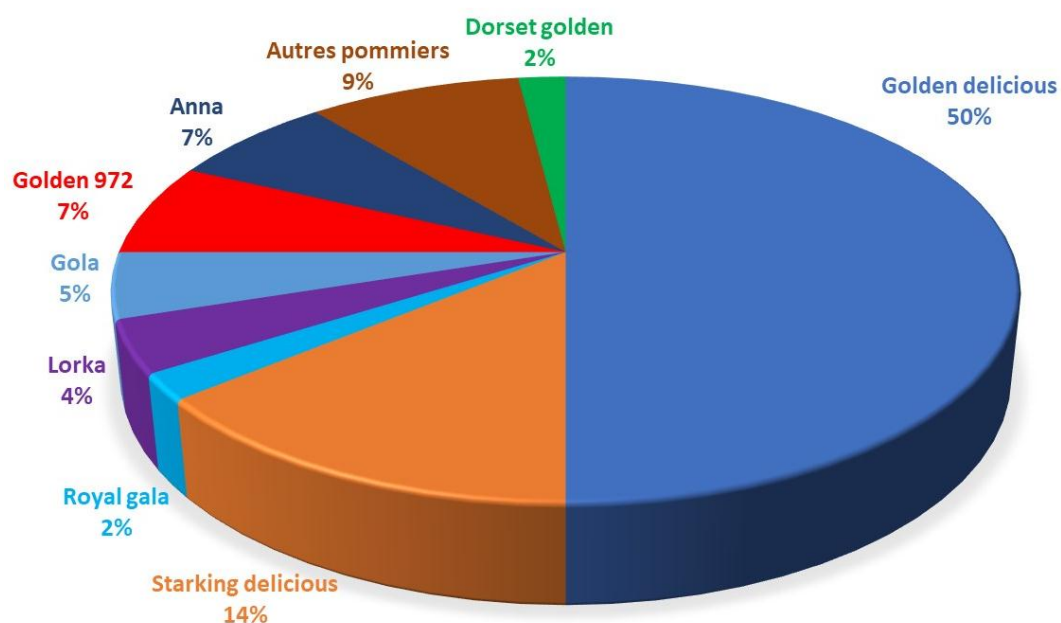


Figure 4. Répartition de la superficie occupée par les variétés de pommier au Maroc en pourcentage de nombre de pieds par Ha (MAPM, 2014).

A : Golden delicious ; B : Royal gala ; C : Starking delicious ; D : Anna ; E : Dorset golden ; F : Golden 972

## 1.7. Cycle annuel du pommier

Le Cycle annuel du pommier décrit par Bloesch et Viret (2013) est d'un système uniforme pour décrire le développement de l'ensemble des plantes cultivées (Lancashire et *al.*, 1991; Meier et *al.*, 2009). Ce système permet de suivre le développement du pommier en cinq stades successifs : repos hivernal, apparition de l'inflorescence, floraison, développement des pommes et maturation des pommes (Liu et *al.*, 2015) (Figure 5).

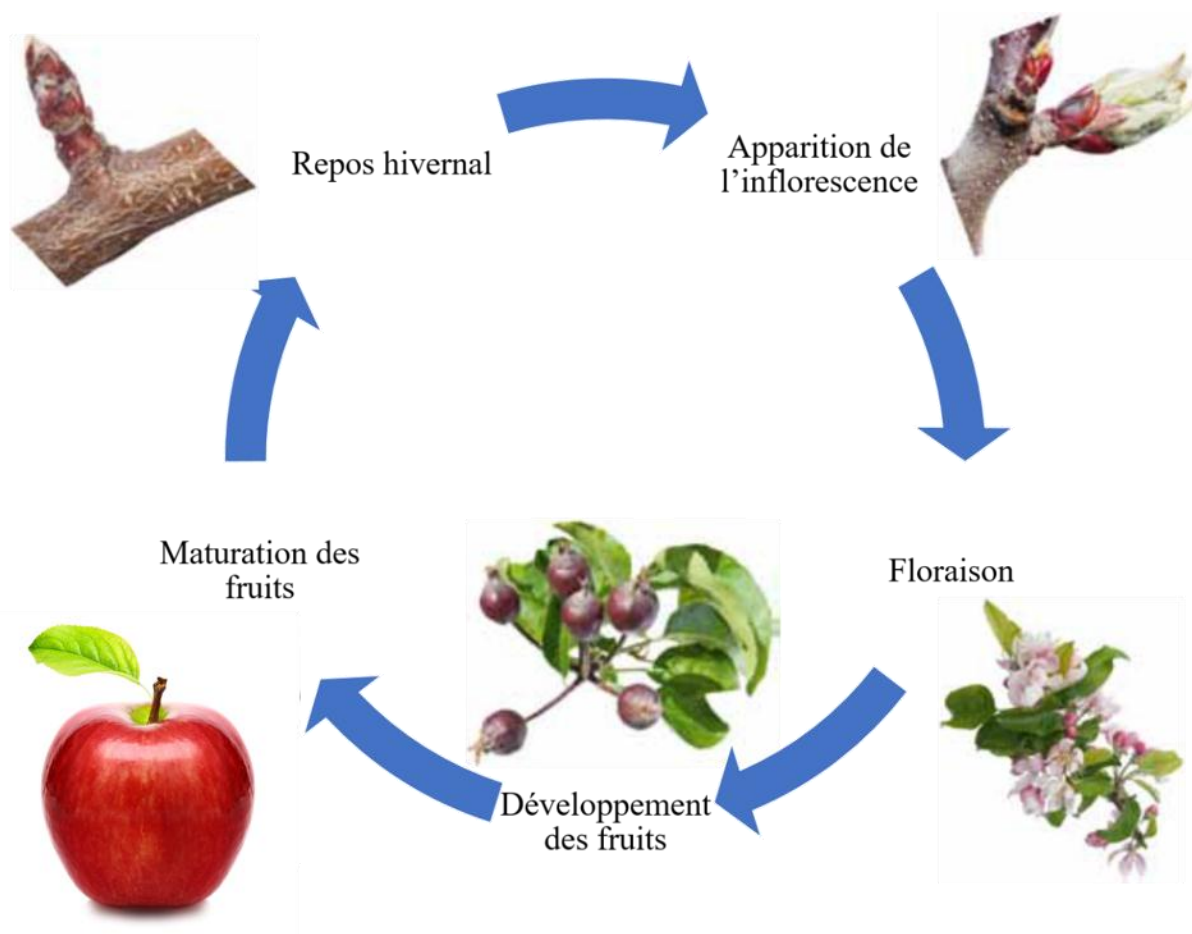


Figure 5. Description des cinq stades de développement du pommier de la variété Gala (Bloesch et Viret, 2013)

## 1.8. Ravageurs du pommier

En agriculture, un arthropode est considéré comme ravageur lorsqu'il entre en compétition avec l'Homme pour les mêmes ressources et provoque de graves pertes économiques (Pimentel et *al.*, 1997; Suty, 2010). Le terme ravageur est non seulement limité aux arthropodes, mais aussi aux nématodes parasites des plantes, aux pathogènes d'origine microbiennes, virales et fongiques, aux mauvaises herbes et aux vertébrés (Prokopy et

Croft, 1994). Les diverses structures d'un pommier fournissent des aliments et/ou des abris à un grand nombre de ravageurs (Schoonhoven et *al.*, 2005). Les ravageurs directs des pommes ont un impact plus apparent sur le rendement, car seule une légère infestation rend le produit non commercialisable (Fay, 2000).

### **1.8.1. Mineuses**

Les mineuses des feuilles de pommier sont des insectes lépidoptères comme la mineuse marbrée (*Phyllonorycter blancardella* Fabricus), la mineuse sinueuse (*Lyonetia clerkella* L.), la mineuse cerclée (*Leucoptera scitella* Zeller) et la mineuse élargie (*Stigmella malella* Stainton) (Beers, 1993). Les dégâts sont des mines sur la face supérieure des feuilles du pommier creusées par les larves de ces espèces mineuses (Orts et *al.*, 2006). La mineuse sinueuse est fréquente dans les vergers de pommiers de la zone de paléarctique (Beers, 1993). Le développement des pommes est indirectement affecté par les larves mineuses qui endommagent l'épiderme et réduisent la photosynthèse au niveau des pommiers (Reissig et *al.*, 1985).

### **1.8.2. Pucerons**

Les pucerons sont des ravageurs redoutables dans les vergers de pommiers du monde entier (Blommers, 1994; Prokopy et Croft, 1994). Ils consomment la sève et provoquent ainsi la déformation des feuilles, des pousses et des pommes. En plus de ces blessures directes, les pucerons peuvent agir comme vecteurs de transmission de virus. De même, ces insectes libèrent le miella qui favorise le développement de fumagine (Arbab et *al.*, 2006). Les pucerons s'adaptent à tous nouveaux environnements et colonisent facilement leurs plantes hôtes (Beers, 1993). Le Puceron cendré du pommier (*Dysaphis plantaginea* Pass.), le puceron des galles rouges (*Dysaphis devecta*), le puceron vert des pommiers (*Aphis pomi* De Geer, 1773) et le puceron lanigère du pommier (*Eriosoma lanigerum* Ham.) sont très répandus dans les vergers de pommiers (Beers, 1993; Blommers, 1994).

### **1.8.3. Acariens**

Les acariens téaniques *Panonychus ulmi* (Koch) (acarien rouge des pomacées) et *Tetranychus urticae* (Koch) (tétranyque à deux points) et *Aculus schlechtendali* (phytopte libre du pommier) sont les principaux acariens ravageurs des vergers de pommiers (Prokopy et Croft, 1994). Le développement des acariens est rapide sous des climats chauds. Les acariens endommagent les feuilles car ils sucent le contenu des cellules

foliaires (Beers, 1993). Leur pullulation donne aux feuilles un aspect bronzé qui diminue les possibilités d'assimilation chlorophylliennes et peut provoquer leur chute (Orts et *al.*, 2006). L'assimilation réduite du CO<sub>2</sub> conduit à la dessiccation foliaire et à la défoliation précoce (Spieser et *al.*, 1998). Les fortes attaques diminuent la qualité des pommes, leur calibre et leur taux de sucre (Easterbrook et Fuller, 1986). Certains acariens hivernent au stade œufs (*p. ulmi*) et certains au stade adulte (*T. urticae*, *A. schlechtendali*) (Beers, 1993). Vers la fin de l'été, plusieurs centaines d'acariens peuvent être trouvés sur la face inférieure des feuilles de pommier. Le taux de dégâts causés par les acariens dans les vergers de pommier a augmenté avec l'utilisation croissante d'insecticides à large spectre qui ont rendu les populations d'acariens résistantes à ces produits chimiques (Spieser et *al.*, 1998). Outre les arthropodes, les pommes sont menacées par les maladies (tavelure, oïdium, feu bactérien) et les ravageurs vertébrés (campagnols, oiseaux et porc-épic) (Prokopy et Croft, 1994).

#### **1.8.4. Carpocapse**

Beaucoup de lépidoptères, surtout la famille des tortricidés, attaquent les pommes. Le carpocapse (*Cydia pomonella* L.) est considéré comme l'espèce clé dans les vergers de pommier à travers le monde dont les niveaux d'infestation ont augmenté au cours des dernières années (Blommers, 1994; Prokopy et Croft, 1994). Outre les pommes, il attaque les poires, les coings, les abricots, les Pêches et les noix (Casado et *al.*, 2006; Light et *al.*, 2001). Les dommages sont causés par les larves, qui creusent des galeries à l'intérieur de la pomme pour se nourrir de la chair et des graines. Un petit trou entouré d'un anneau rouge indique les dégâts des larves de carpocapse (Baggiolini et Clark-Lewis, 1992). Après quelques semaines, et en passant par cinq stades, les larves quittent la pomme pour tisser un cocon puis se transforme en chrysalide (Geier, 1963). Les adultes apparaissent au printemps (Beers, 1993). Après accouplement, les œufs sont pondus individuellement sur les feuilles et les pommes pendant les soirées chaudes (au-dessus de 15°C). Les nouvelles larves naissent après 10-14 jours. A côté du carpocapse, d'autres lépidoptères tortricidés sont des ravageurs de pommier dont la Phalène brumeuse (*Operophtera brumata* L.) et la tordeuse orientale (*Grapholita molesta* BUSCK) (Prokopy et Croft, 1994). Aussi, la classe des insectes rassemble plusieurs ravageurs du pommier comme ceux appartenant à l'ordre des coléoptères tels que l'anthonome du pommier (*Anthonomus pomorum* L.) et à l'ordre des hyménoptères tels que l'Hoplocampe du pommier (*Hoplocampa testudinea* Klug), ceux-ci infestent les bourgeons et les pommes des pommiers (Blommers, 1994).

## 2. Description du carpocapse (*Cydia pomonella* L.)

Le carpocapse est le principal ravageur du pommier à l'échelle mondiale dont les dégâts touchent la totalité de la production en absence de méthodes de lutte convenable (Witzgall et *al.*, 2008). C'est un élément permanent de la faune naturelle du pommier (Coutin et *al.*, 1960). Les adultes sont des petits papillons nocturnes présentant des ailes de couleur grise et portant une tache argentée caractéristique de cette espèce. Les adultes sont d'environ 12 à 19 mm d'envergure (Figure 6).



Figure 6. Carpocapse adulte (*Cydia pomonella* L.)

Les œufs sont de 1 mm de diamètre, en forme de disque aplati. Les œufs sont de couleur blanche directement après la ponte, mais plus tard, un anneau rouge apparaît sur l'œuf, et enfin, une tête noire peut être remarquée au moment de l'éclosion. Les larves néonatales sont blanches rosées avec une tête noire. Les larves de 5<sup>ème</sup> stade ont une longueur d'environ 19 mm Elles sont de couleur rose avec une tête brune tachetée (Figure 7). Les nymphes sont de couleur brune. Leur longueur est de 1 cm découpés en 10 segments abdominaux qui présentent 2 rangées de petits piquants (Alfaro et Zaragoza, 1954).



Figure 7. Larve de carpocapse (*Cydia pomonella* L.)

## 2.1. Systématique

Le carpocapse (*Cydia pomonella* L.) est appelé communément ver de pomme. Il a été décrit par Linné (1758) sous l'appellation *Phalaena tineana pomonella*. Puis *Phalaena aenana* par Villers et *Carpocapsa putaminana* par Staudinger. Depuis 1830 à 1960, l'espèce est appelée *Carpocapsa pomonella* (L.) et *Laspeyresia pomonella* (L.) de 1960 à 1980. Actuellement, le carpocapse est connu par l'espèce *Cydia pomonella* (L.) suivant la classification suivante (Aguiar et Karsholt, 2006; Wearing et McLaren, 2001).

Embranchement : Arthropodes

Classe : Insectes

Sous-classe : Ptérygotes

Ordre : Lépidoptères

Sous-ordre : Microlépidoptères

Famille : Tortricidées

Sous-famille : Olethreutiniés

Espèce : *Cydia pomonella* L. (1785)

## 2.2. Aire de répartition

Le carpocapse est originaire de la région euro-sibérienne (Coutin et *al.*, 1960). Il a été décrit comme ravageur par des écrits gréco-latins datant de plusieurs siècles avant J.C (Klassen et Curtis, 2005). Il colonise les parties du monde, allant du tempéré froid au

méditerranéen, avec une culture et/ou présence spontanée du pommier (Balachowsky et Mesnil, 1935) (Figure 8). Son aire de répartition est le résultat d'une efficace conquête territoriale favorisée par l'homme et confortée par sa diapause larvaire facultative.



Figure 8. Distribution géographique de *Cydia pomonella* (L.) (Waheed et al., 1997)

### 2.3. Plantes hôtes

Le carpocapse est un insecte phytophage (Balachowsky et Mesnil, 1935). Il colonise normalement les Pommacées (pommes, poires, coings). Les hôtes secondaires de ce ravageur sont les Abricots, les Prunes, les Pêches, les Amandes et les Noix. Exceptionnellement, il peut causer des dégâts sur d'autres espèces végétales dont les Kakis, les Châtaignes, les Oranges et les Cerises (Balachowsky et Mesnil, 1935; Coutin et al., 1960). Le carpocapse attaque le pommier en début de saison et n'apparaît que plus tard sur les autres cultures sensibles (Geier, 1963).

### 2.4. Cycle de vie

Le carpocapse est un insecte à métamorphose complète (Holométabole). Il présente une à cinq générations par an à travers le monde. Une à quatre générations se produisent annuellement au Canada (Andreassen et al., 2010; Dixon et al., 2014). Aux États-Unis d'Amérique, ce ravageur se développe en trois générations (Pitcairn et al., 1992). En Europe, Il évolue en une à deux générations en Allemagne et en Suisse (Blommers, 1994) et jusqu'à trois générations dans le sud de la France (Boivin et Sauphanor, 2005). Au Maroc, le carpocapse se développe en quatre générations à Azrou et à Meknès (El Idrissi,

1980). Deux générations complètes et une partielle ont été enregistrées dans la région d'Oulmès (Hmimina et Iraqui, 2014) (Figure 9).

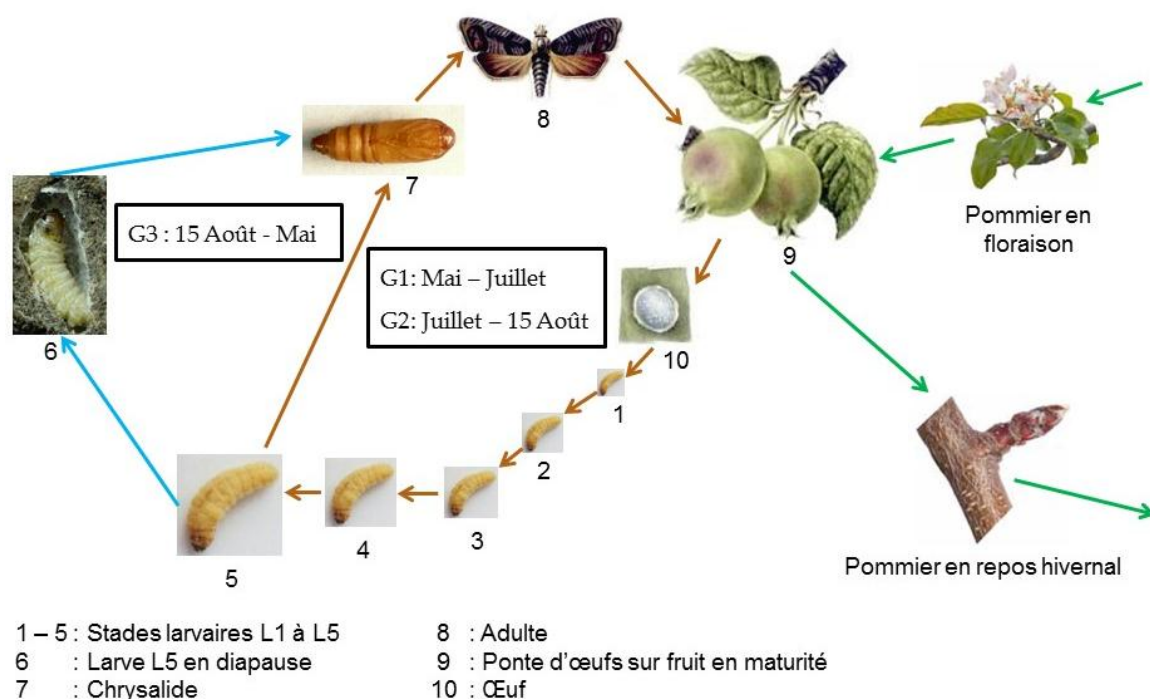


Figure 9. Cycle biologique de *Cydia pomonella* (L.)

#### 2.4.1. Hivernation

La chenille de 5<sup>ème</sup> stade larvaire tisse un cocon et hiverne au niveau du tronc et des grosses branches des arbres, au ras du sol ou sous les pierres (Balachowsky et Mesnil, 1935). Ce mode d'hivernation est constant et invariable quelle que soit l'année ou le lieu (Coutin et *al.*, 1960). Les chenilles se nymphosent (se transforment en chrysalides) au début du printemps (Chambon, 1986). Le pourcentage de chenilles nymphosées augmente rapidement durant le mois de mai (Sauphanor et *al.*, 2009).

#### 2.4.2. Reproduction

Le papillon émerge par l'extrémité antérieure du cocon, à partir du mois de Mars. *Cydia pomonella* L. présente une protérandrie car les mâles émergent quelques jours avant les femelles. Toutefois, la longévité des femelles est de 10 à 20 jours contre 8 à 15 jours chez les mâles (Coutin et *al.*, 1960).

Le mâle et la femelle se tiennent bout à bout par leur extrémité abdominale plusieurs heures pendant l'accouplement (Coutin et *al.*, 1960). Le carpocapse peut s'accoupler

immédiatement après l'émergence (Witzgall et *al.*, 2008). Quelques heures après l'accouplement, la femelle pond 30 à 100 œufs au niveau de la partie aérienne de l'arbre, de préférence sur les feuilles au voisinage des pommes (Balachowsky, 1966; Coutin et *al.*, 1960).

### **2.4.3. Croissance des larves**

La température ambiante gouverne la durée d'évolution de l'embryon dans l'œuf (Coutin et *al.*, 1960). Les œufs éclosent 6 à 7 jours après la ponte à 25°C, 18 jours à 15°C et jusqu'à 21 jours au-dessous de cette température (Pitcairn et *al.*, 1992). La larve néonatale entre au stade baladeur quelques heures après l'éclosion. Durant ce stade, elle se déplace sur la surface des feuilles, des pommes et des rameaux (Maalouly Matar, 2013). La larve pénètre la pomme à travers plusieurs points surtout par l'œil, la cavité pédonculaire, au point de contact entre deux pommes, entre une pomme et une feuille ou entre une pomme et un rameau (Charmillot et *al.*, 2000; Geier, 1963; Landolt et *al.*, 2000). Une larve de carpocapse peut infecter 2 à 3 pommes au cours de sa vie (Balachowsky et Mesnil, 1935). Le nombre de génération augmente vers l'équateur en plaine (Audemard, 1976).

## **2.5. Comportement de l'insecte**

### **2.5.1. Nutrition**

Le régime alimentaire de l'adulte se limite à la nourriture liquide (Coutin et *al.*, 1960). A ce stade, le carpocapse consomme généralement la sève, le jus de pommes et la nectarine (Audemard, 1976). Les adultes sont moins actifs au cours de la journée, ils volent la nuit dans un périmètre de 800 m du lieu d'éclosion (Bonnemaison, 1962). Les larves cherchent leur nourriture et l'abri à l'intérieur des pommes (Owen, 1980). Elles entrent dans la pomme et se déplacent vers le noyau, où ils mangent les graines et la chair (Geier, 1963). La chenille pénètre la pomme et creuse des galeries élargies par des mouvements de va et vient (Coutin et *al.*, 1960).

### **2.5.2. Ponte**

La femelle commence par remuer l'extrémité de son abdomen par des mouvements circulaires (Coutin et *al.*, 1960). Elle dépose 75% de ses œufs à 6 cm des pommes (Wearing et Ferguson, 1971). La femelle préfère pondre plus d'œufs au niveau des bouquets de pommes volumineux (Audemard, 1976).

## 2.6. Dégâts larvaires

La larve endommage le fruit par des piqures superficielles ou en creusant des galeries profondes en direction des pepins. Une pomme peut être piquée par plusieurs larves (Jones et Wiman, 2008). Les dégâts causés par les larves de carpocapse sont les dégâts actifs, les dégâts stoppés et les dégâts cicatrisés (Silvy et Riba, 1989).

### 2.6.1. Dégâts actifs

La larve creuse une galerie en forme de spirale vers le centre de la pomme, une auréole rouge entoure le point de pénétration de la larve (Silvy et Riba, 1989; Soltani et *al.*, 1986) (Figure 10).

### 2.6.2. Dégâts stoppés

La larve pique la pomme uniquement au niveau superficiel, puis se déplace vers une autre pomme (Audemard, 1976).

### 2.6.3. Dégâts cicatrisés

Arrêt de l'attaque larvaire au stade jeune pomme et formation d'un tissu cicatriciel (Audemard, 1976; Ricci, 2009).



Figure 10. Dégâts actifs causés par les larves de carpocapse (*Cydia pomonella* L.) au niveau des pommes (*Malus domestica* Borkh.).

A : pomme avec auréole rouge entourant le point de pénétration du carpocapse.

B : galeries creusées par le carpocapse en direction des pepins de la pomme.

### **3. Méthodes de protection du pommier contre le carpocapse**

La culture du pommier requière une attention et des soins très intenses (Viret et *al.*, 2003). La pomme est le fruit qui subit le plus de traitements phytosanitaires avec plus de 28 traitements par an dans les vergers conventionnels (Sauphanor et *al.*, 2009). Les stratégies de lutte contre le carpocapse commencent par dépister les adultes à l'aide de pièges à phéromone, puis surveiller les dégâts occasionnés par les larves par comptage à vue des pommes infectées afin d'optimiser la technique de lutte ainsi que la période idéale d'intervention. Généralement, il est recommandé d'intervenir après 10 captures de papillons par piège et par semaine. Il existe plusieurs méthodes de lutte contre le carpocapse. Celles-ci varient en fonction du nombre de papillons capturés et les dégâts observés sur les pommes (Keil et *al.*, 2001; Light et *al.*, 2001; Pitcairn et *al.*, 1990; Thwaite et Madsen, 1983).

#### **3.1. Lutte culturale**

La lutte culturale consiste à diminuer la population de ravageurs en éliminant les foyers d'infestation. C'est une méthode préventive qui se base sur l'élimination des pommiers abandonnés autour du verger (Malagnoux, 2014). La technique d'ensachage protège les pommes sur l'arbre. Les pommes recouvertes sont épargnées contre les dégâts larvaires. Cependant, cette technique demande une main-d'œuvre importante (Sakakibara et *al.*, 1987).

#### **3.2. Confusion sexuelle**

La diffusion de phéromones sexuelles du carpocapse empêche les mâles de localiser les femelles dans le verger (Charmillot et *al.*, 2000). Cette méthode est très efficace contre une faible population de carpocapses dans le verger (Carmona et *al.*, 2003; Kehat et *al.*, 1995). Les diffuseurs à phéromones sexuelles doivent être installés dans le verger préalablement à l'apparition des papillons (McDonough et *al.*, 1992). Les diffuseurs doivent être espacés de quatre mètres au minimum au sein du verger (Schumacher et *al.*, 1997; Thomson et *al.*, 2001). La durée de vie des diffuseurs à phéromones sexuelles peut atteindre 54 jours mais diminue pendant les périodes chaudes (Witzgall et *al.*, 2001).

#### **3.3. Lutte physique**

La fixation de bandes-pièges en carton ondulé sur les troncs d'arbres permet de piéger les chenilles hivernantes. Les pièges sont mis en place à partir de juillet pour être récupérés puis détruits vers la fin d'octobre. Cette technique a un coût considérable en main-d'œuvre au niveau des vergers à grande superficie (Severac et Romet, 2009). Les écorces d'arbres constituent un foyer très important aux larves de carpocapse en diapause. Ce foyer d'hivernation peut être éliminé en frottant les troncs d'arbres avec du grillage (Clément, 2014). Les pièges collants à phéromone sexuelle sont un moyen très efficace de piégeage massif du carpocapse (Audemard, 1988).

### **3.4. Lutte biologique**

#### **3.4.1. Prédateurs**

Les prédateurs les plus importants du carpocapse sont les oiseaux, les chauves-souris, les araignées, les insectes et certaines espèces d'acariens. Tous peuvent se nourrir des œufs, des papillons et des larves (avant de pénétrer la pomme).

##### **- Oiseaux**

Les oiseaux sont les prédateurs les plus redoutables du carpocapse. Ils attaquent les larves, les nymphes et les adultes (van der Geest et Evenhuis, 1991). MacLellan (1962) a rapporté que les deux espèces de pic, *Dendrocopus pubescens medianus* (Swanson) et *Dendrocopus villosus villosus* (Linnaeus) attaquent efficacement une faible population de carpocapse dans le verger. Leur activité débute en août et augmente à partir de début de l'automne pour atteindre son pic en novembre. La Mésange charbonnière (*Parus major* Linnaeus 1758) est considérée par Masee (1954) comme le plus important oiseau prédateur de larves de carpocapse en Grande-Bretagne. Cette espèce, à côté de la Mésange bleue (*Cyanistes caeruleus*), est le principal oiseau ennemi du carpocapse en Europe (Solomon et al., 1976). Wearing (1975) a révélé que le Zostérops à dos gris, *Zosterops lateralis* (Latham, 1802) est le principal oiseau prédateur des larves de carpocapse en Nouvelle-Zélande.

##### **- Araignées**

Le carpocapse est attaqué par une multitude d'espèces d'araignées. Parmi ces espèces *Theridion muriarium* (Emerton) *Araniella displicata* (Hentz) et *Philodromus rufus* (Walckenaer) sont des prédateurs de tous les stades de carpocapse (Dondale et al., 1979).

##### **- Insectes**

Les insectes prédateurs de carpocapse appartiennent à des ordres très variés. Les plus connus sont les névroptères, thysanoures et hétéroptère, bien que certains coléoptères (comme la famille des Coccinellidés et celle des Pentatomidés) puissent également avoir un impact important sur la diminution de la densité de population du carpocapse (Glen, 1977; MacLellan, 1962).

### **3.4.2. Parasitoïdes**

La lutte biologique à l'aide de trichogrammes (petites guêpes parasitoïdes) représente un outil prometteur dans la lutte contre le carpocapse en association avec d'autres stratégies complémentaires (Goujet et Martouret, 1982). La guêpe *Trichogramma minutum* parasite les œufs de carpocapses (Stouthamer et al., 2000). L'application comporte trois relâchements de trichogrammes après détection de pic de vols de carpocapse de première génération. Il est recommandé de lâcher 1 million de trichogrammes/ha/semaine. La durée de traitement par les guêpes de trichogrammes est de 1,5 heure/ha (Goujet et Martouret, 1982). Le lâcher de trichogrammes ne doit pas coïncider avec la pulvérisation des pesticides chimiques. La méthode de lâcher massive de trichogrammes dans les vergers de pommier est très onéreuse et ne connaît pas un fort succès auprès des producteurs de pommes (St-Onge, 2016).

### **3.4.3. Pathogènes**

#### **- Nématodes**

Les nématodes appartenant aux espèces *Steinernema feltiae* et *Steinernema carpocapsae* sont des parasites efficaces contre les larves hivernantes du carpocapse (Lacey et al., 2006). Cette méthode de lutte est appliquée pendant l'automne, période de diapause des larves de carpocapse. Les nématodes permettent de réduire le taux de dégâts larvaires avant l'émergence des adultes. L'espèce *Steinernema feltiae* permet d'éviter plus de 55 % des dégâts causés par le carpocapse en comparaison avec l'espèce *Steinernema carpocapsae* qui ne permet d'éviter que 40 % des dégâts larvaires (Juan et al., 2008).

#### **- Bactéries**

Les bactéries *Bacillus thuringiensis* sont très efficaces contre le carpocapse lorsque la population de départ est faible ou modérée (Andermatt et al., 1988; Bernhard et al., 1997). La pulvérisation de cette bactérie est recommandée après piégeage de 40 papillons mâles, à

raison de 4 pulvérisations tous les 5 jours (Kliot et Ghanim, 2012). Le *Bacillus thuringiensis* conserve son efficacité même si les traitements sont espacés (Lacey et Unruh, 2005).

#### **- Virus**

Le virus de la granulose a été identifié la première fois au Mexique en 1968 (Falcon et *al.*, 1968). Ce virus est très efficace contre le carpocapse à long terme (Schmitt et *al.*, 2013) et l'infection virale se propage facilement entre les larves (Ballard et *al.*, 2000 ; Eberle et *al.*, 2008). Mota-Sanchez et *al.* (2008) ont démontré que la lutte par le virus de la granulose présente des résultats similaires à ceux enregistrés avec la lutte chimique par les insecticides azinphos-méthyl ou phosmet. L'utilisation du granulovirus présente plusieurs limites dont le besoin de réappliquer le produit à plusieurs reprises à cause de sa très faible rémanence en raison de sa sensibilité aux rayons UV (Arthurs et *al.*, 2006; Lacey et Arthurs, 2005). De plus, le virus a un effet retardé sur la larve (Eberle et *al.*, 2008).

#### **- Protozoaires**

Parmi les protozoaires qui attaquent le carpocapse, l'espèce *Nosema carpocapsae*, a été identifié pour la première fois en France en 1980 (Malone et Wigley, 1980). De plus, *Pleistophora carpocapsae* est un parasite de larves et de nymphes découvert en Moldavie (Simchuk et Issi, 1975). Les protozoaires *Pleistophora californica*, *Nosema destructor* et *Vairimorpha plodiae* réduisent la densité des populations de carpocapse (Bjornson et Oi, 2014).

#### **- Champignons**

Différents champignons entomopathogènes attaquent le carpocapse. Les plus redoutables sont *Spicaria farinosa* (Fries) Vuillemin, *Metarrhizium anisopliae* (Metchnikoff) Sorokin (Pristavko et Chernii, 1975), *Aspergillus flavus* (Link), *Verticillium lecanii* (Zimmerman), *Fusarium oxysporum* (Schlecht), *Beauveria brongniartii* (Saccardo) Petch, *Beauveria globulifera* (Spegazzini) Picard et *Beauveria bassiana* (Balsamo) (Glen et Milsom, 1978).

### **3.5. Autres méthodes de lutte**

En parallèle avec les méthodes précitées, il y a la lutte attracticide. Elle consiste à accrocher, sur l'arbre, des pièges qui attirent et tuent les carpocapses mâles grâce au mélange de phéromones sexuelles, insecticides et substances collantes que contiennent ces

pièges (Aubry, 2008). Le mélange contient 0,16% de (E,E)-8,10-dodécadien-1-ol, codlémone (phéromone) pour attirer les mâles et 6% de perméthrine pour les éliminer (Charmillot et Hofer, 1997).

Malgré leur effet néfaste sur la santé et l'environnement, les pesticides chimiques sont les agents les plus utilisés pour lutter contre le carpocapse. Depuis les années 1980, les efforts sont focalisés sur le développement de méthodes de lutte chimiques sélectives contre le carpocapse. Pour ce faire, les chercheurs ont beaucoup travaillé sur les régulateurs de croissance à base des inhibiteurs de synthèse de chitine ou des agonistes de l'hormone juvénile (Westigard, 1979).

Le fénoxyarbe est un insecticide ayant une action mimétique de l'hormone juvénile. Il agit en tant que régulateur de croissance du carpocapse et de la mineuse (Charmillot et Brunner, 1990; De Reede et *al.*, 1984). Le tébufénozide est un insecticide larvicide hautement spécifique des lépidoptères. Il agit comme un mimétique de l'ecdysone provoquant le déclenchement de la mue de l'insecte alors que celui-ci n'est pas physiologiquement prêt. Aussi, l'huile minérale ultra raffinée est efficace contre les larves néonatales du carpocapse et les araignées rouges (Cariac et *al.*, 2003; Fernandez et *al.*, 2006).

## II. MATERIEL ET METHODES

### 1. Régions d'étude

Notre étude porte sur trois stations différentes qui sont : Région d'Aït Sebaa, Annoceur et région de Midelt. Ces trois régions du Moyen Atlas marocain suivent un transect d'altitude croissant du Nord vers le Sud (Figure 11). La région Aït Sebaa se situe à 1155m d'altitude ( $33^{\circ}46'41.7''\text{N}$   $5^{\circ}00'42.6''\text{W}$ ), la région Annoceur est à 1400 m d'altitude ( $33^{\circ}39'42.5''\text{N}$   $4^{\circ}51'24.9''\text{W}$ ) et la région Midelt est localisée à 1522 m d'altitude ( $32^{\circ}41'43.0''\text{N}$   $4^{\circ}53'43.6''\text{W}$ ).



Figure 11. Situation géographique du transect étudié

## **2. Vergers étudiés et matériel végétal**

Les trois variétés de pommier étudiées sont Golden delicious, Royal gala et Starking delicious. Elles sont situées dans des vergers de plus de 10 ha de surface. Les arbres sont disposés en 88 lignes orientées N – S dont chacune rassemble 67 pommiers. La distance entre les lignes de pommiers est de 3,5 m et celle entre les arbres est de 1,5 m. La hauteur des arbres varie entre 2,5 et 4 m. Ils sont taillés par la technique Solaxe. L'irrigation est localisée, le type de sol est limoneux- argileux et la gestion de mauvaises herbes est mécanique. A noter que les parcelles étudiées n'ont subi aucun traitement chimique et ce, durant la période qui précède notre sortie sur terrain.

## **3. Méthodologie de travail**

### **3.1. Caractérisation morphologique du pommier**

La caractérisation morphologique du pommier permet de décrire l'influence du microclimat sur la morphologie du pommier durant Juillet et Août, périodes d'attaques fréquentes par le carpocapse. Ainsi, on va aborder l'étude des modifications dues à différents facteurs du milieu. Pour cela, une analyse de variétés poussant dans des milieux différents permettrait de définir d'éventuelles variations morphologiques.

Les caractères morphologiques étudiés sont :

#### **- arbre**

- \* hauteur
- \* largeur
- \* diamètre du tronc

#### **- branche charpentière**

- \* longueur
- \* longueur des entre-nœuds

#### **- branche fructifère**

- \* longueur
- \* longueur des entre-nœuds
- \* nombre de feuilles
- \* nombre de pommes

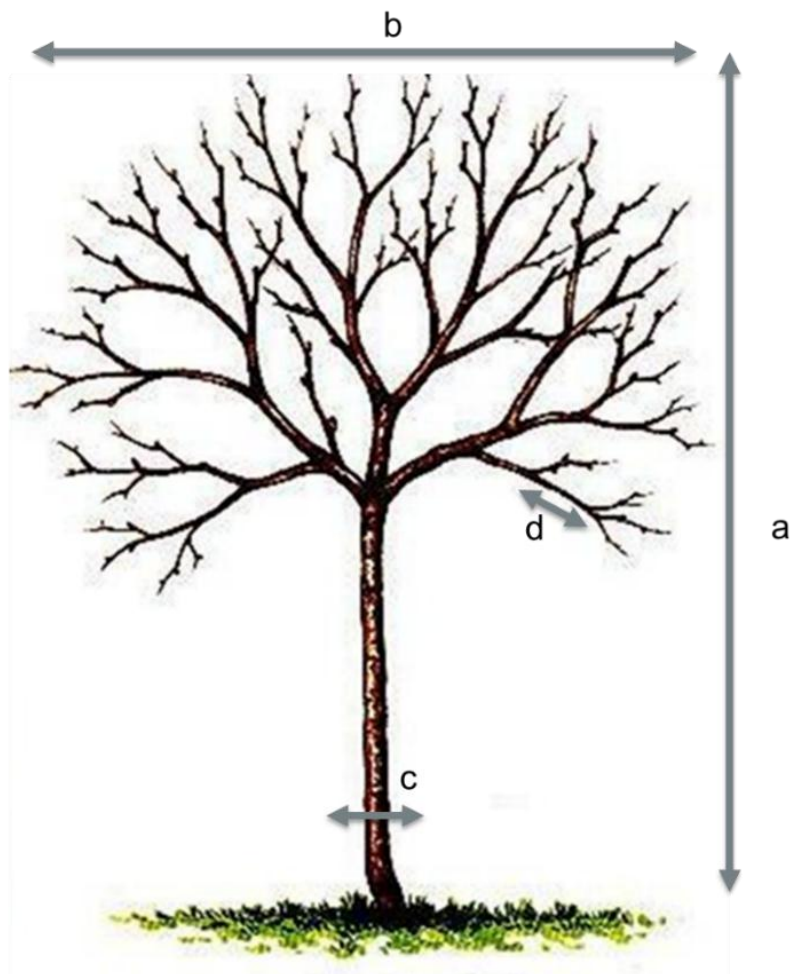
### - feuille

- \* longueur du pétiole
- \* épaisseur du pétiole
- \* longueur du limbe
- \* largeur du limbe

### - pomme

- \* longueur de la pomme
- \* largeur de la pomme

L'étude est réalisée durant les mois de Juillet et Août des années 2014 et 2015, sur un échantillon de 30 arbre par variété de pomme. Les mesures de l'arbre, des feuilles et des pommes sont illustrées respectivement par les figures **Erreur! Source du renvoi introuvable.**, 12et 13.



Les différentes mesures d'un arbre de pommier

a : Longueur de l'arbre

b : Largeur de l'arbre

c : Diamètre du tronc  
d : Longueur des entre-nœuds

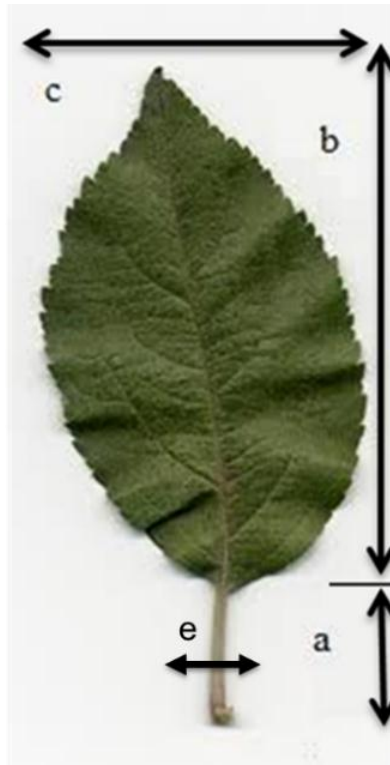


Figure 12. Les différentes mesures d'une feuille de pommier  
a : Longueur du pétiole  
b : Longueur du limbe  
c : Largeur du limbe  
e : Epaisseur du pétiole

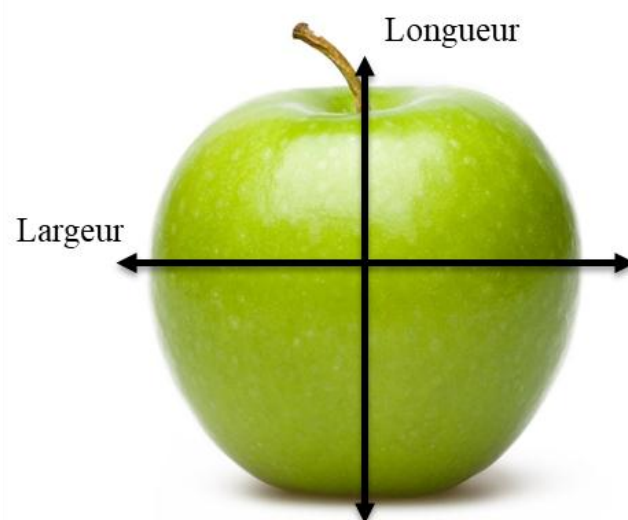


Figure 13. Les différentes mesures de la pomme

L'analyse statistique porte sur la moyenne des caractères morphologiques étudiés chez les trois variétés de pommier. Elle a été réalisée par le programme SPSS 20.

### 3.2. Dynamique des larves de carpocapse

- Echantillonnage

L'échantillonnage porte sur trente arbres par variété. L'étude est réalisée durant les mois de Juillet et Août des années 2014 et 2015. Au cours de cette période d'étude, l'attaque par les larves étant très fréquente.

- Méthode d'étude

Pour étudier la dynamique des larves selon la hauteur de l'arbre, nous avons divisé les arbres du verger d'étude en trois parties : le haut, le bas et le niveau moyen (Figure 14). Nous avons ainsi échantillonné le nombre de pommes infestés selon les trois niveaux. En outre, les quatre types d'orientation de l'arbre ont été pris en considération : position Nord, Sud, Est, et Ouest (Figure 15). L'orientation de l'attaque sur la pomme a été relevée quand ce dernier a été encore sur l'arbre. Les pommes présentant des traces d'attaque entourées par auréoles rouges sont considérées endommagées par les larves de carpocapse.

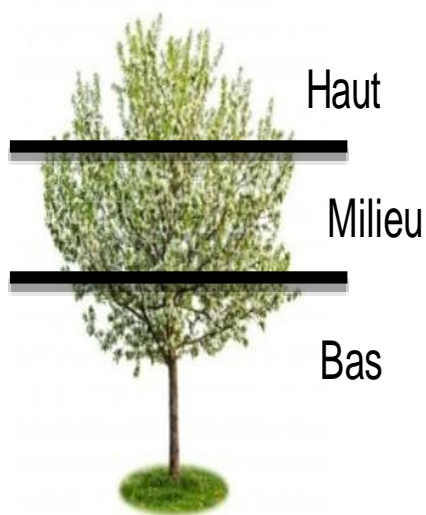


Figure 14. Observation de l'arbre selon sa hauteur

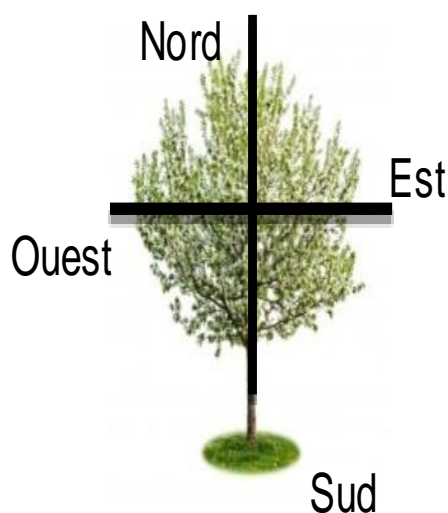


Figure 15. Observation de l'arbre selon son orientation

L'analyse statistique porte sur la moyenne des pommes attaqués par les larves de carpocapse par rapport au nombre total des pommes de l'arbre. L'étude a été réalisée au

niveau des trois variétés du pommier, selon l'orientation et la hauteur de chaque arbre étudié. Toutes les analyses statistiques ont été effectuées par le programme SPSS 20.

### **3.3. Lutte contre les larves de carpocapse**

#### **3.3.1. Insectes**

Les larves de carpocapse soumises aux tests de toxicité proviennent de vergers de pommiers non traités situés au Moyen Atlas marocain. Elles sont maintenues en élevage au laboratoire dans des bocaux en plastique à une température moyenne de  $25\text{ °C} \pm 1,8\text{ °C}$ . Elles ont été déterminées à l'aide de la clé d'identification des tordeuses nuisibles en arboriculture fruitière (Chambon, 1986). Les espèces ont été triées et isolées les unes des autres afin d'éviter des interactions interspécifiques.

#### **3.3.2. Matériel végétal**

Les plantes étudiées : Menthe pouliot (*Mentha pulegium. L.*), lavande officinale (*Lavandula officinalis L.*) et cyprès vert (*Cupressus sempervirens L.*) traditionnellement utilisées contre des insectes, ont été récoltées dans la région de Fès vers le début du mois Avril 2016. L'identification des échantillons collectés a été effectuée en utilisant la loupe binoculaire et en se basant sur le manuel de détermination des plantes vasculaires Flore Pratique du Maroc (Fennane et *al.*, 2007). La matière végétale (feuilles, tiges et bois) a été nettoyée, lavée avec de l'eau de source et séchée à l'ombre. Elle a été ensuite broyée et récupérée dans des sacs propres.

#### **3.3.3. Préparation des extraits**

Il s'agit d'une extraction des plantes par macération dans l'eau distillée (100g/L), à température ambiante pendant 24 heures. Après décantation du mélange, l'extrait hydrique est récupéré par filtration sur papier Wattman.

#### **3.3.4. Etude phytochimique des extraits**

L'étude phytochimique des extraits a concerné deux analyses. Premièrement, une analyse qualitative par HPLC (chromatographie liquide à haute performance). Deuxièmement, une analyse quantitative des extraits aqueux des plantes étudiées par dosage des polyphénols totaux et dosage des flavonoïdes.

### 3.3.4.1. Analyse HPLC

Cette étude permet de mettre en évidence la présence de quelques groupes chimiques (polyphénols, flavonoïdes) dans nos extraits. Essais de caractérisation par chromatographie liquide à haute performance. Cette analyse a été réalisée au laboratoire de Biotechnologie à la Faculté des Sciences Dhar El Mahraz de l'Université Sidi Mohamed Ben Abdellah-Fès.

#### *Mode opératoire*

- chromatographe : appareil Shimadzu
- colonne : Wakosil II (150 mm\*4.6mm\* 5µm)
- système de pompage : pompe quaternaire
- injecteur : boucle d'injection manuelle
- détecteur : UV visible
- logiciel utilisé pour visualiser les signaux : Labsolutions
- phase mobile 1 : eau acidifiée à 0.2% H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (notée D)
- phase mobile 2 : Acetonitrile/Methanol 50/50 (notée B)

#### *Conditions opératoires*

- Débit : ml/min
- Pression de travail : variable car on travaille en mode gradient et non isocratique.
- Volume d'injection : 20 µl
- Longueur d'onde : 360 nm
- Temps d'analyse : 53 min

### 3.3.4.2. Dosage des polyphénols totaux

Le dosage des polyphénols totaux dans les extraits de la Menthe pouliot (*Mentha pulegium* L.), la Lavande officinale (*Lavandula officinalis* L.) et le Cyprès vert (*Cupressus sempervirens* L.) a été effectué spectrophotométriquement selon la méthode au réactif de Folin Ciocalteu (Singleton et al., 1999).

Principe :

Ce dosage est basé sur la quantification de la concentration totale de groupements hydroxyles présents dans l'extrait. Le réactif de Folin-Ciocalteu consiste en une solution

jaune acide contenant un complexe polymérique d'ions (hétéropolyacides). En milieu alcalin, le réactif de Folin-Ciocalteu, oxyde les phénols en ions phénolates et réduit partiellement ses hétéropolyacides, d'où la formation d'un complexe bleu (Daels-rakotoarison, 1999).

Mode opératoire :

A 0,2 ml d'extrait (préparé dans l'eau distillée avec les dilutions convenables) est ajouté à 0,8 ml de la solution de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (75 mg/ml d'eau distillée), après agitation, 1ml de la solution de Folin Ciocalteu (dilué dix fois dans l'eau distillée) est ajouté à l'ensemble, après 2 h d'incubation à la température du laboratoire, l'absorbance est lue à 765 nm contre un blanc sans extrait.

Le taux de polyphénols totaux dans nos extraits, a été calculé à partir d'une courbe d'étalonnage linéaire ( $y = ax + b$ ), établie avec des concentrations précises d'acide gallique (0-200 $\mu\text{g/ml}$ ), comme standard de référence, dans les mêmes conditions que l'échantillon. Les teneurs en polyphénols sont exprimées en  $\mu\text{g}$  d'équivalent acide gallique par ml ( $\mu\text{g EqAG /ml}$ ).

#### **3.3.4.3. Dosage des flavonoïdes**

Nous avons employé la méthode du trichlorure d'aluminium (Chang et *al.*, 2002) pour déterminer la teneur en flavonoïdes totaux dans les différents extraits de la Menthe pouliot (*Mentha pulegium* L.), la Lavande officinale (*Lavandula officinalis* L.) et le Cypres vert (*Cupressus sempervirens* L.). 1 ml de l'échantillon (préparé dans le méthanol avec les dilutions convenables) est ajouté à 1ml de la solution d' $\text{AlCl}_3$  (2% dans le méthanol), le mélange est vigoureusement agité. Après 10 min d'incubation, l'absorbance est lue à 765 nm.

Une courbe d'étalonnage ( $y = ax + b$ ) établie par la quercétine (0-40 $\mu\text{g/ml}$ ), réalisée dans les mêmes conditions opératoires que les échantillons, servira à la quantification des flavonoïdes. Les teneurs en flavonoïdes sont exprimées en  $\mu\text{g}$  d'équivalente quercétine par ml ( $\mu\text{g EqQ /ml}$ ).

### 3.3.5. Tests des effets biologiques

#### 3.3.5.1. Tests biologiques *in vitro*

La méthodologie de nos tests est inspirée de la technique de Pszczolkowski et Brown (2005). Les pommes non infestées (Golden delicious ; environ 4 cm de diamètre) ont été utilisées pour la présente étude. Les pommes ont été submergées dans les extraits de plantes de concentrations 2g/l, 4g/l, 6g/l, 8g/l, 10g/l ou dans l'eau de source uniquement (témoin). Deux pommes (une traitée avec l'extrait de plante à tester et un témoin traité à l'eau) ont été placées à 5 cm d'intervalle dans un bac en plastique circulaire de 16 cm de diamètre avec couvercle (Figure 16). Une chenille néonatale a été délicatement placée à l'aide d'une brosse fine à mi-chemin des deux pommes. Avant chaque essai, les bacs ont été lavés avec de l'eau du robinet, de l'eau distillée, de l'alcool, puis séchés. 60 chenilles néonatales ont été testées individuellement dans cette étude. Pour chacune des concentrations de l'extrait avec témoin, dix répétitions sont effectuées. Après 24 h, toutes les pommes étaient examinées sous une loupe binoculaire afin de trouver des traces de piqûres causées par les larves de carpocapse. L'analyse statistique des moyennes est réalisée à l'aide du test de Fisher. Elle a été effectuée par le programme SPSS 20.

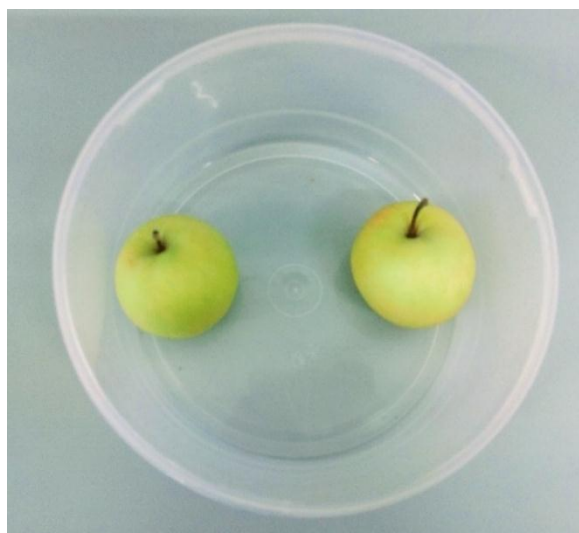


Figure 16. Dispositif expérimental du test de lutte contre les larves de carpocapse *in vitro*

#### 3.3.5.2. Tests biologiques *in vivo*

Les arbres étudiés sont de la variété Starking delicious, situés dans le verger d'Aït Sebaa. Deux traitements ont été appliqués. Le premier vers la fin d'avril, avant le début du premier cycle de carpocapse. Les extraits aqueux de la Menthe pouliot (*Mentha pulegium*

L.), la Lavande officinale (*Lavandula officinalis* L.) et le Cyprès vert (*Cupressus sempervirens* L.) ont été appliquées aux concentrations : 100g/l, 200g/l et 300g/l. Le deuxième traitement a été effectué en fin de juin, avant le début du deuxième cycle de carpocapse. Pour ce traitement, seuls les extraits aqueux de la Lavande officinale (*Lavandula officinalis* L.) à la concentration de 300g/l ont été utilisés du fait de leur efficacité sur le carpocapse de première génération.

Sur chaque ligne de pommier et pour chaque dose étudiée, un traitement de 15 arbres à raison de trois répétitions de 5 arbres chacune, a été réalisé avec un saut de 5 arbres non traités entre les répétitions. Pour chaque dose et pour chaque extrait de plante, le traitement a débuté à partir de l'extrémité de la ligne et à l'opposé de la dose suivante, en suivant l'orientation S-N de la parcelle traitée (Figure 17).

Les extraits aqueux ont été appliqués à l'aide d'un pulvérisateur à dos de 20 L de volume. L'extrait aqueux a été appliqué sur tous les organes du pommier. Le comptage à vue des pommes endommagées sur arbres a été réalisée 15 jours après chaque traitement. L'analyse statistique des moyennes a été effectuée à l'aide du test de l'analyse de la variance ANOVA. Elle a été réalisée par le programme SPSS 20.

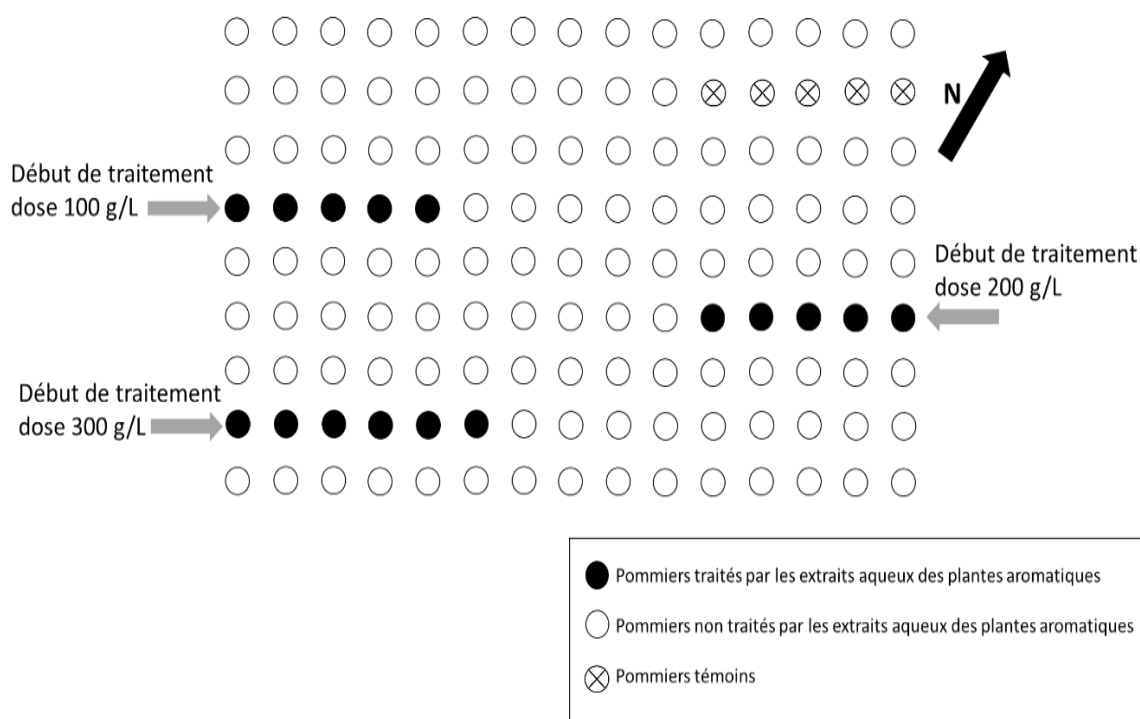


Figure 17. Disposition des arbres traité et des arbres non traité par les extraits aqueux des plantes aromatiques dans le verger étudié

### III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

#### 1. Caractérisation morphologique du pommier

##### 1.1. Arbre

Dans les trois régions d'étude (Aït Sebaa, Annoceur et Midelt), en Juillet et Août 2014, les mesures morphométriques de l'arbre (Hauteur, Largeur et Diamètre de tronc) ont été significativement influencé par les variétés des pommes étudiées (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). De plus, ces mesures ont été significativement plus faibles chez la variété Starking delicious, par rapport à Royal gala et Golden delicious (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

Les figures 18A, 19A et 20A montrent qu'en Juillet 2014, au site d'étude Aït Sebaa, les mesures morphométriques de l'arbre sont faibles chez le pommier de la variété Starking delicious (Hauteur : 2,78 m, Largeur : 2,05 m et Diamètre du tronc : 0,054 m) en comparaison avec la variété Golden delicious (Hauteur : 3,54 m, Largeur : 2,65 m et Diamètre du tronc : 0,088 m) et la variété Royal gala (Hauteur : 3,30, Largeur : 2,78 m et Diamètre du tronc : 0,086 m).

Au niveau de ce site, le pommier de la variété Starking delicious a présenté des mesures morphométriques de l'arbre sont faibles En août 2014 (Hauteur : 2,77 m, Largeur : 2,07 m et Diamètre du tronc : 0,058 m) par rapport à la variété Golden delicious (Hauteur : 3,56 m, Largeur : 2,69 m et Diamètre du tronc : 0,088 m) et la variété Royal gala (Hauteur : 3,35, Largeur : 2,80 m et Diamètre du tronc : 0,086 m) (Figure 18D, 19D et 20D).

Au site d'étude Annoceur, en Juillet 2014, la caractérisation morphologique du pommier a montré que les arbres de la variété Golden delicious ont une faible Hauteur (2,60 m), Largeur (1,96 m) et Diamètre du tronc (0,052 m) que la variété Starking delicious (Hauteur : 3,21 m, Largeur : 2,48 m et Diamètre du tronc : 0,087 m) et la variété Royal gala (Hauteur : 3,25, Largeur : 2,53 m et Diamètre du tronc : 0,085 m) (Figure 18B, 19B et 20B).

En août 2014, les mesures morphométriques de l'arbre à Annoceur sont faibles chez le pommier de la variété Starking delicious (Hauteur : 2,62 m, Largeur : 1,99 m et Diamètre du tronc : 0,053 m) en comparaison avec la variété Golden delicious (Hauteur : 3,22 m, Largeur : 2,49 m et Diamètre du tronc : 0,087 m) et la variété Royal gala (Hauteur : 3,28 m, Largeur : 2,54 m et Diamètre du tronc : 0,086 m) (Figure 18B, 19B et 20B).

La caractérisation morphologique, à l'échelle des pommiers de la variété Golden delicious (Hauteur : 2,97 m, Largeur : 2,24 m et Diamètre du tronc : 0,085 m) et la variété Royal gala (Hauteur : 3,15, Largeur : 2,38 m et Diamètre du tronc : 0,082 m) est plus forte que celle au niveau de la variété Starking delicious au site d'étude Midelt, en Juillet 2014, (Hauteur : 2,30 m, Largeur : 1,73 m et Diamètre du tronc : 0,05 m) (Figure 18E, 19E et 20E).

Au niveau de cette troisième station d'étude, les arbres Starking delicious ont présenté une Hauteur de 2,34 m, une Largeur de 1,74 m et un Diamètre du tronc de l'ordre de 0,052 m. Ces mesures sont faibles par rapport aux variétés Golden delicious (Hauteur : 3,00 m, Largeur : 2,25 m et Diamètre du tronc : 0,086 m) et la variété Royal gala (Hauteur : 3,23 m, Largeur : 2,39 m et Diamètre du tronc : 0,082 m) (Figure 18E, 19E et 20E).

## Hauteur de l'arbre

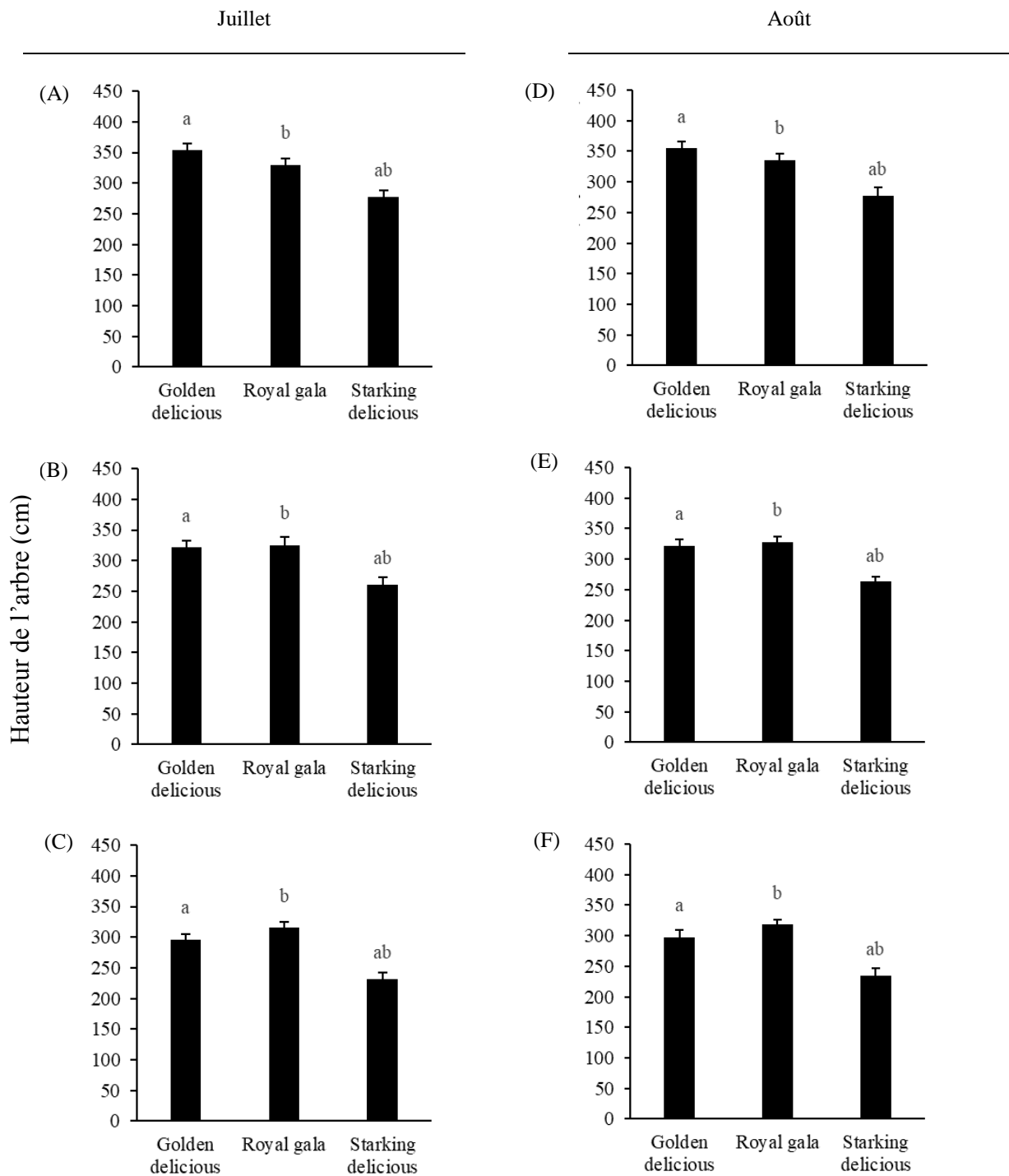


Figure 18. Hauteur des pommiers (Golden delicious; Royal gala; Starking delicious) en Juillet (A, B, C) et Août (D, E, F) 2014 au niveau du sites Aït Sebaa (A, D), Annoeur (B, E) et Midelt (C, F). Les lettres a, b indiquent les différences significatives des infestations larvaires ( $p \leq 0,05$ ; ANOVA, test Bonferroni post hoc). Les barres d'erreurs correspondent à l'erreur standard de la moyenne. Les moyennes de 30 mesures sont présentées.

## Largeur de l'arbre

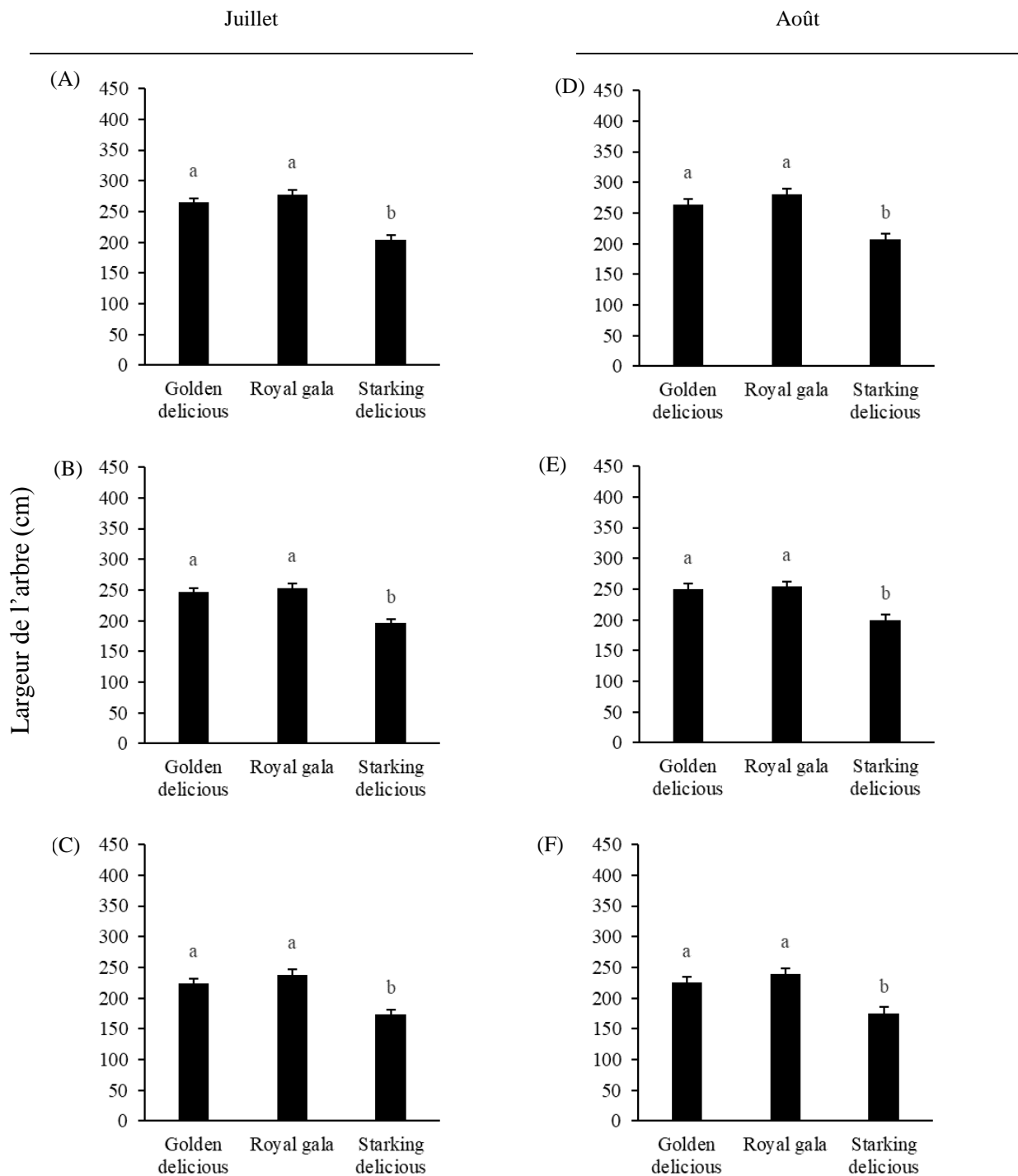


Figure 19. Largeur des pommiers (Golden delicious; Royal gala; Starking delicious) en Juillet (A, B, C) et Août (D, E, F) 2014 au niveau des sites Ait Sebaa (A, D), Annoceur (B, E) et Midelt (C, F). Les lettres a, b indiquent les différences significatives des infestations larvaires ( $p \leq 0,05$ ; ANOVA, test Bonferroni post hoc). Les barres d'erreurs correspondent à l'erreur standard de la moyenne. Les moyennes de 30 mesures sont présentées.

## Diamètre du tronc

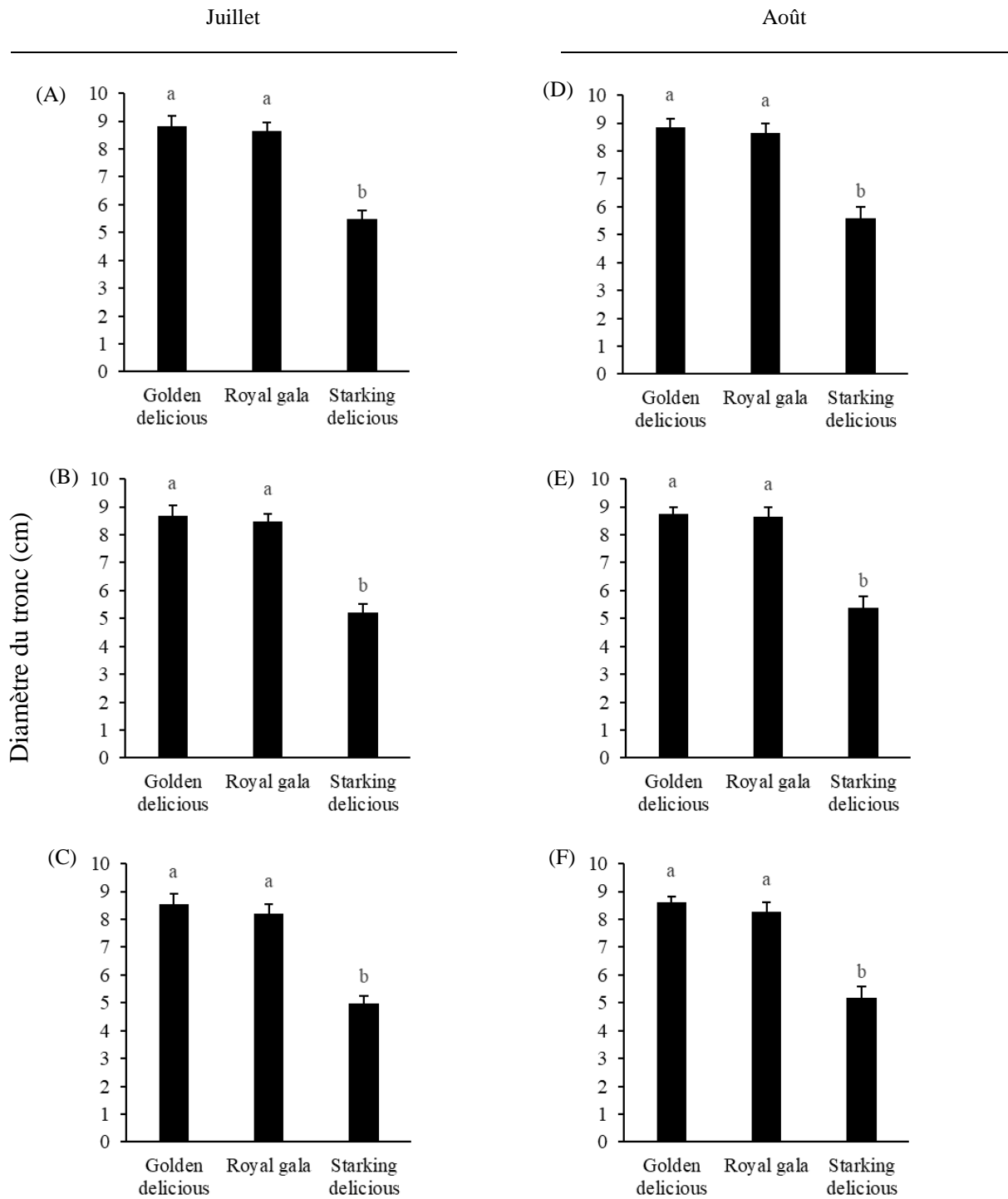


Figure 20. Diamètre du tronc des pommiers (Golden delicious; Royal gala; Starking delicious) en Juillet (A, B, C) et Août (D, E, F) 2014 au niveau des sites Aït Sebaa (A, D), Annoceur (B, E) et Midelt (C, F). Les lettres a, b indiquent les différences significatives des infestations larvaires ( $p \leq 0,05$ ; ANOVA, test Bonferroni post hoc). Les barres d'erreurs correspondent à l'erreur standard de la moyenne. Les moyennes de 30 mesures sont présentées.

En Juillet et Août 2015, la caractérisation morphologique de la Hauteur, la Largeur et le Diamètre de tronc de l'arbre a été significativement influencé par les variétés des pommes étudiées, dans les trois régions d'étude, (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). En outre, cette caractérisation a été significativement plus faible chez la variété Starking delicious, en comparaison avec Royal gala et Golden delicious (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

En 2015, Au site d'étude Aït Sebaa, en Juillet, les mesures morphométriques de l'arbre sont faibles chez le pommier de la variété Starking delicious (Hauteur : 2,81 m, Largeur : 2,11 m et Diamètre du tronc : 0,064 m) en comparaison avec la variété Golden delicious (Hauteur : 3,55 m, Largeur : 2,70 m et Diamètre du tronc : 0,09 m) et la variété Royal gala (Hauteur : 3,33, Largeur : 2,88 m et Diamètre du tronc : 0,088 m) (Figure 21A, 22A et 23A).

En août, la caractérisation morphologique du pommier est faible chez le pommier de la variété Starking delicious (Hauteur : 2,84 m, Largeur : 2,15 m et diamètre du tronc : 0,064 m) par rapport à la variété Golden delicious (Hauteur : 3,57 m, Largeur : 2,72 m et Diamètre du tronc : 0,09 m) et la variété Royal gala (Hauteur : 3,42, Largeur : 2,9 m et Diamètre du tronc : 0,089 m) (Figure 21D, 22D et 23D).

Au site d'étude Annoeur, en Juillet 2015, la Hauteur du pommier de la variété Starking delicious est 2,62 m, sa Largeur est de 2,17 m et son Diamètre du tronc est 0,053 m). Ces mesures morphométriques sont plus faibles que ceux que présentent les arbres de la variété Golden delicious (Hauteur : 3,23 m, Largeur : 2,57 m et Diamètre du tronc : 0,088 m) et la variété Royal gala (Hauteur : 3,27, Largeur : 2,62 m et Diamètre du tronc : 0,085 m) (Figure 21B, 22B et 23B).

La caractérisation morphologique des arbres, à Annoeur, en Août 2015, chez Golden delicious (Hauteur : 3,24 m, Largeur : 2,62 m et Diamètre du tronc : 0,09 m) et Royal gala (Hauteur : 3,35, Largeur : 2,68 m et Diamètre du tronc : 0,086 m). sont plus importantes que celle du pommier Starking delicious (Hauteur : 2,67 m, Largeur : 2,19 m et Diamètre du tronc : 0,054 m) (Figure 21E, 22E et 23E).

Au site d'étude Midelt, en Juillet 2015, le pommier de la variété Starking delicious présente les mesures morphométriques suivantes : Hauteur : 2,33 m (Figure 21C), Largeur : 1,92 m (Figure 22C) et Diamètre du tronc : 0,052 m (Figure 23C). Elles sont moins importantes que celles chez les pommiers des deux variétés Golden delicious et Royal gala. La Hauteur

de l'arbre Golden delicious est 3,00 m, sa Largeur est 2,35 m et son Diamètre du tronc est 0,086 m. La caractérisation morphologique de la variété Royal gala est : Hauteur : 3,18, Largeur : 2,50 m et Diamètre du tronc : 0,083 m.

Les figures 21A, 22A et 23A montrent les mesures morphométriques de l'arbre, en août 2015 à Midelt. Ces mesures sont plus faibles chez le pommier de la variété Starking delicious (Hauteur : 2,41 m, Largeur : 2,01 m et Diamètre du tronc : 0,053 m) que chez la variété Golden delicious (Hauteur : 3,05 m, Largeur : 2,43 m et Diamètre du tronc : 0,09 m) et la variété Royal gala (Hauteur : 3,19, Largeur : 2,56 m et diamètre du tronc : 0,083 m).

## Hauteur de l'arbre

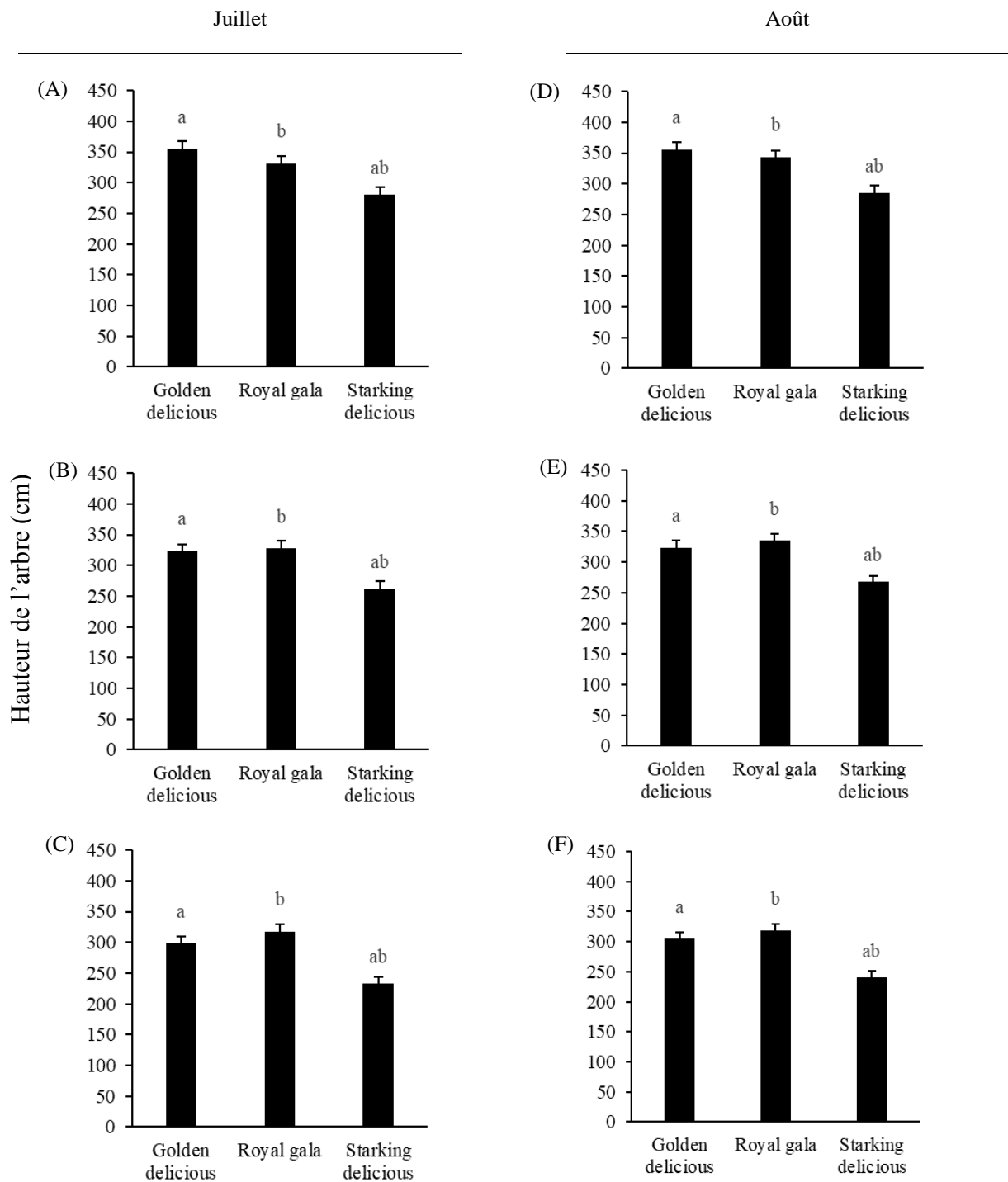


Figure 21. Hauteur des pommiers (Golden delicious; Royal gala; Starking delicious) en Juillet (A, B, C) et Août (D, E, F) 2015 au niveau du sites Aït Sebaa (A, D), Annoeur (B, E) et Midelt (C, F). Les lettres a, b indiquent les différences significatives des infestations larvaires ( $p \leq 0,05$ ; ANOVA, test Bonferroni post hoc). Les barres d'erreurs correspondent à l'erreur standard de la moyenne. Les moyennes de 30 mesures sont présentées.

## Largeur de l'arbre

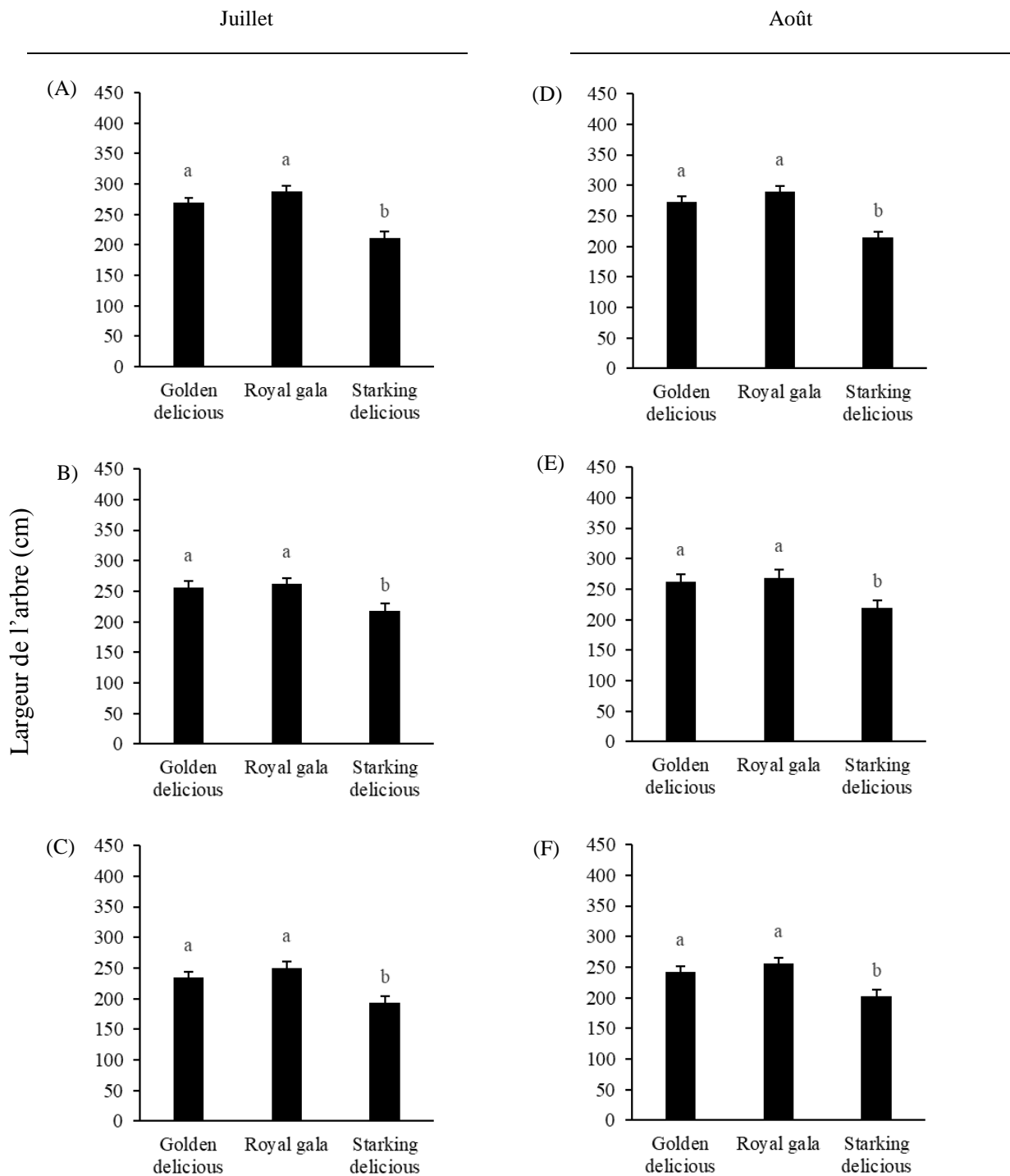


Figure 22. Largeur des pommiers (Golden delicious; Royal gala; Starking delicious) en Juillet (A, B, C) et Août (D, E, F) 2015 au niveau du sites Aït Sebaa (A, D), Annoceur (B, E) et Midelt (C, F). Les lettres a, b indiquent les différences significatives des infestations larvaires ( $p \leq 0,05$ ; ANOVA, test Bonferroni post hoc). Les barres d'erreurs correspondent à l'erreur standard de la moyenne. Les moyennes de 30 mesures sont présentées.

## Diamètre du tronc

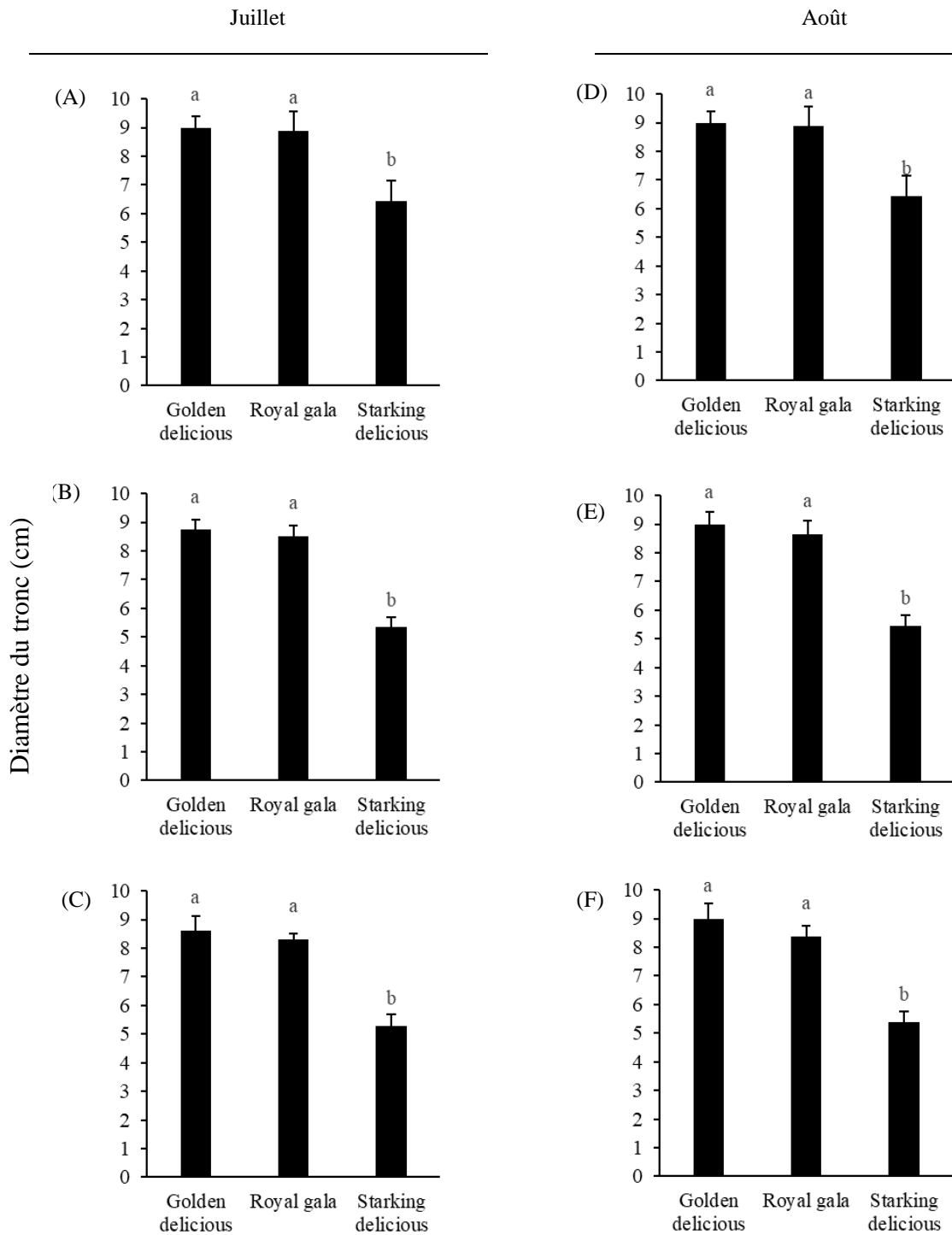


Figure 23. Diamètre du tronc des pommiers (Golden delicious; Royal gala; Starking delicious) en Juillet (A, B, C) et Août (D, E, F) 2015 au niveau du sites Aït Sebaa (A, D), Annoceur (B, E) et Midelt (C, F). Les lettres a, b indiquent les différences significatives des infestations larvaires ( $p \leq 0,05$ ; ANOVA, test Bonferroni post hoc). Les barres d'erreurs correspondent à l'erreur standard de la moyenne. Les moyennes de 30 mesures sont présentées.

Les mesures morphométriques de l'arbre (Hauteur, Largeur et Diamètre du tronc) ont montré des différences morphologiques entre les pommiers de la même variété dans les trois régions étudiées, en Juillet et Août 2015. Le pommier de la variété Starking delicious présente les caractères morphologiques de l'arbre les plus faibles en comparaison avec ceux de Golden delicious et Royal gala. La hauteur des pommiers a un effet important sur l'intersection de lumière et donc sur le rendement. Selon Callesen (1992), les arbres de hauteur entre 175 à 375 cm présentent généralement une interception de la lumière similaire. Cependant, le rendement en pommes augmente avec une hauteur croissante des arbres. La hauteur chez le pommier de 275 à 325 cm est optimale pour le développement de la couleur et de la taille des pommes, ce qui donne un rendement important en pommes.

La densité de plantation des pommiers dans le verger a un effet sur les caractéristiques morphologiques des pommiers. Ainsi, les pommiers présentent des caractéristiques morphologiques plus importantes (Hauteur, largeur et diamètre du tronc) au niveau des vergers avec une densité de plantation faible (425 arbres/ ha), en comparaison avec les pommiers dans les vergers à densités plus grandes (Ferree, 1980). Xue et *al.* (2017) ont comparé les caractéristiques morphologiques des pommiers diploïdes avec ceux présentant une polyplôïdie. L'induction artificielle de la polyplôïdie est une technique efficace pour améliorer les propriétés biologiques du pommier (Cornille et *al.*, 2012 ; Dhooghe et *al.*, 2011; Liu et *al.*, 2015). Les pommiers autotétraploïdes présentent des caractéristiques morphologiques différentes des plantes diploïdes. Les pommiers autotétraploïdes ont une croissance retardée et des caractéristiques naines significatives avant la floraison, mais leur croissance reprend après la floraison. Liu et *al.* (2006), ont noté que la croissance de la plupart des cultivars polyplôïdes est lente, surtout au début du développement. De nombreuses études ont rapporté que la polyplôïdisation des plantes conduit à une croissance réduite (Belabbassi et *al.*, 2016; Haouala et *al.*, 2009; Sourour et *al.*, 2014). La raison de cette diminution est encore inconnue. Chez le pommier l'explication possible serait que la polyplôïdisation pourrait augmenter le volume cellulaire et diminuer la densité cellulaire, ce qui pourrait affecter l'élongation et la division des cellules (Sedov et *al.*, 2014).

Une meilleure compréhension de la physiologie de la canopée des arbres est importante pour déterminer les relations entre la productivité, la performance et le climat (Dawson, 1996; Godin et Sinoquet, 2005; Landsberg et Sands, 2011). C'est particulièrement le cas en ce qui concerne la production de pommes en raison de la forte demande de métabolites qui

sont nécessaires pour maximiser la production. Une autre caractéristique importante qui influe fortement sur la production est l'effet des saisons. Beaucoup de pommiers nécessitent des réserves de glucides extensives à mobiliser au printemps pour soutenir leur croissance puis entrer en dormance durant l'hivers (Janzen, 1967). En comparant la croissance entre le pommier et vigne, le développement des fleurs dans les bourgeons dormants est très différent, avec des fleurs presque entièrement formées chez les pommiers, mais la floraison est retardée jusqu'à 40 jours que celle de la vigne. Ainsi, le développement de la surface foliaire des vignes et la taille des feuilles sont des attributs importants pour s'assurer qu'une acquisition rapide de carbone se produit pour répondre aux exigences de la reproduction de pommes. Cependant, les pommes sont une taille beaucoup plus grande, et ainsi le développement de ces pommes est également fortement dépendant de l'acquisition du carbone (Greer, 2018).

## **1.2. Branches charpentières**

Dans les trois régions d'étude (Aït Sebaa, Annoceur et Midelt), en Juillet et Août 2014, les mesures morphométriques des branches charpentières (Longueur et Longueur des entre-nœuds) ont été significativement influencé par les variétés des pommes étudiées (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). La Longueur des branches charpentières a été significativement plus faible chez la variété Starking delicious, par rapport à Royal gala et Golden delicious (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Cependant, la Longueur des entre-nœuds des branches charpentières chez la variété Golden delicious a été significativement plus faible que chez la Royal gala et la Starking delicious (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

En Juillet 2014, Au site d'étude Aït Sebaa, la longueur des branches charpentières est faible chez le pommier de la variété Starking delicious (Longueur : 1,01 m) en comparaison avec la variété Golden delicious (Longueur : 1,95 m) et la variété Royal gala (Longueur : 1,63 m) (Figure 24A). Cependant, La Longueur des entre-nœuds des branches charpentières est plus faible chez le pommier de la variété Golden delicious (Longueur des entre-nœuds : 0,084 m) qu'au niveau de la variété Starking delicious (Longueur des entre-nœuds : 0,10 m) et la variété Royal gala (Longueur des entre-nœuds : 0,11 m) (Figure 25A).

En août, les mesures morphométriques de l'arbre sont faibles chez le pommier de la variété Starking delicious (Longueur : 1,08 m) par rapport à la variété Golden delicious (Longueur : 1,9 m) et la variété Royal gala (Longueur : 1,68 m) (Figure 24D). La Longueur des entre-nœuds des branches charpentières est faible chez le pommier de la variété Golden delicious

(Longueur des entre-nœuds : 0,095 m) en comparaison avec la variété Starking delicious (Longueur des entre-nœuds : 0,13 m) et la variété Royal gala (Longueur des entre-nœuds : 0,1 m) (Figure 24 et 25) (Figure 25D).

Au site d'étude Annoceur, en Juillet 2014, la Longueur des branches charpentières est faible chez le pommier de la variété Starking delicious (Longueur : 1,03 m) en comparaison avec la variété Golden delicious (Longueur : 1,91 m) et la variété Royal gala (Longueur : 1,63 m) (Figure 24B). La Longueur des entre-nœuds des branches charpentières est faible chez le pommier de la variété Golden delicious (Longueur des entre-nœuds : 0,085 m) par rapport à la variété Starking delicious (Longueur des entre-nœuds 0,108 m) et la variété Royal gala (Longueur des entre-nœuds : 0,117 m) (Figure 25B).

La Longueur des branches charpentières, en août 2014 à Annoceur, sont plus faibles chez le pommier Starking delicious (Longueur : 1,07 m) que chez la variété Golden delicious (Longueur : 1,93 m) et la variété Royal gala (Longueur : 1,66 m) (Figure 24E). La Longueur des entre-nœuds des branches charpentières est faible chez le pommier de la variété Golden delicious (Longueur des entre-nœuds : 0,087 m) en comparaison avec la variété Starking delicious (Longueur des entre-nœuds : 0,11 m) et la variété Royal gala (Longueur des entre-nœuds : 0,119 m) (Figure 25E).

La Figure 24C présente la Longueur des branches charpentières Au site d'étude Midelt, en Juillet 2014. Cette longueur est plus importante chez la variété Golden delicious (Longueur : 1,85 m) et la variété Royal gala (Longueur : 1,58 m) que chez la variété Starking delicious (Longueur : 1,00 m). Néanmoins, la Figure 25C montre que la Longueur des entre-nœuds des branches charpentières est faible chez le pommier de la variété Golden delicious (Longueur des entre-nœuds : 0,08 m) par rapport à la variété Starking delicious (Longueur des entre-nœuds 0,095 m) et la variété Royal gala (Longueur des entre-nœuds : 0,108 m).

En août, les mesures morphométriques de l'arbre sont faibles chez le pommier de la variété Starking delicious (Longueur : 1,07 m) en comparaison avec la variété Golden delicious (Longueur : 1,93 m) et la variété Royal gala (Longueur : 1,66 m) (Figure 24F). Les entre-nœuds des branches charpentières ont une Longueur moins importante au niveau des pommiers de la variété Golden delicious (Longueur des entre-nœuds : 0,082 m) par rapport

à celle de la variété Starking delicious (Longueur des entre-nœuds : 0,098 m) et la variété Royal gala (Longueur des entre-nœuds : 0,109 m) (Figure 25F).

## Longueur des branches charpentières

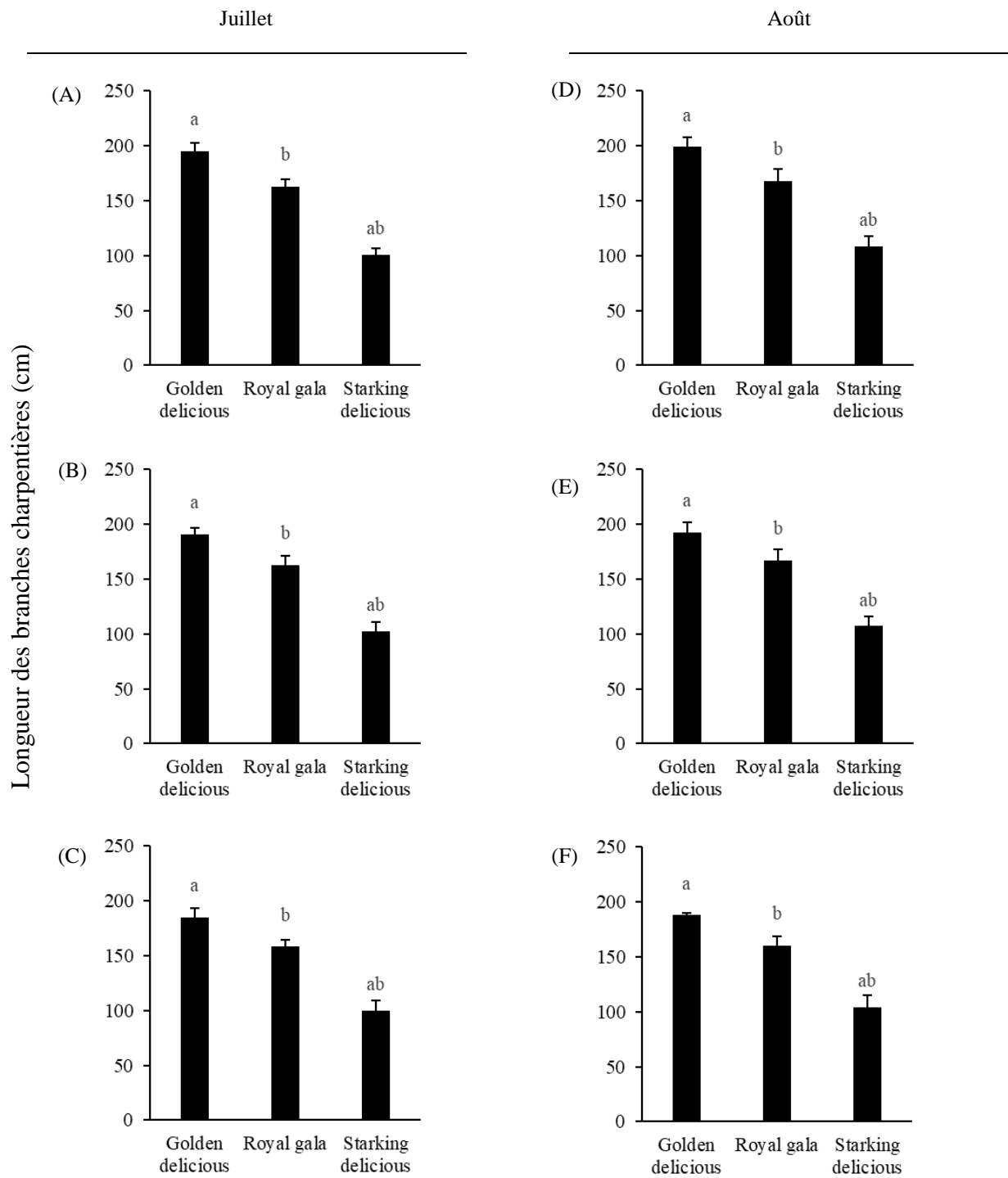


Figure 24. Longueur des branches charpentières des pommiers (Golden delicious; Royal gala; Starking delicious) en Juillet (A, B, C) et Août (D, E, F) 2014 au niveau du sites Aït Sebaa (A, D), Annoceur (B, E) et Midelt (C, F). Les lettres a, b indiquent les différences significatives des infestations larvaires ( $p \leq 0,05$ ; ANOVA, test Bonferroni post hoc). Les barres d'erreurs correspondent à l'erreur standard de la moyenne. Les moyennes de 30 mesures sont présentées.

## Longueur des entre-nœuds des branches charpentières

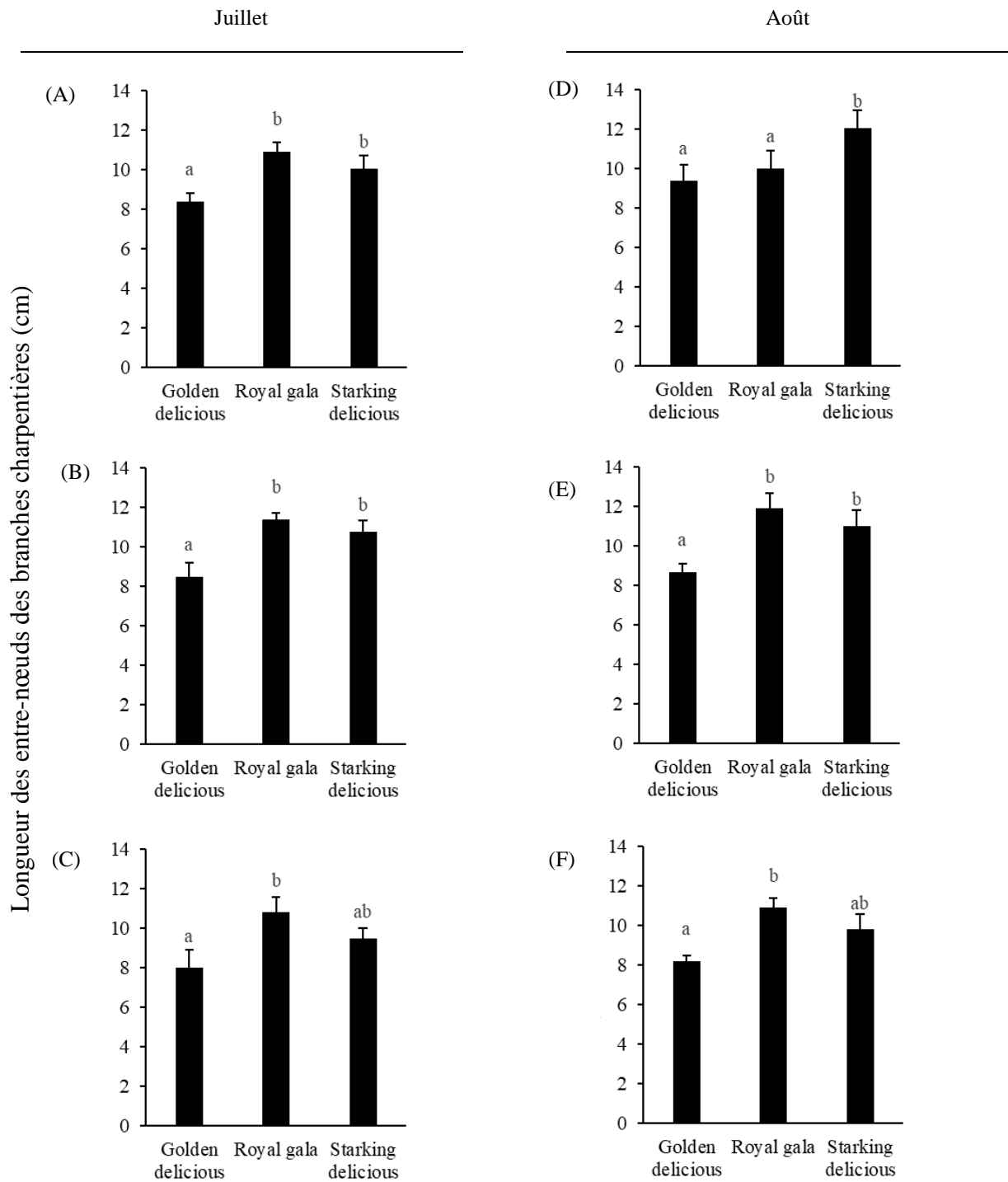


Figure 25. Longueur des entre-nœuds des branches charpentières des pommiers (Golden delicious; Royal gala; Starking delicious) en Juillet (A, B, C) et Août (D, E, F) 2014 au niveau du sites Aït Sebaa (A, D), Annoceur (B, E) et Midelt (C, F). Les lettres a, b indiquent les différences significatives des infestations larvaires ( $p \leq 0,05$ ; ANOVA, test Bonferroni post hoc). Les barres d'erreurs correspondent à l'erreur standard de la moyenne. Les moyennes de 30 mesures sont présentées.

Dans les trois régions d'étude (Aït Sebaa, Annoceur et Midelt), en Juillet et Août 2015, les mesures morphométriques des branches charpentières (Longueur et Longueur des entre-nœuds) ont été significativement influencé par les variétés des pommes étudiées (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). La Longueur des branches charpentières a été significativement plus faible chez la variété Starking delicious, par rapport à Royal gala et Golden delicious (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Néanmoins, la Longueur des entre-nœuds des branches charpentières chez la variété Golden delicious a été significativement plus faible que chez la Royal gala et la Starking delicious (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

En Juillet 2015, Au site d'étude Aït Sebaa, la Longueur des branches charpentières est faible chez le pommier de la variété Starking delicious (Longueur : 0,91 m) en comparaison avec la variété Golden delicious (Longueur : 1,92 m) et la variété Royal gala (Longueur : 1,66 m) (Figure 26A). Les branches charpentières ont une faible Longueur des entre-nœuds au niveau du pommier de la variété Golden delicious (Longueur des entre-nœuds : 0,079 m) par rapport à la variété Starking delicious (Longueur des entre-nœuds : 0,104 m) et la variété Royal gala (Longueur des entre-nœuds : 0,11 m) (Figure 27 A).

En août, les mesures morphométriques de l'arbre sont faibles chez le pommier de la variété Starking delicious (Longueur : 1,08 m) en comparaison avec la variété Golden delicious (Longueur : 1,97 m) et la variété Royal gala (Longueur : 1,69 m) (Figure 26D). La Longueur des entre-nœuds des branches charpentières est plus faible chez le pommier de la variété Golden delicious (Longueur des entre-nœuds : 0,079 m) que chez Starking delicious (Longueur des entre-nœuds : 0,104 m) et Royal gala (Longueur des entre-nœuds : 0,11 m) (Figure 27D).

Au site d'étude Annoceur, en Juillet, la Longueur des branches charpentières est faible chez le pommier de la variété Starking delicious (Longueur : 1,11 m) en comparaison avec la variété Golden delicious (Longueur : 1,94 m) et la variété Royal gala (Longueur : 1,66 m) (Figure 26B). La Longueur des entre-nœuds des branches charpentières est faible chez le pommier de la variété Golden delicious (Longueur des entre-nœuds : 0,082 m) par rapport à la variété Starking delicious (Longueur des entre-nœuds 0,1 m) et la variété Royal gala (Longueur des entre-nœuds : 0,11 m) (Figure 27 B).

En août 2015, à Annoceur, la Longueur des branches charpentières est faible chez le pommier de la variété Starking delicious (Longueur : 1,15 m) en comparaison avec la variété Golden delicious (Longueur : 2 m) et la variété Royal gala (Longueur : 1,77 m)

(Figure 26E). La Longueur des entre-nœuds des branches charpentières est la moins importante chez le pommier de la variété Golden delicious (Longueur des entre-nœuds : 0,084 m) parmi les deux variétés Starking delicious (Longueur des entre-nœuds : 0,103 m) et Royal gala (Longueur des entre-nœuds : 0,115 m) (Figure 27E).

La Longueur des branches charpentières, au site d'étude Midelt, en Juillet 2015, est faible chez le pommier de la variété Starking delicious (Longueur : 1,07 m) en comparaison avec la variété Golden delicious (Longueur : 1,89 m) et la variété Royal gala (Longueur : 1,66 m) (Figure 26C). La Longueur des entre-nœuds des branches charpentières est faible chez le pommier de la variété Golden delicious (Longueur des entre-nœuds : 0,078 m) par rapport à la variété Starking delicious (Longueur des entre-nœuds 0,091 m) et la variété Royal gala (Longueur des entre-nœuds : 0,105 m) (Figure 27C).

Dans la région de midelt, en août 2015, La Longueur des branches charpentières est plus faibles chez le pommier de la variété Starking delicious (Longueur : 1,1 m) que celle de la variété Golden delicious (Longueur : 1,93 m) et la variété Royal gala (Longueur : 1,68 m) (Figure 26F). La Longueur des entre-nœuds des branches charpentières est faible chez le pommier de la variété Golden delicious (Longueur des entre-nœuds : 0,08 m) en comparaison avec la variété Starking delicious (Longueur des entre-nœuds : 0,093 m) et la variété Royal gala (Longueur des entre-nœuds : 0,108 m) (Figure 27F).

## Longueur des branches charpentières

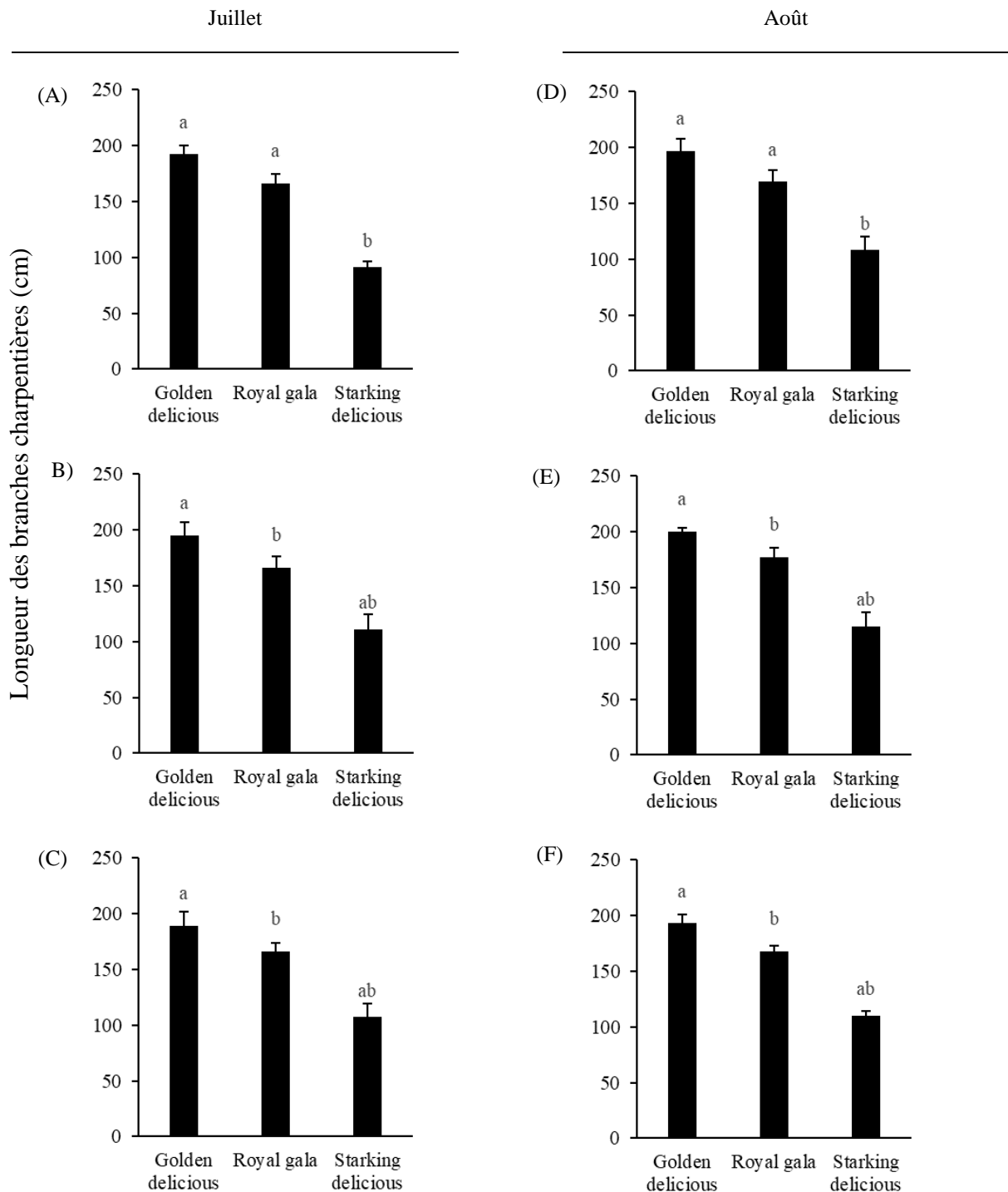


Figure 26. Longueur des branches charpentières des pommiers (Golden delicious; Royal gala; Starking delicious) en Juillet (A, B, C) et Août (D, E, F) 2015 au niveau du sites Aït Sebaa (A, D), Annoceur (B, E) et Midelt (C, F). Les lettres a, b indiquent les différences significatives des infestations larvaires ( $p \leq 0,05$ ; ANOVA, test Bonferroni post hoc). Les barres d'erreurs correspondent à l'erreur standard de la moyenne. Les moyennes de 30 mesures sont présentées.

## Longueur des entre-nœuds des branches charpentières

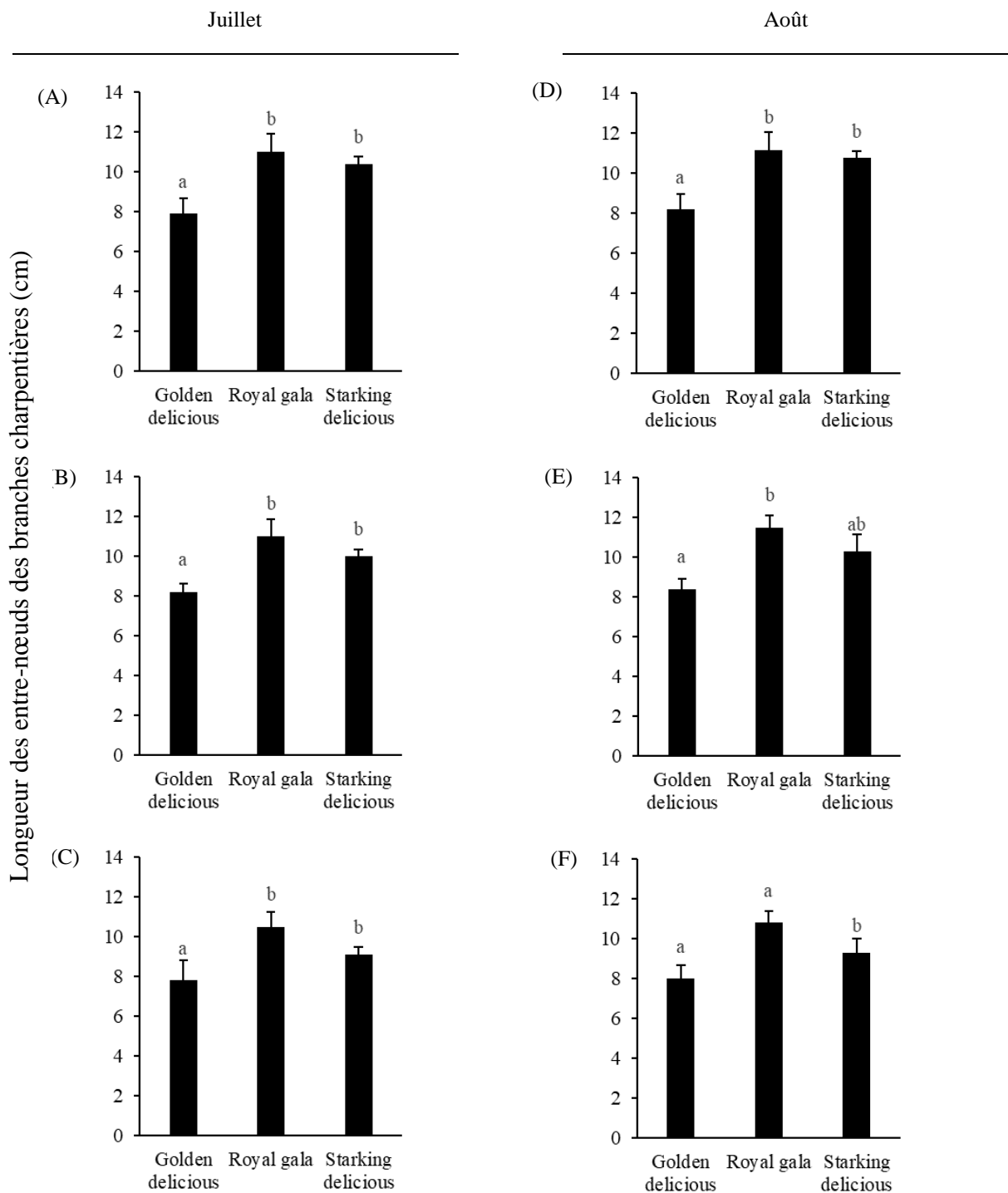


Figure 27. Longueur des entre-nœuds des branches charpentières des pommiers (Golden delicious; Royal gala; Starking delicious) en Juillet (A, B, C) et Août (D, E, F) 2015 au niveau du sites Aït Sebaa (A, D), Annoceur (B, E) et Midelt (C, F). Les lettres a, b indiquent les différences significatives des infestations larvaires ( $p \leq 0,05$ ; ANOVA, test Bonferroni post hoc). Les barres d'erreurs correspondent à l'erreur standard de la moyenne. Les moyennes de 30 mesures sont présentées.

La variété Golden delicious présente la plus importante longueur des branches charpentières suivie de celle de Royal gala puis celle de Starking Delicious, et ce au niveau des trois sites étudiés. Cependant, parmi les trois variétés de pommier étudiées, la plus faible longueur des entre-nœuds a été enregistrée chez la variété Golden delicious. Selon Petri et Leite (2003), la croissance des branches de pommiers est réduite lorsque les conditions de faibles températures ne sont pas satisfaites. Aussi, la morphologie est généralement le début de la caractérisation des arbres (Djaha et N'da, 2014).

Cette caractérisation démontre des écarts marqués entre les données minimales et maximales des caractères morphologiques étudiés. Nos résultats sont en accord avec ceux de Castro et *al.* (2010) ont montré une variabilité phénotypique intra et inter spécifique chez les pommiers. Nos travaux confirment cette variabilité qui présente des coefficients de variation à différence importante. La variabilité morphologique accrue observée chez les pommiers est attribuable à plusieurs facteurs dont l'adaptation aux conditions agroécologiques, l'origine géographique et le type de matériel végétal choisit par les agriculteurs (Chipojola et *al.*, 2009; Djaha et N'da, 2014). De même, les types de pommes de pommiers définis par Lespinasse (1992) comprennent de nombreuses caractéristiques dont ceux liés à la morphologie de l'arbre. Les mesures morphométriques des branches charpentières (Longueur, Longueur des entre-nœuds) ont montré des différences morphologiques entre les pommiers de la même variété dans les trois régions étudiées. Nos résultats ont également mis en évidence le rôle très important de l'origine géographique sur la variabilité des caractères morphologique chez le pommier. En outre, d'autres facteurs peuvent influencer la différence morphologique entre les variétés des plantes tels que l'âge, le génotype et les conditions de plantation, dont le climat et la texture du sol (Bezerra et *al.*, 2007).

### **1.3. Branches fructifères**

Dans la région d'étude Aït Sebaa en Juillet et Août 2014, la Longueur des branches fructières, a été significativement influencé par les variétés des pommes étudiées (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). Elle a été significativement plus faible chez la variété Starking delicious, par rapport à Royal gala et Golden delicious (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

Le nombre de feuilles des branches fructières, dans les trois sites d'étude, a été significativement influencé par les variétés des pommes étudiées (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). A Aït Sebaa en Août 2014, ce nombre a été significativement plus faible chez la variété

Royal gala que chez Starking delicious et Golden delicious (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Cependant, au niveau de la station d'étude Annoceur, le nombre de feuilles a été faible chez Golden delicious en Juillet 2014 et fort chez la même variété en Août 2014, en comparaison avec Royal gala et Starking delicious. En Août 2014, à Midelt, la variété Royal gala présente le plus faible nombre de feuilles au niveau des branches fructifères par rapport aux deux variétés Royal gala et Starking delicious.

Dans les trois sites d'étude, en Juillet et Août 2014, la Longueur des entre-nœuds ainsi que le nombre de pommes au niveau des branches fructières, n'ont pas été influencé par les trois variétés de pommes étudiées (ANOVA;  $P > 0,05$ ).

En Juillet 2014, Au site d'étude Aït Sebaa, la Longueur des Branches fructifères est faible chez le pommier de la variété Starking delicious (Longueur : 0,54 m) en comparaison avec la variété Golden delicious (Longueur : 0,58 m) et la variété Royal gala (Longueur : 0,635 m) (Figure 28A). La Longueur des entre-nœuds des branches fructifères est faible chez le pommier de la variété Starking delicious (Longueur des entre-nœuds : 0,042 m) en comparaison avec la variété Golden delicious (Longueur des entre-nœuds : 0,046 m) et la variété Royal gala (Longueur des entre-nœuds : 0,044 m) (Figure 29A).

Le nombre de feuilles est faible chez le pommier de la variété Golden delicious (Moyenne du nombre de feuilles : 55,33) en comparaison avec la variété Starking delicious (Moyenne du nombre de feuilles : 61) et la variété Royal gala (Moyenne du nombre de feuilles : 65,13) (Figure 30A). Le nombre de pommes est faible chez le pommier de la variété Golden delicious (Moyenne du nombre de pommes : 2,4) en comparaison avec la variété Starking delicious (Moyenne du nombre de pommes : 2,8) et la variété Royal gala (Moyenne du nombre de pommes : 2,4) (Figure 31A).

En août, la Longueur des Branches fructifères est faible chez le pommier de la variété Starking delicious (Longueur : 0,57 m) en comparaison avec la variété Golden delicious (Longueur : 0,625 m) et la variété Royal gala (Longueur : 0,672 m) (Figure 28D). La Longueur des entre-nœuds des branches fructifères est faible chez le pommier de la variété Royal gala (Longueur des entre-nœuds : 0,043 m) en comparaison avec la variété Golden delicious (Longueur des entre-nœuds : 0,049 m) et la variété Starking delicious (Longueur des entre-nœuds : 0,045 m) (Figure 29D).

Le nombre de feuilles est faible chez le pommier de la variété Royal gala (Moyenne du nombre de feuilles : 20,2) en comparaison avec la variété Starking delicious (Moyenne du nombre de feuilles : 55,19) et la variété Golden delicious (Moyenne du nombre de feuilles : 30,73) (Figure 30D). Le nombre de pommes est faible chez le pommier de la variété Golden delicious (Moyenne du nombre de pommes : 1,98 en comparaison avec la variété Starking delicious (Moyenne du nombre de pommes : 2,46) et la variété Royal gala (Moyenne du nombre de pommes : 2) (Figure 31D).

Au site d'étude Annoceur, en Juillet, la Longueur des Branches fructifères est faible chez le pommier de la variété Golden delicious (Longueur : 0,652 m) en comparaison avec la variété Starking delicious (Longueur : 0,681 m) et la variété Royal gala (Longueur : 0,722 m) (Figure 28B). La Longueur des entre-nœuds des branches fructifères est faible chez le pommier de la variété Royal gala (Longueur des entre-nœuds : 0,037 m) en comparaison avec la variété Golden delicious (Longueur des entre-nœuds : 0,043 m) et la variété Starking delicious (Longueur des entre-nœuds : 0,04 m) (Figure 29B).

Le nombre de feuilles est faible chez le pommier de la variété Golden delicious (Moyenne du nombre de feuilles : 32,34) en comparaison avec la variété Starking delicious (Moyenne du nombre de feuilles : 72,11) et la variété Royal gala (Moyenne du nombre de feuilles : 85,16) ) (Figure 30B). Le nombre de pommes est faible chez le pommier de la variété Golden delicious (Moyenne du nombre de pommes : 2,47 en comparaison avec la variété Starking delicious (Moyenne du nombre de pommes : 3,23) et la variété Royal gala (Moyenne du nombre de pommes : 2,99) (Figure 31B).

En août, la Longueur des Branches fructifères est faible chez le pommier de la variété Starking delicious (Longueur : 0,65 m) en comparaison avec la variété Golden delicious (Longueur : 0,705 m) et la variété Royal gala (Longueur : 0,762 m) (Figure 28E). La Longueur des entre-nœuds des branches fructifères est faible chez le pommier de la variété Starking delicious (Longueur des entre-nœuds : 0,048 m) en comparaison avec la variété Golden delicious (Longueur des entre-nœuds : 0,052 m) et la variété Royal gala (Longueur des entre-nœuds : 0,05 m) (Figure 29E).

Le nombre de feuilles est faible chez le pommier de la variété Starking delicious (Moyenne du nombre de feuilles : 30,65) et la variété Royal gala (Moyenne du nombre de feuilles : 42,17) en comparaison avec la variété Golden delicious (Moyenne du nombre de feuilles : 87,06) ) (Figure 30E). Le nombre de pommes est faible chez le pommier de la variété

Royal gala (Moyenne du nombre de pommes : 2,62 en comparaison avec la variété Starking delicious (Moyenne du nombre de pommes : 2,66) et la variété Golden delicious (Moyenne du nombre de pommes : 3,28) (Figure 31E).

Au site d'étude Midelt, en Juillet, la Longueur des Branches fructifères est faible chez le pommier de la variété Golden delicious (Longueur : 0,54 m) en comparaison avec la variété Starking delicious (Longueur : 0,55 m) et la variété Royal gala (Longueur : 0,59 m) (Figure 28C). La Longueur des entre-nœuds des branches fructifères est faible chez le pommier de la variété Royal gala (Longueur des entre-nœuds : 0,033 m) en comparaison avec la variété Golden delicious (Longueur des entre-nœuds : 0,037 m) et la variété Starking delicious (Longueur des entre-nœuds : 0,0398 m) (Figure 29C).

Le nombre de feuilles est faible chez le pommier de la variété Royal gala (Moyenne du nombre de feuilles : 46,15) en comparaison avec la variété Starking delicious (Moyenne du nombre de feuilles : 95,65) et la variété Golden delicious (Moyenne du nombre de feuilles : 85,9) (Figure 30C). Le nombre de pommes est faible chez le pommier de la variété Starking delicious (Moyenne du nombre de pommes : 2,99) en comparaison avec la variété Golden delicious (Moyenne du nombre de pommes : 3,25) et la variété Royal gala (Moyenne du nombre de pommes : 3,25) (Figure 31C).

En août, la Longueur des Branches fructifères est faible chez le pommier de la variété Starking delicious (Longueur : 0,561 m) en comparaison avec la variété Golden delicious (Longueur : 0,611 m) et la variété Royal gala (Longueur : 0,592 m) (Figure 28F). La Longueur des entre-nœuds des branches fructifères est faible chez le pommier de la variété Royal gala (Longueur des entre-nœuds : 0,038 m) en comparaison avec la variété Golden delicious (Longueur des entre-nœuds : 0,0424 m) et la variété Starking delicious (Longueur des entre-nœuds : 0,0429 m) (Figure 29F).

Le nombre de feuilles est faible chez le pommier de la variété Royal gala (Moyenne du nombre de feuilles : 39,32) et la variété Starking delicious (Moyenne du nombre de feuilles : 90,14) en comparaison avec la variété Golden delicious (Moyenne du nombre de feuilles : 86,21) (Figure 30F). Le nombre de pommes est faible chez le pommier de la variété Starking delicious (Moyenne du nombre de pommes : 1,59 en comparaison avec la variété Royal gala (Moyenne du nombre de pommes : 2,52) et la variété Golden delicious (Moyenne du nombre de pommes : 3,1) (Figure 31F).

## Longueur des branches fructifères

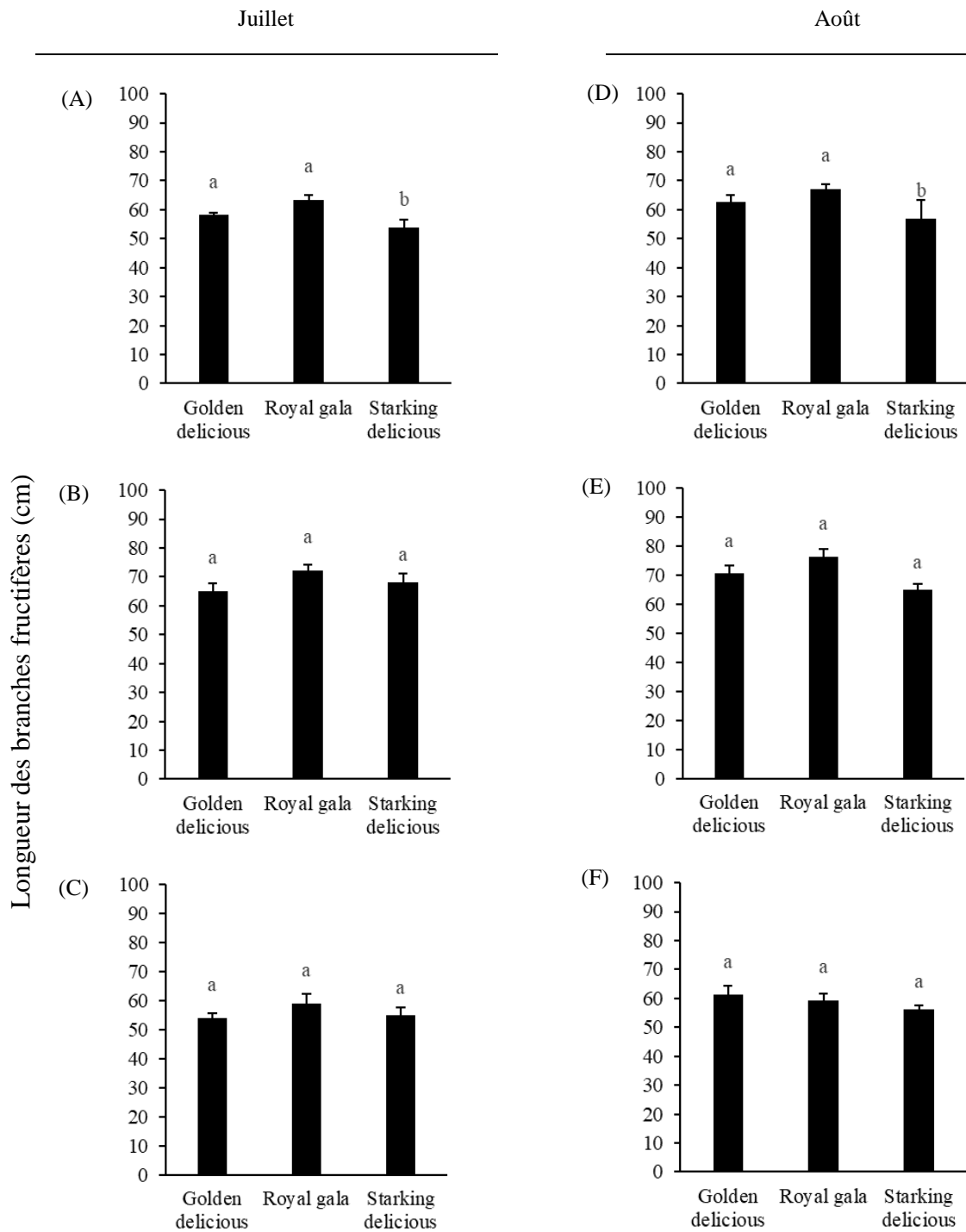


Figure 28. Longueur des branches fructifères des pommiers (Golden delicious; Royal gala; Starking delicious) en Juillet (A, B, C) et Août (D, E, F) 2014 au niveau du sites Aït Sebaa (A, D), Annoceur (B, E) et Midelt (C, F). Les lettres a, b indiquent les différences significatives des infestations larvaires ( $p \leq 0,05$ ; ANOVA, test Bonferroni post hoc). Les barres d'erreurs correspondent à l'erreur standard de la moyenne. Les moyennes de 30 mesures sont présentées.

## Longueur des entre-nœuds des branches fructifères

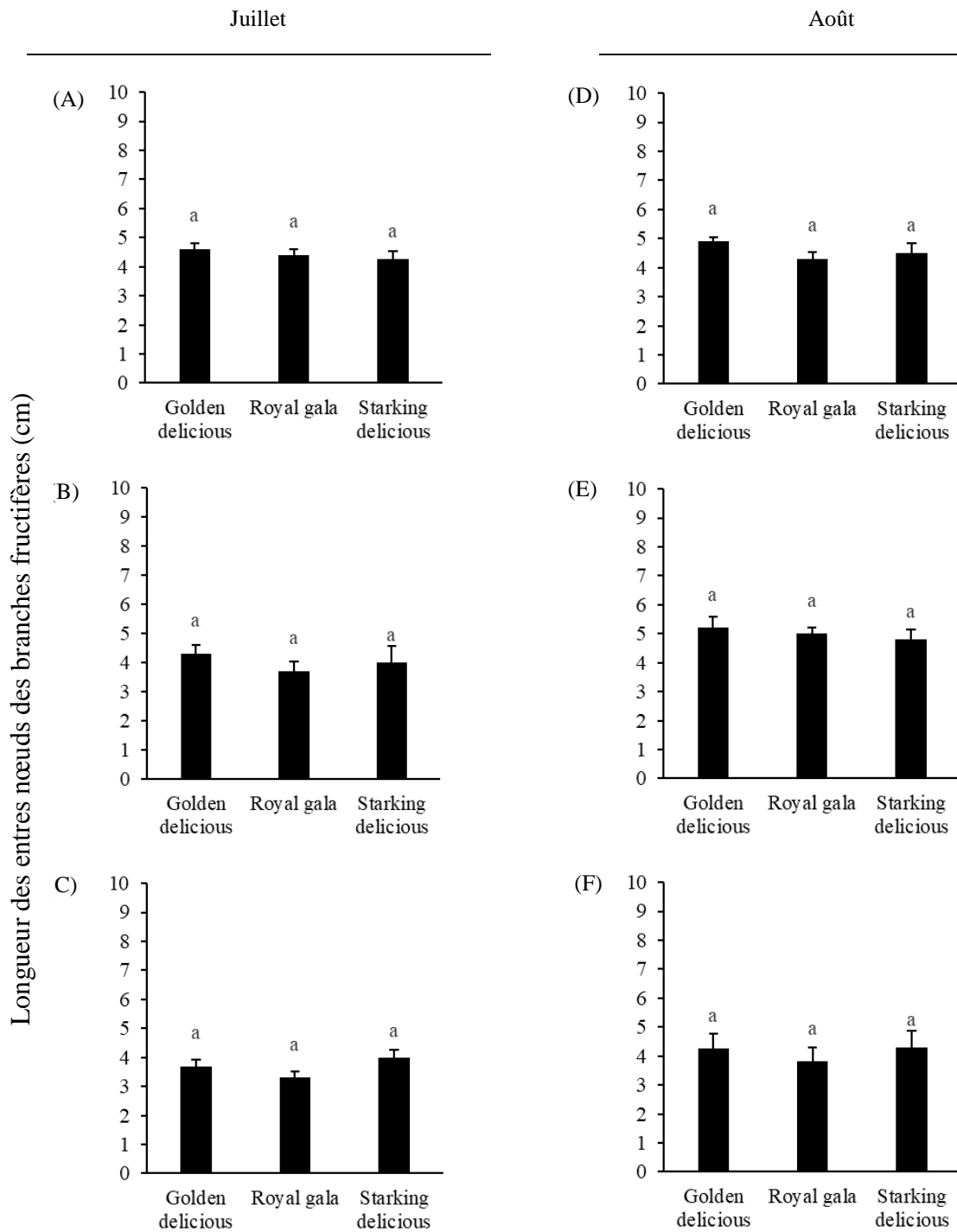


Figure 29. Longueur des entre-nœuds des branches fructifères des pommiers (Golden delicious; Royal gala; Starking delicious) en Juillet (A, B, C) et Août (D, E, F) 2014 au niveau du sites Aït Sebaa (A, D), Annoceur (B, E) et Midelt (C, F). Les lettres a, b indiquent les différences significatives des infestations larvaires ( $p \leq 0,05$ ; ANOVA, test Bonferroni post hoc). Les barres d'erreurs correspondent à l'erreur standard de la moyenne. Les moyennes de 30 mesures sont présentées.

## Nombre de feuilles des branches fructifères

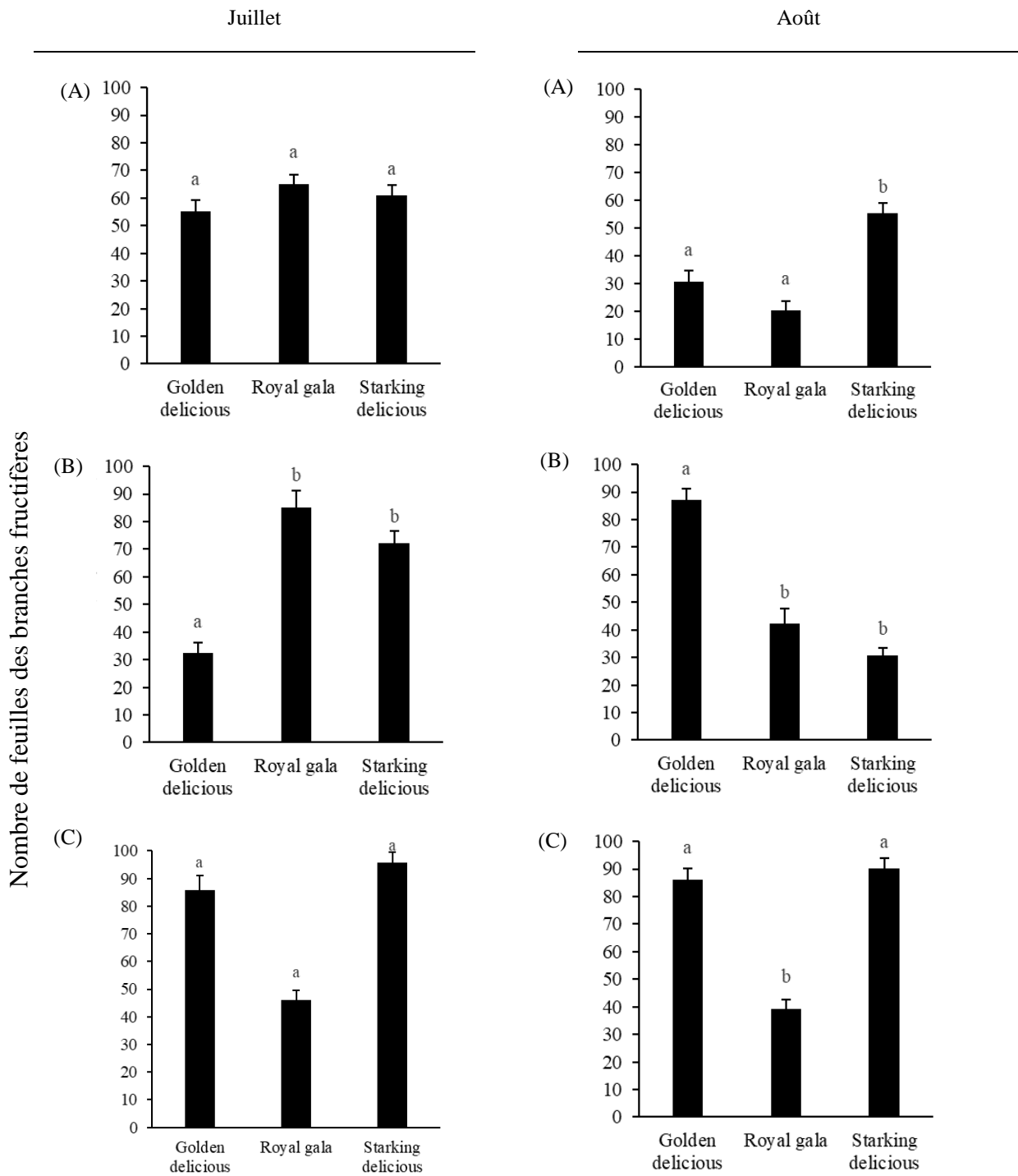


Figure 30. Nombre de feuilles des branches fructifères des pommiers (Golden delicious; Royal gala; Starking delicious) en Juillet (A, B, C) et Août (D, E, F) 2014 au niveau du sites Aït Sebaa (A, D), Annoceur (B, E) et Midelt (C, F). Les lettres a, b indiquent les différences significatives des infestations larvaires ( $p \leq 0,05$ ; ANOVA, test Bonferroni post hoc). Les barres d'erreur correspondent à l'erreur standard de la moyenne. Les moyennes de 30 mesures sont présentées.

## Nombre de pommes des branches fructifères

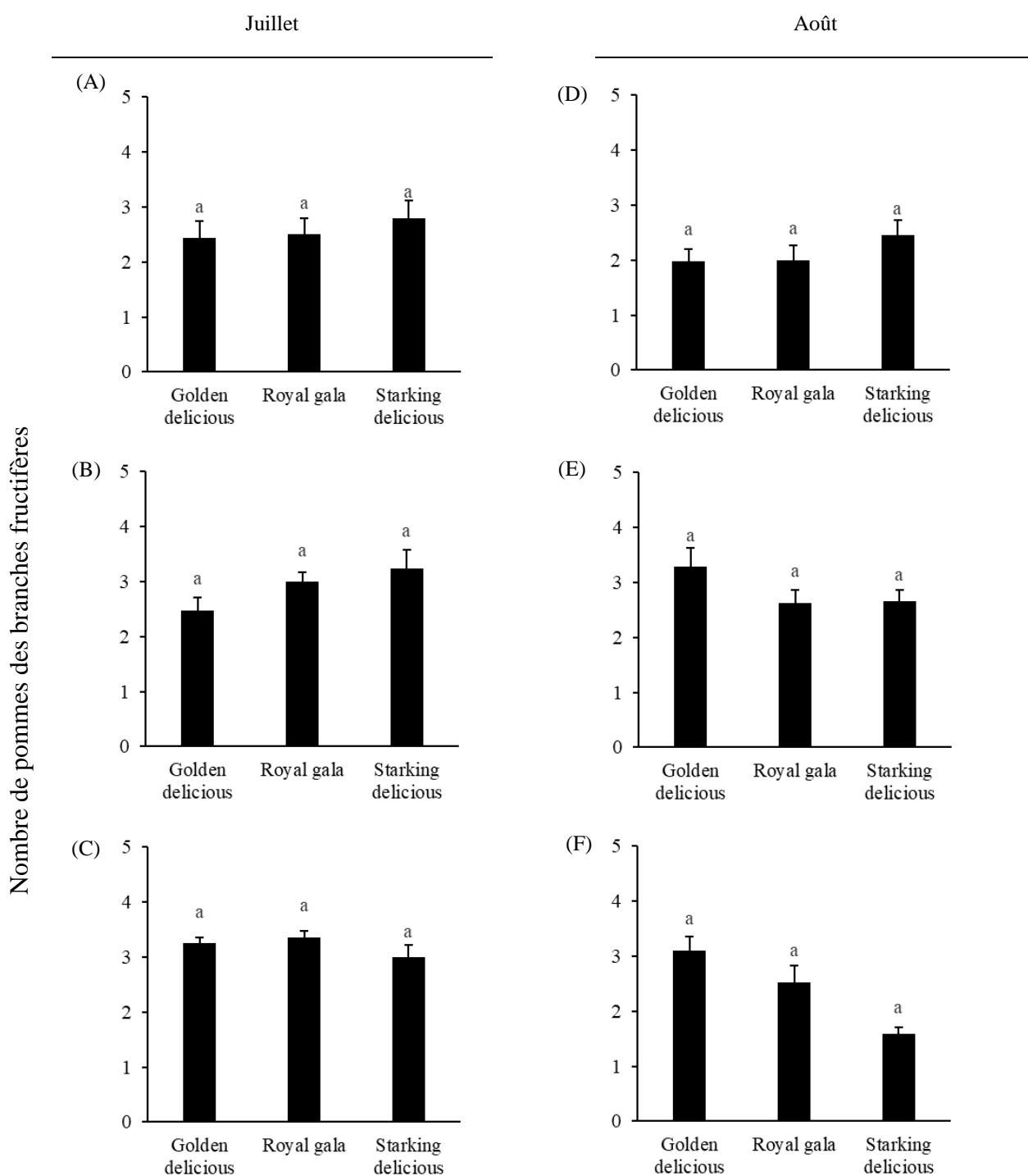


Figure 31. Nombre de pommes des branches fructifères des pommiers (Golden delicious; Royal gala; Starking delicious) en Juillet (A, B, C) et Août (D, E, F) 2014 au niveau du sites Aït Sebaa (A, D), Annoceur (B, E) et Midelt (C, F). Les lettres a, b indiquent les différences significatives des infestations larvaires ( $p \leq 0,05$ ; ANOVA, test Bonferroni post hoc). Les barres d'erreur correspondent à l'erreur standard de la moyenne. Les moyennes de 30 mesures sont présentées.

La Longueur des branches fructières, a été significativement influencé par les variétés des pommes étudiées dans deux cas. Premièrement, en Juillet et Août 2015, dans les régions d'étude Aït Sebaa et Annoceur (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). Deuxièmement, en Juillet 2015, dans la région de Midelt (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ).

En Juillet et Août 2015, parmi les trois variétés de pomme étudiées, la Longueur des branches fructières a été significativement plus faible chez la variété Golden delicious, dans la région d'étude Aït Sebaa (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ) et plus importante chez la variété Royal gala, au niveau de la région d'étude Annoceur (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). A Midelt, cette longueur a été significativement plus forte chez Starking delicious, en Juillet 2015 (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

Au niveau des trois régions d'étude, La Longueur des entre-nœuds des branches fructières, en Juillet et Août 2015, a été faible chez Royal gala par rapport aux deux variétés Starking delicious et Golden delicious (Figure 33).

La Longueur des branches fructières, a été significativement influencé par les variétés des pommes étudiées dans deux cas. Premièrement, en Juillet et Août 2015, dans les régions d'étude Aït Sebaa et Annoceur (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). Deuxièmement, en Juillet 2015, à Midelt (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ).

La Longueur des entre-nœuds des branches fructières a été significativement plus faible chez la variété Royal gala, dans les régions d'étude Aït Sebaa et Annoceur, en Juillet et Août 2015 (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ) et en Juillet 2015, au niveau de la région d'étude Midelt (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

Le nombre de feuilles des branches fructières, dans les trois sites d'étude, a été significativement influencé par les variétés des pommes étudiées (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). A Aït Sebaa en Juillet 2015, ce nombre a été significativement plus faible chez la variété Golden delicious et fort chez la même variété en Août 2015 par rapport à Royal gala et Starking delicious (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Cependant, au niveau de la station d'étude Annoceur, le nombre de feuilles a été faible chez Starking delicious en Juillet 2015. En Août 2015, à Midelt, la variété Royal gala présente le plus fort nombre de feuilles au niveau des branches fructifères parmi les deux variétés Royal gala et Starking delicious.

Le Nombre de pommes n'as pas été influencé par les variétés de pommes étudiées (ANOVA;  $P > 0,05$ ).

En 2015, Au site d'étude Aït Sebaa, en Juillet, la Longueur des Branches fructifères est faible chez le pommier de la variété Golden delicious (Longueur : 0,49 m) en comparaison avec la variété Starking delicious (Longueur : 0,61 m) et la variété Royal gala (Longueur : 0,61 m) (Figure 32A). La Longueur des entre-nœuds des branches fructifères est faible chez le pommier de la variété Royal gala (Longueur des entre-nœuds : 0,0316 m) en comparaison avec la variété Golden delicious (Longueur des entre-nœuds : 0,0467 m) et la variété Starking delicious (Longueur des entre-nœuds : 0,0447 m) (Figure 33A).

Le nombre de feuilles est faible chez le pommier de la variété Golden delicious (Moyenne du nombre de feuilles : 66,03) en comparaison avec la variété Starking delicious (Moyenne du nombre de feuilles : 79,76) et la variété Royal gala (Moyenne du nombre de feuilles : 94,943) (Figure 34A). Le nombre de pommes est faible chez le pommier de la variété Royal gala (Moyenne du nombre de pommes : 2,52) en comparaison avec la variété Starking delicious (Moyenne du nombre de pommes : 2,77) et la variété Golden delicious (Moyenne du nombre de pommes : 2,83) (Figure 35A).

En août, la Longueur des Branches fructifères est faible chez le pommier de la variété Golden delicious (Longueur : 0,51 m) en comparaison avec la variété Starking delicious (Longueur : 0,67 m) et la variété Royal gala (Longueur : 0,66 m) (Figure 32D). La Longueur des entre-nœuds des branches fructifères est faible chez le pommier de la variété Royal gala (Longueur des entre-nœuds : 0,0372 m) en comparaison avec la variété Golden delicious (Longueur des entre-nœuds : 0,0474 m) et la variété Starking delicious (Longueur des entre-nœuds : 0,0499 m) (Figure 33D).

Le nombre de feuilles est faible chez le pommier de la variété Royal gala (Moyenne du nombre de feuilles : 43,04) en comparaison avec la variété Starking delicious (Moyenne du nombre de feuilles : 68,65) et la variété Golden delicious (Moyenne du nombre de feuilles : 95,03) (Figure 34D). Le nombre de pommes est faible chez le pommier de la variété Royal gala (Moyenne du nombre de pommes : 2,3 en comparaison avec la variété Starking delicious (Moyenne du nombre de pommes : 2,7) et la variété Golden delicious (Moyenne du nombre de pommes : 2,9) (Figure 35D).

Au site d'étude Annoceur, en Juillet, la Longueur des Branches fructifères est faible chez le pommier de la variété Golden delicious (Longueur : 0,62 m) en comparaison avec la variété Starking delicious (Longueur : 0,64 m) et la variété Royal gala (Longueur : 0,75 m) (Figure 32B). La Longueur des entre-nœuds des branches fructifères est faible chez le

pommier de la variété Royal gala (Longueur des entre-nœuds : 0,036 m) en comparaison avec la variété Golden delicious (Longueur des entre-nœuds : 0,042 m) et la variété Starking delicious (Longueur des entre-nœuds : 0,04 m) (Figure 33B).

Le nombre de feuilles est faible chez le pommier de la variété Starking delicious (Moyenne du nombre de feuilles : 66,75) en comparaison avec la variété Golden delicious (Moyenne du nombre de feuilles : 91,63) et la variété Royal gala (Moyenne du nombre de feuilles : 94,43) (Figure 34B). Le nombre de pommes est faible chez le pommier de la variété Starking delicious (Moyenne du nombre de pommes : 2,92) en comparaison avec la variété Golden delicious (Moyenne du nombre de pommes : 3,82) et la variété Royal gala (Moyenne du nombre de pommes : 3,28) (Figure 35B).

En août, la Longueur des Branches fructifères est faible chez le pommier de la variété Golden delicious (Longueur : 0,683 m) en comparaison avec la variété Starking delicious (Longueur : 0,732 m) et la variété Royal gala (Longueur : 0,843 m) (Figure 32E). La Longueur des entre-nœuds des branches fructifères est forte chez le pommier de la variété Starking delicious (Longueur des entre-nœuds : 0,045 m) en comparaison avec la variété Golden delicious (Longueur des entre-nœuds : 0,04 m) et la variété Royal gala (Longueur des entre-nœuds : 0,037 m) (Figure 33E).

Le nombre de feuilles est faible chez le pommier de la variété Golden delicious (Moyenne du nombre de feuilles : 67,42) et la variété Royal gala (Moyenne du nombre de feuilles : 82,03) en comparaison avec la variété Starking delicious (Moyenne du nombre de feuilles : 70,15) (Figure 34E). Le nombre de pommes est faible chez le pommier de la variété Starking delicious (Moyenne du nombre de pommes : 2,42) en comparaison avec la variété Royal gala (Moyenne du nombre de pommes : 2,56) et la variété Golden delicious (Moyenne du nombre de pommes : 2,99) (Figure 35E).

Au site d'étude Midelt, en Juillet, la Longueur des Branches fructifères est forte chez le pommier de la variété Starking delicious (Longueur : 0,62 m) en comparaison avec la variété Golden delicious (Longueur : 0,56 m) et la variété Royal gala (Longueur : 0,55 m) (Figure 32C). La Longueur des entre-nœuds des branches fructifères est faible chez le pommier de la variété Royal gala (Longueur des entre-nœuds : 0,03 m) en comparaison avec la variété Golden delicious (Longueur des entre-nœuds : 0,039 m) et la variété Starking delicious (Longueur des entre-nœuds : 0,037 m) (Figure 33C).

Le nombre de feuilles est faible chez le pommier de la variété Royal gala (Moyenne du nombre de feuilles : 26,27) et la variété Golden delicious (Moyenne du nombre de feuilles : 35,8) en comparaison avec la variété Starking delicious (Moyenne du nombre de feuilles : 90,36) (Figure 34C). Le nombre de pommes est fort chez le pommier de la variété Starking delicious (Moyenne du nombre de pommes : 3,12) en comparaison avec la variété Golden delicious (Moyenne du nombre de pommes : 2,97) et la variété Royal gala (Moyenne du nombre de pommes : 2,15) (Figure 35C).

En août, la Longueur des Branches fructifères est faible chez le pommier de la variété Starking delicious (Longueur : 0,627 m) en comparaison avec la variété Golden delicious (Longueur : 0,668 m) et la variété Royal gala (Longueur : 0,636 m) (Figure 32F). La Longueur des entre-nœuds des branches fructifères est faible chez le pommier de la variété Royal gala (Longueur des entre-nœuds : 0,037 m) en comparaison avec la variété Golden delicious (Longueur des entre-nœuds : 0,041 m) et la variété Starking delicious (Longueur des entre-nœuds : 0,044 m) (Figure 33F).

Le nombre de feuilles est faible chez le pommier de la variété Starking delicious (Moyenne du nombre de feuilles : 87,33) et la variété Royal gala (Moyenne du nombre de feuilles : 92,04) en comparaison avec la variété Golden delicious (Moyenne du nombre de feuilles : 95,1) (Figure 34F). Le nombre de pommes est faible chez le pommier de la variété Starking delicious (Moyenne du nombre de pommes : 1,67) en comparaison avec la variété Royal gala (Moyenne du nombre de pommes : 1,79) et la variété Golden delicious (Moyenne du nombre de pommes : 2,03) (Figure 35F).

## Longueur des branches fructifères

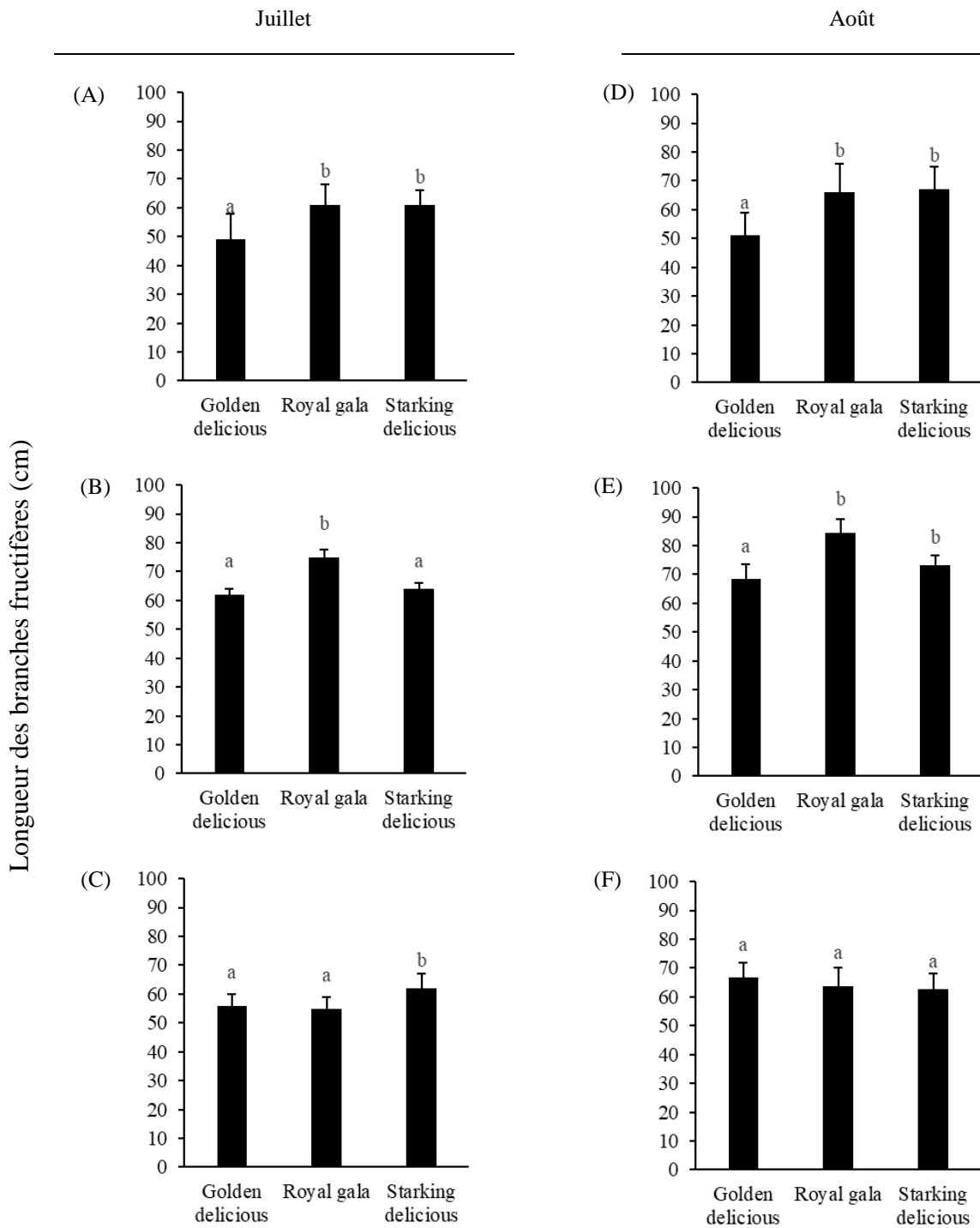


Figure 32. Longueur des branches fructifères des pommiers (Golden delicious; Royal gala; Starking delicious) en Juillet (A, B, C) et Août (D, E, F) 2015 au niveau du sites Aït Sebaa (A, D), Annoceur (B, E) et Midelt (C, F). Les lettres a, b indiquent les différences significatives des infestations larvaires ( $p \leq 0,05$ ; ANOVA, test Bonferroni post hoc). Les barres d'erreurs correspondent à l'erreur standard de la moyenne. Les moyennes de 30 mesures sont présentées.

## Longueur des entre-nœuds des branches fructifères

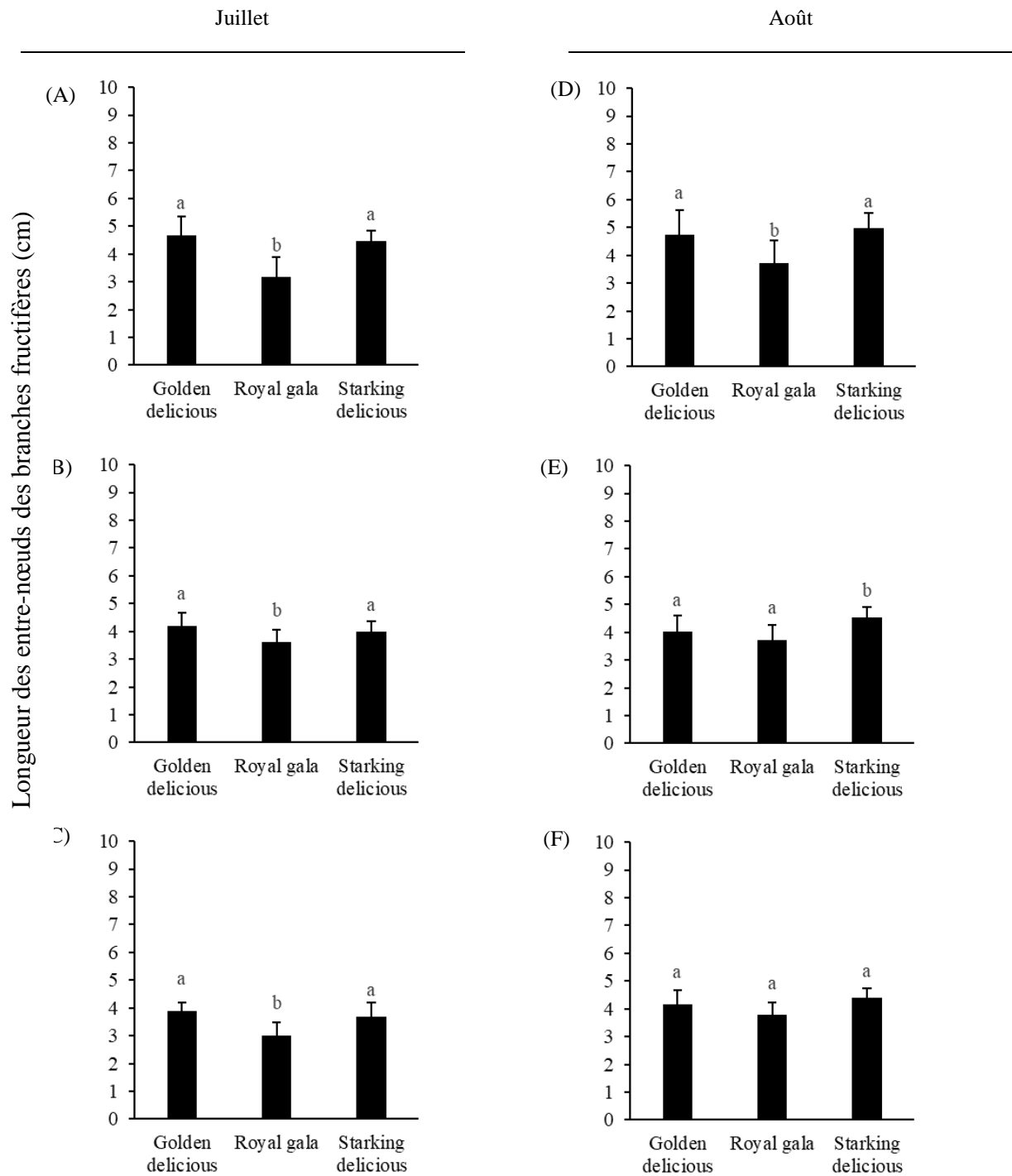


Figure 33. Longueur des entre-nœuds des branches fructifères des pommiers (Golden delicious; Royal gala; Starking delicious) en Juillet (A, B, C) et Août (D, E, F) 2015 au niveau du sites Aït Sebaa (A, D), Annoceur (B, E) et Midelt (C, F). Les lettres a, b indiquent les différences significatives des infestations larvaires ( $p \leq 0,05$ ; ANOVA, test Bonferroni post hoc). Les barres d'erreurs correspondent à l'erreur standard de la moyenne. Les moyennes de 30 mesures sont présentées.

## Nombre de feuilles des branches fructifères

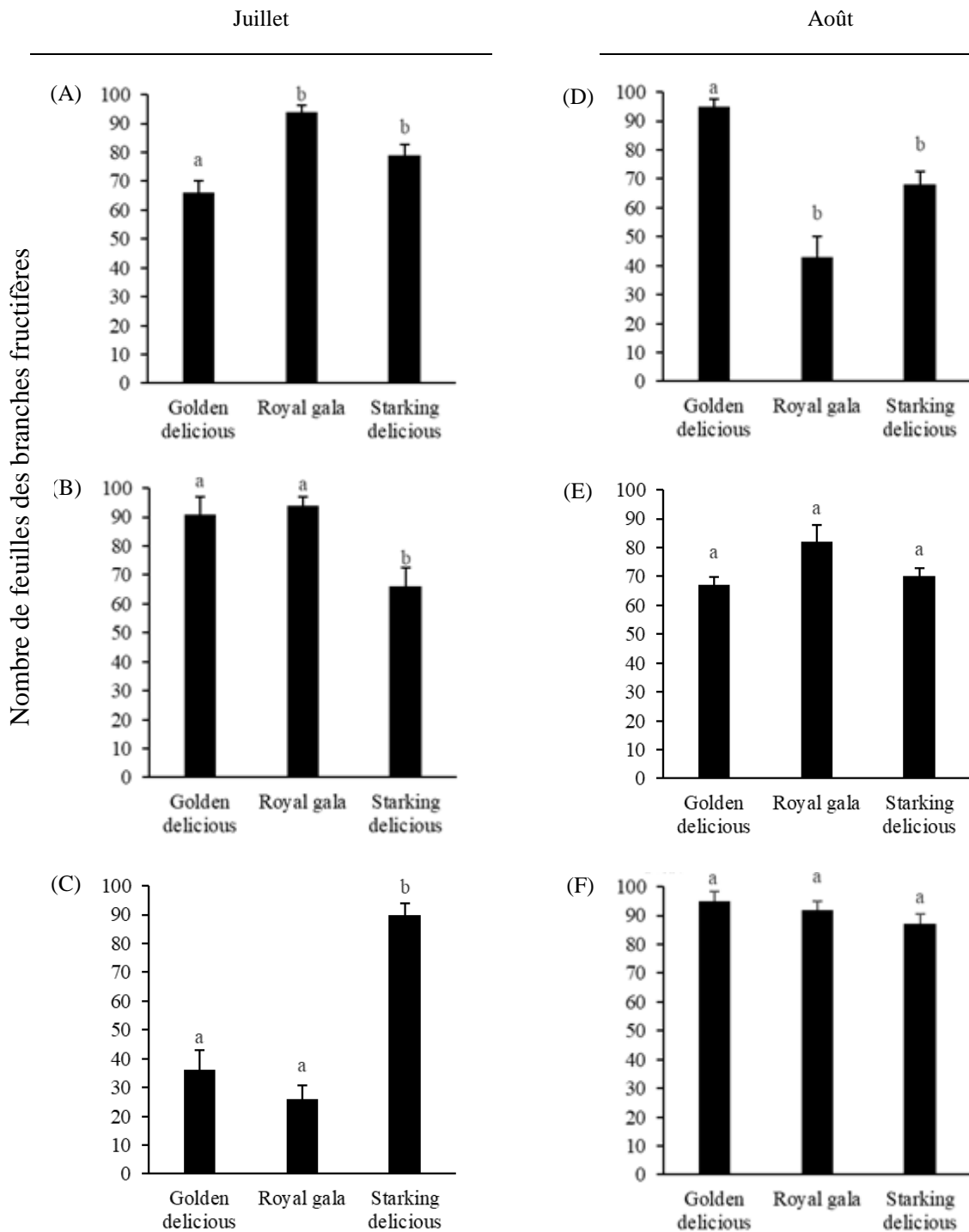


Figure 34. Nombre de feuilles des branches fructifères des pommiers (Golden delicious; Royal gala; Starking delicious) en Juillet (A, B, C) et Août (D, E, F) 2015 au niveau du sites Aït Sebaa (A, D), Annoceur (B, E) et Midelt (C, F). Les lettres a, b indiquent les différences significatives des infestations larvaires ( $p \leq 0,05$ ; ANOVA, test Bonferroni post hoc). Les barres d'erreurs correspondent à l'erreur standard de la moyenne. Les moyennes de 30 mesures sont présentées.

## Nombre de pommes des branches fructifères

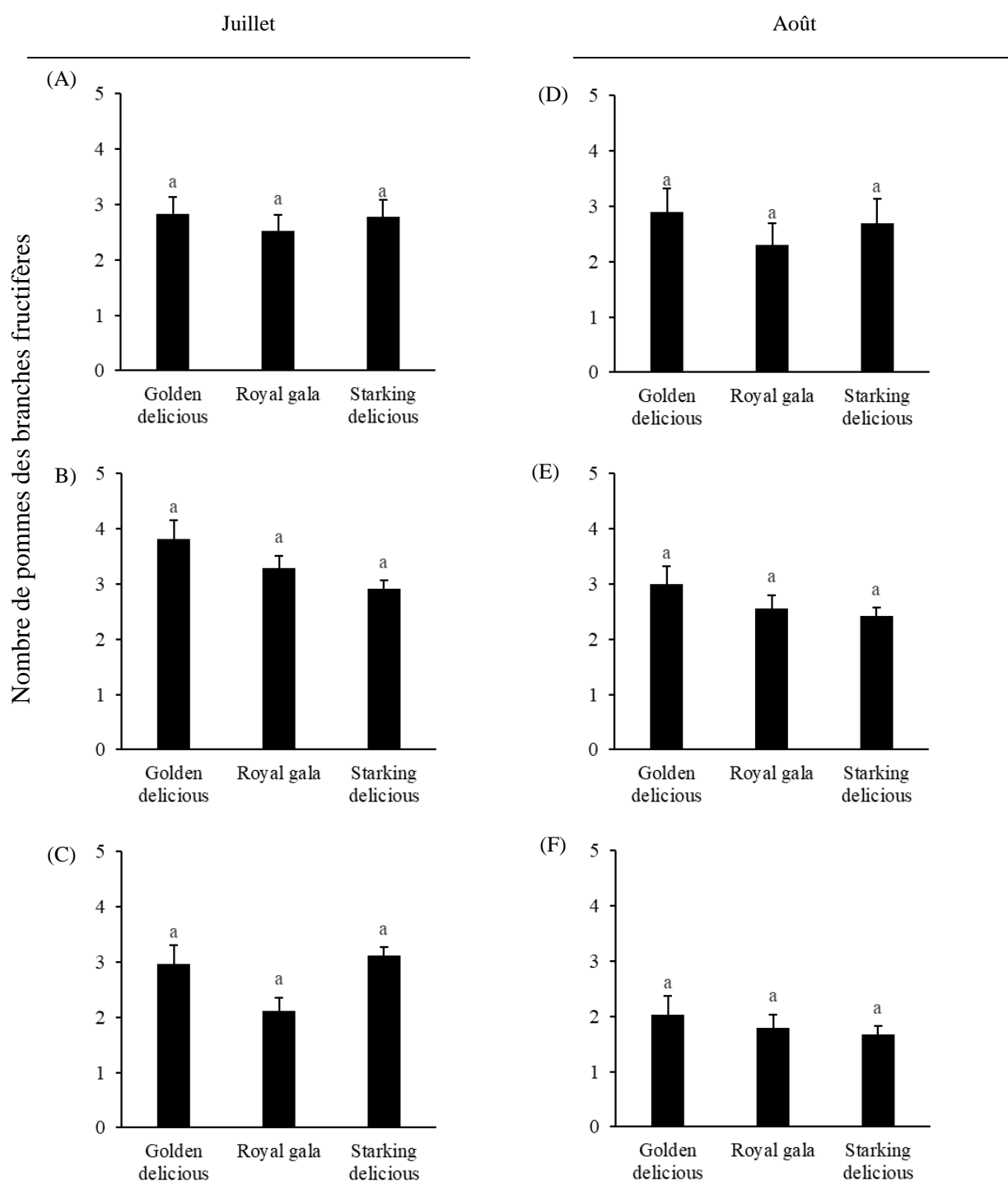


Figure 35. Nombre de pommes des branches fructifères des pommiers (Golden delicious; Royal gala; Starking delicious) en Juillet (A, B, C) et Août (D, E, F) 2015 au niveau du sites Aït Sebaa (A, D), Annoceur (B, E) et Midelt (C, F). Les lettres a, b indiquent les différences significatives des infestations larvaires ( $p \leq 0,05$ ; ANOVA, test Bonferroni post hoc). Les barres d'erreur correspondent à l'erreur standard de la moyenne. Les moyennes de 30 mesures sont présentées.

Notre étude a montré que la variété Royal gala présente une longueur des branches fructifères plus importante que celle de Royal gala et de Strarking delicious, et ce au niveau des trois sites d'étude, en Juillet et Août de 2014 et 2015. Cependant, parmi les trois variétés de pommier étudiées, la plus faible longueur des entre-nœuds des branches fructifères a été enregistrée chez la variété Royal gala. Nous n'avons pas enregistré de différence marquée du nombre des feuilles ainsi que du nombre des pommes entre les variétés étudiées.

Les branches fructifères sont les producteurs de base en culture de pommiers. L'analyse des branches fructifères a fait l'objet de plusieurs travaux dont la description de leur ramification (Costes et *al.*, 1995), leur croissance (Lauri et *al.*, 1995), au moment de l'apparition des fleurs et des pommes (Génard et Bruchou, 1992; Lespinasse et *al.*, 1995). Les caractéristiques des branches fructifères sont prises en compte lors des différentes conduites agricoles tel que l'éclaircissage qui prends en compte la vigueur de la branche et la surface des feuilles (Larrive et *al.*, 2000). Massonnet (2004) a comparé les branches fructifères des cultivars de pommier Fuji et Braeburn. L'étude a démontré que le premier est plus performant que le second en termes de potentialités maximales de transpiration et d'assimilation carbonée à l'échelle de la branche fructifère. Ceci résulte à la fois d'une organisation architecturale spatialement mieux distribuée, mais également de son fonctionnement foliaire en tant que tel.

Les travaux de Petri et Leite (2003) ont montré que les branches fructifères soumises à des conditions de froid intense produisent des feuilles de petite taille avec un nombre faible de feuilles formant un bourgeon faible pour le prochain cycle qui produira des fleurs et des pommes de petite taille. En outre, les conditions de faibles températures ont des effets négatifs sur la croissance et la production de pommes par les branches fructifères (Wollkind et Logan, 1978). Ce déséquilibre peut se manifester, entre autres, par un faible taux de développement végétatif, un retard d'apparition des bourgeons, une couverture foliaire insuffisante, une production faible de pommes qui sont généralement de calibre faible (Petri, 1989).

Reynier (2011) a trouvé que la température ambiante favorable est un facteur primordial pour une activité biologique équilibrée des arbres tout au long de l'année. Ainsi, un hiver doux entraîne une levée de la dormance plus ou moins précoce, et vice versa. En outre, la durée d'apparition des fleurs dépend largement des facteurs du milieu (Mehri et Crabbé,

2002). Legave (2002) signale que la floraison précoce est une réponse aux variations climatiques. Les températures plus douces au début de l'hivers, peut poser des problèmes au moment de la floraison s'il y a risque de gel vers la fin de la saison hivernale (Ameglio, 2007).

#### **1.4. Feuilles**

L'épaisseur du pétiole des feuilles des pommiers à Aït Sebaa, en Juillet 2014, a été significativement influencé par les variétés des pommes étudiées (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). L'épaisseur du pétiole des pommiers Starking delicious a été significativement plus grand que les variétés Royal gala et Golden delicious (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

En août, les mesures morphométriques des feuilles du pommier à Aït Sebaa ont été significativement influencé par les variétés des pommes étudiées (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). La Longueur du pétiole des feuilles chez la variété Royal gala a été significativement plus bas que les variétés Starking delicious et Golden delicious (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). L'épaisseur du pétiole des feuilles chez la variété Golden delicious a été significativement plus bas que les variétés Royal gala et Starking delicious (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). La longueur de limbe des feuilles de pommiers Royal gala est plus grand que celui enregistré chez les pommiers de la variété Golden delicious et Starking delicious (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

Les mesures morphométriques de la longueur et de l'épaisseur du pétiole des feuilles du pommier à Annoceur, en Juillet, ont été significativement influencé par les variétés des pommes étudiées (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). La Longueur du pétiole des feuilles chez la variété Royal gala a été significativement plus élevée que les variétés Starking delicious et Golden delicious (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). L'épaisseur du pétiole des feuilles chez la variété Starking delicious a été significativement plus élevée que celle des variétés Royal gala et Golden delicious (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

En août, les mesures morphométriques des feuilles du pommier à Annoceur ont été significativement influencé par les variétés des pommes étudiées (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). La Longueur du pétiole des feuilles chez la variété Starking delicious a été significativement plus bas que les variétés Royal gala et Golden delicious (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). L'épaisseur du pétiole des feuilles chez la variété Starking delicious a été significativement plus élevée que les variétés Royal gala et Golden delicious (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

La longueur de limbe des feuilles de pommiers Starking delicious est plus grande que celle enregistrée chez les pommiers de la variété Golden delicious et Royal gala (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). La largeur de limbe des feuilles de pommiers Royal gala est plus faible que celle enregistrée chez les pommiers de la variété Golden delicious et Starking delicious (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

La longueur du pétiole et largeur du limbe des feuilles des pommiers à Midelt, en Juillet, ont été influencé par les variétés des pommes étudiées (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). La Longueur du pétiole des feuilles chez la variété Starking delicious a été significativement plus bas que les variétés Royal gala et Golden delicious (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). La largeur de limbe des feuilles de pommiers Royal gala est plus importante que celle enregistrée chez les pommiers de la variété Golden delicious et Starking delicious (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

En août, La longueur du pétiole, l'épaisseur du pétiole et largeur du limbe des feuilles des pommiers à Midelt ont été significativement influencé par les variétés des pommes étudiées (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). La longueur du pétiole des feuilles chez la variété Starking delicious a été significativement plus faible que les variétés Royal gala et Golden delicious (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). L'épaisseur du pétiole des feuilles chez la variété Starking delicious a été significativement plus grande que les variétés Royal gala et Golden delicious (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). La largeur de limbe des feuilles de pommiers Golden delicious est plus basse que celle enregistrée chez les pommiers de la variété Royal gala et Starking delicious (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

Au site d'étude Aït Sebaa, en Juillet 2014, la longueur de pétiole chez le pommier de la variété Royal gala est 0,031 m, chez la variété Golden delicious est 0,032 m et chez la variété Starking delicious est 0,032 m (Figure 36A). L'épaisseur du pétiole est importante chez le pommier de la variété Starking delicious (Epaisseur du pétiole : 0,007 m) en comparaison avec la variété Golden delicious (Epaisseur du pétiole : 0,002 m) et la variété Royal gala (Epaisseur du pétiole : 0,002 m) (Figure 37A).

La longueur de limbe est plus grande chez le pommier de la variété Golden delicious (Longueur de limbe : 0,091 m) que chez la variété Starking delicious (Longueur de limbe : 0,08 m) et la variété Royal gala (Longueur de limbe : 0,081 m) (Figure 38A). La largeur de limbe chez le pommier de la variété Royal gala est 0,047 m, chez la variété Golden delicious est 0,044 m et chez la variété Starking delicious est 0,042 m (Figure 39A).

En août, la longueur de pétiole est plus faible chez le pommier de la variété Royal gala (Longueur de pétiole : 0,036 m) que chez la variété Golden delicious (Longueur de pétiole : 0,041 m) et chez la variété Starking delicious (Longueur de pétiole : 0,046 m) (Figure 36D). L'épaisseur du pétiole est importante chez le pommier de la variété Starking delicious (Epaisseur du pétiole : 0,01 m) en comparaison avec la variété Golden delicious (Epaisseur du pétiole : 0,059 m) et la variété Royal gala (Epaisseur du pétiole : 0,0055 m) (Figure 37D) (Figure 37D).

La longueur de limbe est plus grande chez le pommier de la variété Royal gala (Longueur de limbe : 0,122 m) que chez la variété Starking delicious (Longueur de limbe : 0,092 m) et la variété Golden delicious (Longueur de limbe : 0,103 m) (Figure 38D). La largeur de limbe est plus grande chez le pommier de la variété Golden delicious (Largeur de limbe : 0,214 m) que chez la variété Royal gala (Largeur de limbe : 0,244 m) et chez la variété Starking delicious (Largeur de limbe : 0,289 m) (Figure 39D).

Au site d'étude Annoceur, en Juillet, la longueur de pétiole est plus grande chez le pommier de la variété Royal gala (Longueur de pétiole : 0,032 m) que chez la variété Golden delicious (Longueur de pétiole : 0,02 m) et chez la variété Starking delicious (Longueur de pétiole : 0,017 m) (Figure 36B). L'épaisseur du pétiole est importante chez le pommier de la variété Starking delicious (Epaisseur du pétiole : 0,011 m) en comparaison avec la variété Golden delicious (Epaisseur du pétiole : 0,004 m) et la variété Royal gala (Epaisseur du pétiole : 0,002 m) (Figure 37B).

La longueur de limbe chez le pommier de la variété Royal gala est 0,069 m, chez la variété Golden delicious est 0,065 m et chez la variété Starking delicious est 0,066 m (Figure 38B). La largeur de limbe chez le pommier de la variété Royal gala est 0,049 m, chez la variété Golden delicious est 0,059 m et chez la variété Starking delicious est 0,036 m (Figure 39B).

En août, la longueur de pétiole est plus faible chez le pommier de la variété Starking delicious (Longueur de pétiole : 0,0282 m) que chez la variété Royal gala (Longueur de pétiole : 0,0446 m) et chez la variété Golden delicious (Longueur de pétiole : 0,0379 m) (Figure 36E). L'épaisseur du pétiole est importante chez le pommier de la variété Starking delicious (Epaisseur du pétiole : 0,012 m) en comparaison avec la variété Golden delicious (Epaisseur du pétiole : 0,010 m) et la variété Royal gala (Epaisseur du pétiole : 0,0088 m) (Figure 37E).

La longueur de limbe est plus grande chez le pommier de la variété Starking delicious (Longueur de limbe : 0,093 m) que chez la variété Royal gala (Longueur de limbe : 0,072 m) et la variété Golden delicious (Longueur de limbe : 0,79 m) (Figure 38E). La largeur de limbe est plus faible chez le pommier de la variété Royal gala (Largeur de limbe : 0,0523 m) que chez la variété Golden delicious (Largeur de limbe : 0,0738 m) et chez la variété Starking delicious (Largeur de limbe : 0,062 m) (Figure 39E).

Au site d'étude Midelt, en Juillet, la longueur de pétiole est plus faible chez le pommier de la variété Royal gala (Longueur de pétiole : 0,0301 m) que chez la variété Golden delicious (Longueur de pétiole : 0,0257 m) et chez la variété Starking delicious (Longueur de pétiole : 0,011 m) (Figure 36C). L'épaisseur du pétiole chez le pommier de la variété Starking delicious est 0,0079 m, chez la variété Golden delicious est 0,0085 m et chez la variété Royal gala est 0,0048 m (Figure 37C).

La longueur de limbe chez le pommier de la variété Royal gala est 0,1 m, chez la variété Golden delicious est 0,095 m et chez la variété Starking delicious est 0,075 m (Figure 38C). La largeur de limbe est plus grande chez le pommier de la variété Royal gala (Largeur de limbe : 0,0553 m) que chez la variété Golden delicious (Largeur de limbe : 0,0337 m) et chez la variété Starking delicious (Largeur de limbe : 0,0401 m) (Figure 39C).

En août, la longueur de pétiole est plus faible chez le pommier de la variété Starking delicious (Longueur de pétiole : 0,011 m) que chez la variété Golden delicious (Longueur de pétiole : 0,0429 m) et chez la variété Royal gala (Longueur de pétiole : 0,033 m) (Figure 36F). L'épaisseur du pétiole est faible chez le pommier de la variété Royal gala (Epaisseur de pétiole : 0,006 m) en comparaison avec la variété Golden delicious (Epaisseur de pétiole : 0,0088 m) et chez la variété Starking delicious (Epaisseur de pétiole : 0,0113 m) (Figure 37F).

La longueur de limbe chez le pommier de la variété Royal gala est 0,114 m, chez la variété Golden delicious est 0,108 m et chez la variété Starking delicious est 0,118 m (Figure 38F). La largeur de limbe est plus faible chez le pommier de la variété Golden delicious (Largeur de limbe : 0,0549 m) que chez la variété Royal gala (Largeur de limbe : 0,0712 m) et chez la variété Starking delicious (Largeur de limbe : 0,0718 m) (Figure 39F).

## Longueur de pétiole

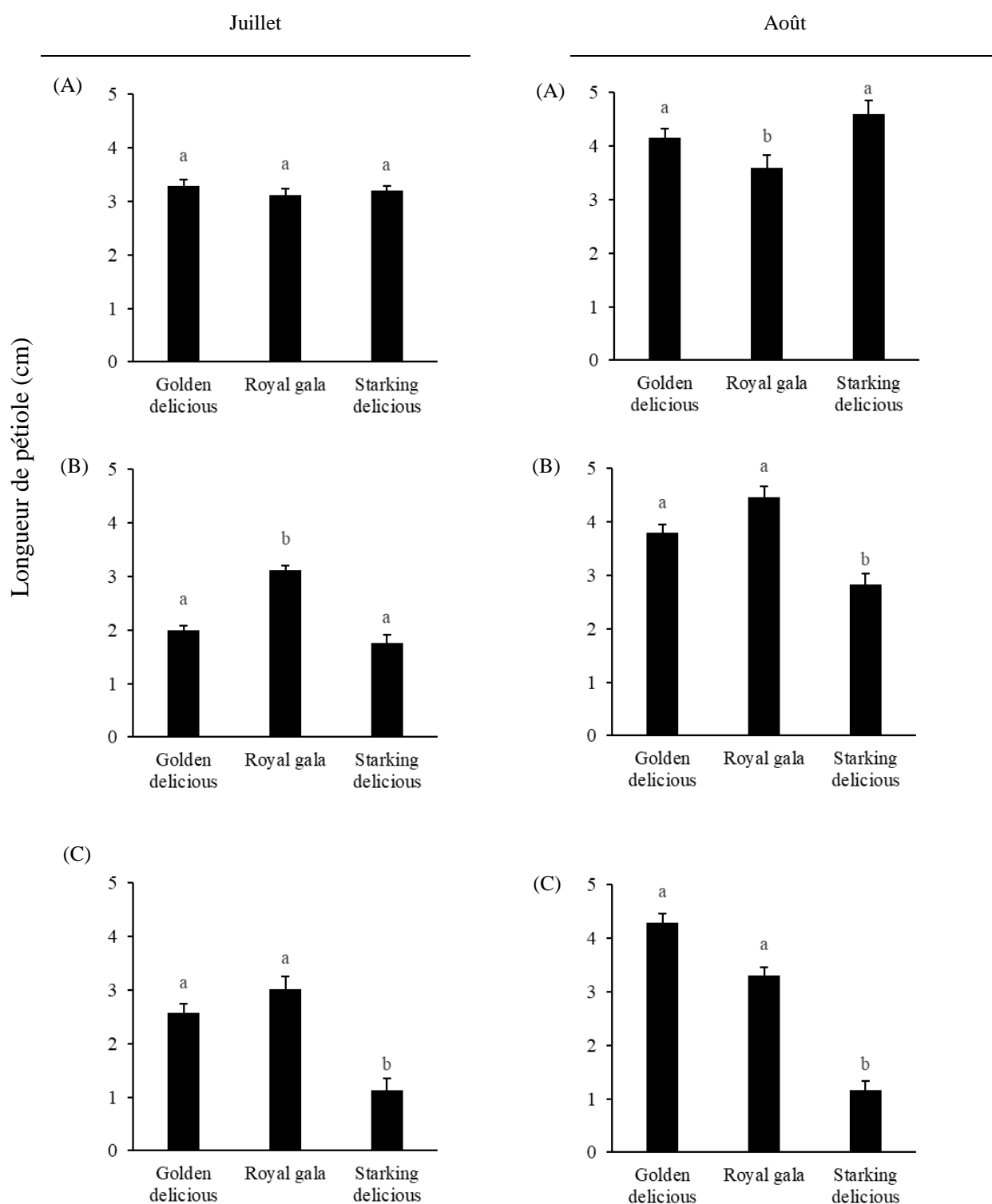


Figure 36. Longueur de pétiole des feuilles des pommiers (Golden delicious; Royal gala; Starking delicious) en Juillet (A, B, C) et Août (D, E, F) 2014 au niveau du sites Aït Sebaa (A, D), Annoceur (B, E) et Midelt (C, F). Les lettres a, b indiquent les différences significatives des infestations larvaires ( $p \leq 0,05$ ; ANOVA, test Bonferroni post hoc). Les barres d'erreurs correspondent à l'erreur standard de la moyenne. Les moyennes de 30 mesures sont présentées.

## Epaisseur du pétiole

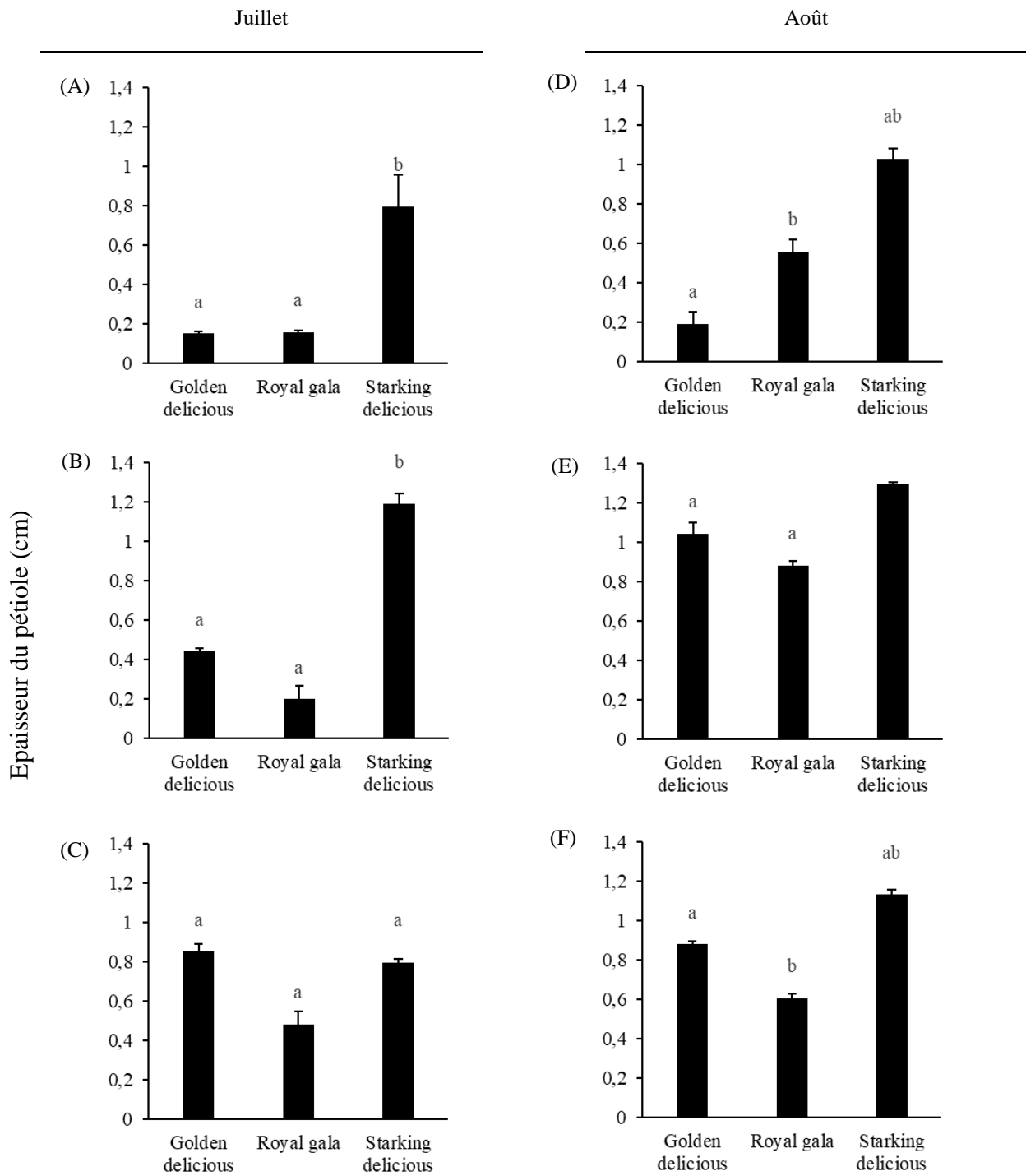


Figure 37. Epaisseur du pétiole des feuilles des pommiers (Golden delicious; Royal gala; Starking delicious) en Juillet (A, B, C) et Août (D, E, F) 2014 au niveau du sites Aït Sebaa (A, D), Annoceur (B, E) et Midelt (C, F). Les lettres a, b indiquent les différences significatives des infestations larvaires ( $p \leq 0,05$ ; ANOVA, test Bonferroni post hoc). Les barres d'erreurs correspondent à l'erreur standard de la moyenne. Les moyennes de 30 mesures sont présentées.

## Longueur de limbe

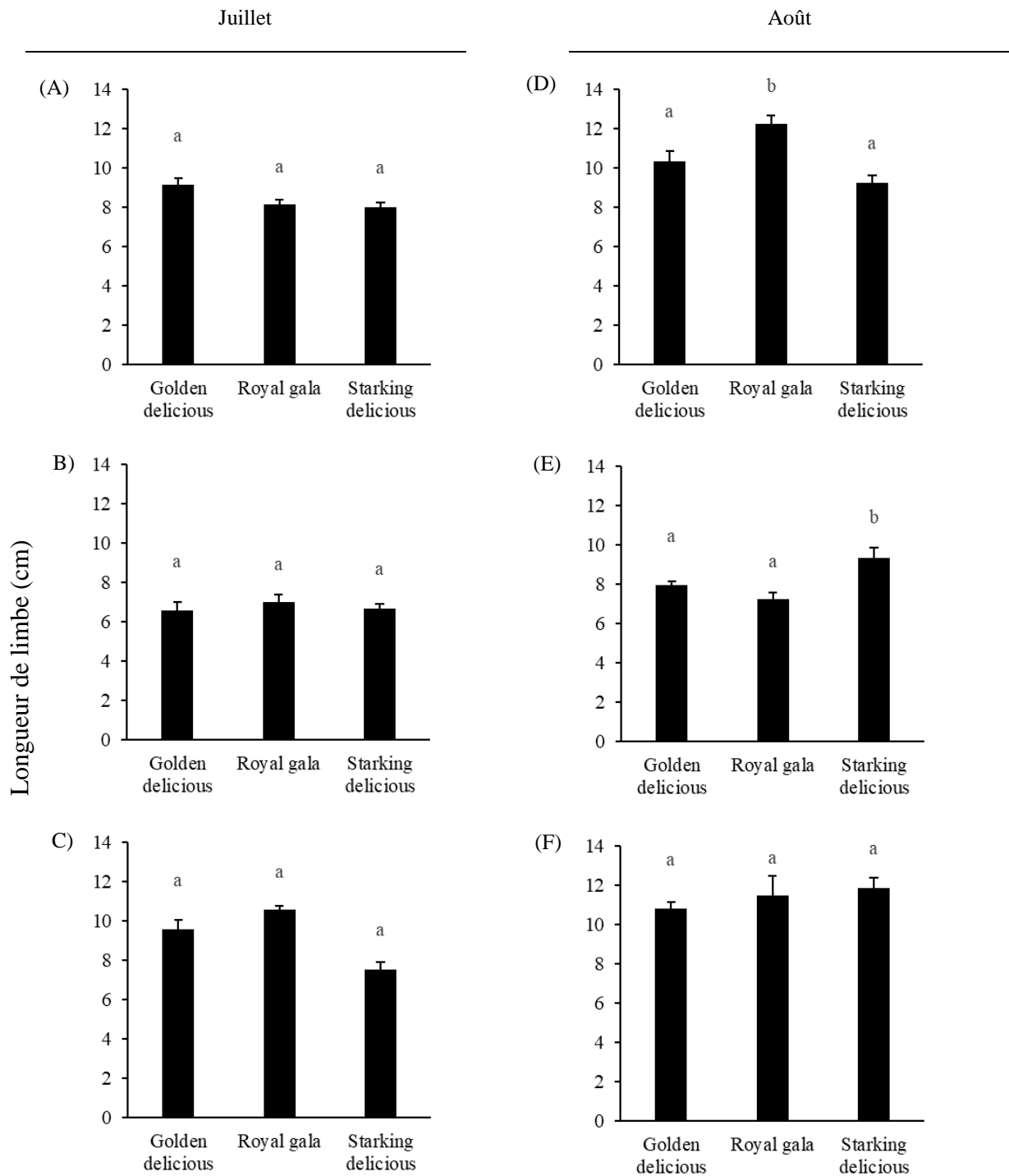


Figure 38. Longueur de limbe des feuilles chez les pommiers (Golden delicious; Royal gala; Starking delicious) en Juillet (A, B, C) et Août (D, E, F) 2014 au niveau du sites Aït Sebaa (A, D), Annoceur (B, E) et Midelt (C, F). Les lettres a, b indiquent les différences significatives des infestations larvaires ( $p \leq 0,05$ ; ANOVA, test Bonferroni post hoc). Les barres d'erreurs correspondent à l'erreur standard de la moyenne. Les moyennes de 30 mesures sont présentées.

## Largeur de limbe

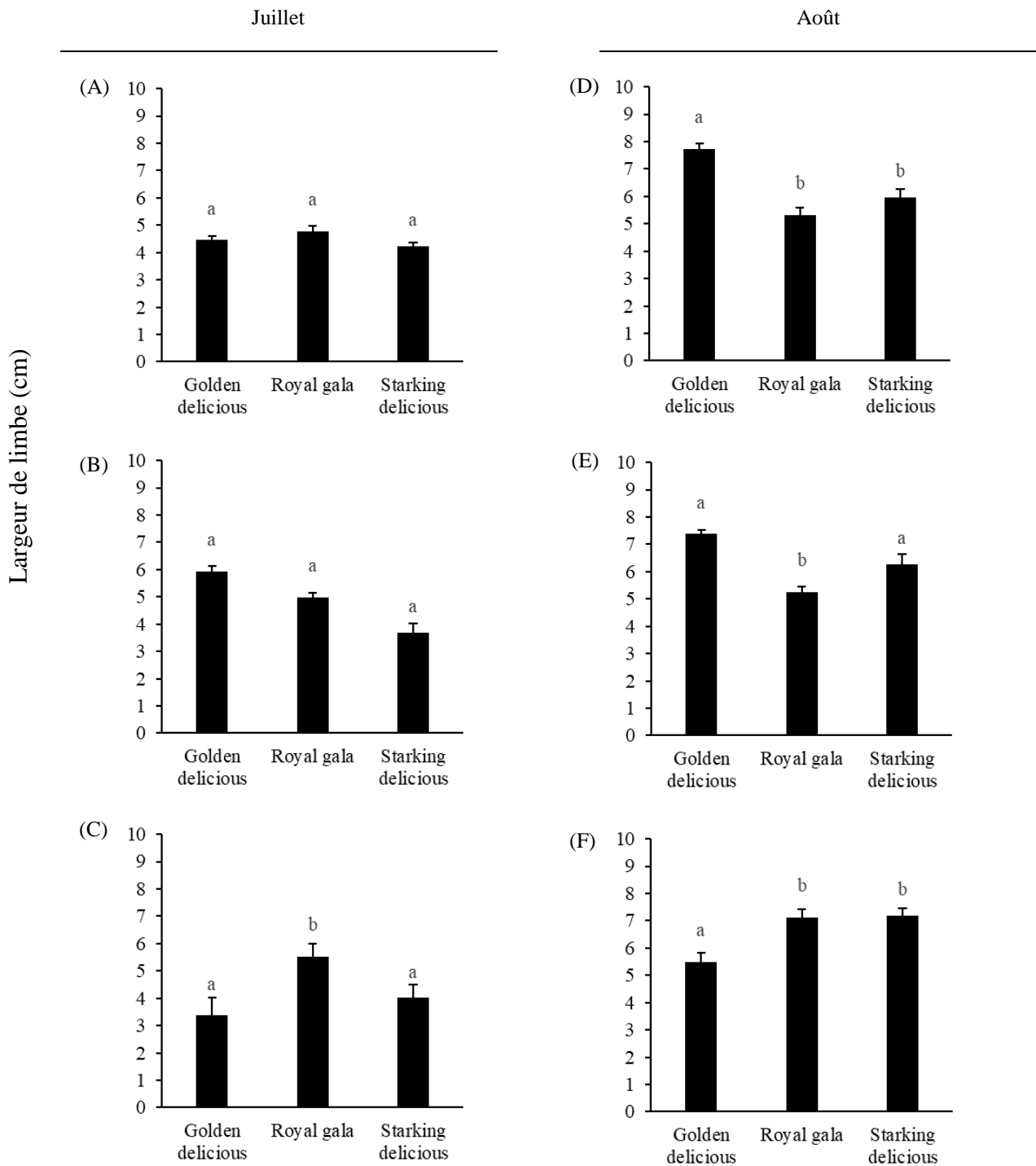


Figure 39. Largeur de limbe des feuilles chez les pommiers (Golden delicious; Royal gala; Starking delicious) en Juillet (A, B, C) et Août (D, E, F) 2014 au niveau du sites Aït Sebaa (A, D), Annoceur (B, E) et Midelt (C, F). Les lettres a, b indiquent les différences significatives des infestations larvaires ( $p \leq 0,05$ ; ANOVA, test Bonferroni post hoc). Les barres d'erreurs correspondent à l'erreur standard de la moyenne. Les moyennes de 30 mesures sont présentées.

L'épaisseur du pétiole et la Largeur de limbe des feuilles des pommiers à Aït Sebaa, en Juillet, a été significativement influencé par les variétés des pommes étudiées (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). L'épaisseur du pétiole des pommiers Starking delicious a été significativement plus grand que les variétés Royal gala et Golden delicious (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). La largeur de limbe des pommiers Starking delicious a été significativement plus grand que les variétés Royal gala et Golden delicious (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

En août, la longueur de pétiole et l'épaisseur du pétiole des feuilles du pommier à Aït Sebaa ont été significativement influencé par les variétés des pommes étudiées (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). La Longueur du pétiole des feuilles chez la variété Royal gala a été significativement plus basse que les variétés Starking delicious et Golden delicious (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). L'épaisseur du pétiole des feuilles chez la variété Starking delicious a été significativement plus grande que les variétés Royal gala et Golden delicious (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

Les mesures morphométriques de la longueur et de l'épaisseur du pétiole ainsi que la largeur de limbe des feuilles du pommier à Annoceur, en Juillet, ont été significativement influencé par les variétés des pommes étudiées (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). La Longueur du pétiole des feuilles chez la variété Starking delicious a été significativement plus élevée que les variétés Royal gala et Golden delicious (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

La Longueur de limbe des feuilles chez la variété Royal gala a été significativement plus élevée que celle des variétés Starking delicious et Golden delicious (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). La largeur de limbe des feuilles chez la variété Starking delicious a été significativement plus élevée que celle des variétés Royal gala et Golden delicious (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

En août, les mesures morphométriques des feuilles du pommier à Annoceur ont été significativement influencé par les variétés des pommes étudiées (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). La longueur du pétiole des feuilles chez la variété Royal gala a été significativement plus importante que les variétés Starking delicious et Golden delicious (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). L'épaisseur du pétiole des feuilles chez la variété Golden delicious a été significativement plus élevée que les variétés Royal gala et Starking delicious (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

La longueur de limbe des feuilles de pommiers Starking delicious est plus petite que celle enregistrée chez les pommiers de la variété Golden delicious et Royal gala (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). La largeur de limbe des feuilles de pommiers Golden delicious est plus faible que

celle enregistrée chez les pommiers de la variété Royal gala et Starking delicious (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

Les mesures morphométriques des feuilles du pommier à Midelt, en Juillet, ont été influencé par les variétés des pommes étudiées (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). La longueur du pétiole des feuilles chez la variété Golden delicious a été significativement plus importante que les variétés Starking delicious et Royal gala (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). L'épaisseur du pétiole des feuilles chez la variété Starking delicious a été significativement plus faible que les variétés Royal gala et Golden delicious (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

La longueur de limbe des feuilles de pommiers Golden delicious est plus petite que celle enregistrée chez les pommiers de la variété Starking delicious et Royal gala (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). La largeur de limbe des feuilles de pommiers Royal gala est plus faible que celle enregistrée chez les pommiers de la variété Golden delicious et Starking delicious (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

En août, les mesures morphométriques des feuilles du pommier à Midelt ont été significativement influencé par les variétés des pommes étudiées (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). La longueur du pétiole des feuilles chez la variété Royal gala a été significativement plus faible que les variétés Starking delicious et Golden delicious (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). L'épaisseur du pétiole des feuilles chez la variété Golden delicious a été significativement plus grande que les variétés Royal gala et Starking delicious (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

La longueur de limbe des feuilles de pommiers Golden delicious est plus petite que celle enregistrée chez les pommiers de la variété Starking delicious et Royal gala (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). La largeur de limbe des feuilles de pommiers Starking delicious est plus faible que celle enregistrée chez les pommiers de la variété Golden delicious et Royal gala (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

En 2015, au site d'étude Aït Sebaa, en Juillet, la longueur de pétiole chez le pommier de la variété Royal gala est 0,0177 m, chez la variété Golden delicious est 0,214 m et chez la variété Starking delicious est 0,0151 m (Figure 40A). L'épaisseur du pétiole est importante chez le pommier de la variété Starking delicious (Epaisseur du pétiole : 0,0079 m) en comparaison avec la variété Golden delicious (Epaisseur du pétiole : 0,055 m) et la variété Royal gala (Epaisseur du pétiole : 0,055 m) (Figure 41A).

La longueur de limbe chez le pommier de la variété Golden delicious est 0,091 m, chez la variété Starking delicious est 0,098 m et chez la variété Royal gala est 0,081 m (Figure 42A). La largeur de limbe est importante chez le pommier de la variété Starking delicious (Largeur de limbe : 0,058 m) en comparaison avec la variété Golden delicious (Largeur de limbe: 0,047 m) et la variété Royal gala (Largeur de limbe: 0,042 m) (Figure 43A).

En août, la longueur de pétiole est plus faible chez le pommier de la variété Royal gala (Longueur de pétiole : 0,03 m) que chez la variété Golden delicious (Longueur de pétiole : 0,038 m) et chez la variété Starking delicious (Longueur de pétiole : 0,039 m) (Figure 40D). L'épaisseur du pétiole est importante chez le pommier de la variété Starking delicious (Epaisseur du pétiole : 0,016 m) en comparaison avec la variété Golden delicious (Epaisseur du pétiole : 0,058 m) et la variété Royal gala (Epaisseur du pétiole : 0,0022 m) (Figure 41D).

La longueur de limbe chez le pommier de la variété Royal gala est 0,094 m, chez la variété Starking delicious est 0,069 m et chez la variété Golden delicious est 0,068 m (Figure 42D). La largeur de limbe chez le pommier de la variété Golden delicious est 0,053 m, chez la variété Royal gala est 0,057 m et chez la variété Starking delicious est 0,063 m (Figure 43D).

Au site d'étude Annoceur, en Juillet, la longueur de pétiole est plus grande chez le pommier de la variété Starking delicious (Longueur de pétiole : 0,025 m) que chez la variété Golden delicious (Longueur de pétiole : 0,016 m) et chez la variété Royal gala (Longueur de pétiole : 0,011 m) (Figure 40B). L'épaisseur du pétiole chez le pommier de la variété Starking delicious est 0,0039 m, chez la variété Golden delicious est 0,0054 m et chez la variété Royal gala est 0,0034 m (Figure 41B).

La longueur de limbe est plus grande chez le pommier de la variété Royal gala (Longueur de limbe : 0,115 m) que chez la variété Golden delicious (Longueur de limbe : 0,082 m) et chez la variété Starking delicious (Longueur de limbe : 0,065 m) (Figure 42B). La largeur de limbe est plus importante chez le pommier de la variété Starking delicious (Largeur de limbe : 0,066 m) que chez la variété Golden delicious (Largeur de limbe : 0,033 m) et chez la variété Royal gala (Largeur de limbe : 0,053 m) (Figure 43B).

En août, la longueur de pétiole est plus grande chez le pommier de la variété Royal gala (Longueur de pétiole : 0,0439 m) que chez la variété Starking delicious (Longueur de

pétiole : 0,0372 m) et chez la variété Golden delicious (Longueur de pétiole : 0,0253 m) (Figure 40E). L'épaisseur du pétiole est importante chez le pommier de la variété Golden delicious (Epaisseur du pétiole : 0,013 m) en comparaison avec la variété Starking delicious (Epaisseur du pétiole : 0,004 m) et la variété Royal gala (Epaisseur du pétiole : 0,006 m) (Figure 41E).

La longueur de limbe est plus faible chez le pommier de la variété Starking delicious (Longueur de limbe : 0,068 m) que chez la variété Royal gala (Longueur de limbe : 0,117 m) et la variété Golden delicious (Longueur de limbe : 0,117 m) (Figure 42E). La largeur de limbe est plus faible chez le pommier de la variété Golden delicious (Largeur de limbe : 0,038 m) que chez la variété Starking delicious (Largeur de limbe : 0,069 m) et chez la variété Royal gala (Largeur de limbe : 0,068 m) (Figure 43E).

Au site d'étude Midelt, en Juillet, la longueur de pétiole est plus grande chez le pommier de la variété Golden delicious (Longueur de pétiole : 0,0301 m) que chez la variété Royal gala (Longueur de pétiole : 0,0194 m) et chez la variété Starking delicious (Longueur de pétiole : 0,0215 m) (Figure 40C). L'épaisseur du pétiole chez le pommier de la variété Starking delicious est 0,0044 m, chez la variété Golden delicious est 0,0071 m et chez la variété Royal gala est 0,0052 m (Figure 41C).

La longueur de limbe est faible chez le pommier de la variété Golden delicious (Longueur de limbe : 0,066 m) en comparaison avec la variété Royal gala (Longueur de limbe : 0,088 m) et la variété Starking delicious (Longueur de limbe : 0,094 m) (Figure 42C). La largeur de limbe est plus grande chez le pommier de la variété Royal gala (Largeur de limbe : 0,062 m) que chez la variété Golden delicious (Largeur de limbe : 0,041 m) et chez la variété Starking delicious (Largeur de limbe : 0,046 m) (Figure 43C).

En août, la longueur de pétiole est plus faible chez le pommier de la variété Royal gala (Longueur de pétiole : 0,0309 m) que chez la variété Golden delicious (Longueur de pétiole : 0,0365 m) et chez la variété Starking delicious (Longueur de pétiole : 0,0415 m) (Figure 40F). L'épaisseur du pétiole est grande chez le pommier de la variété Golden delicious (épaisseur de pétiole : 0,0105 m) en comparaison avec la variété Royal gala (épaisseur de pétiole : 0,00531 m) et chez la variété Starking delicious (épaisseur de pétiole : 0,00481 m) (Figure 41F).

La longueur de limbe est plus faible chez le pommier de la variété Golden delicious (Longueur de limbe : 0,081 m) que chez la variété Royal gala (Longueur de limbe : 0,107 m) et chez la variété Starking delicious (Longueur de limbe : 0,106 m) (Figure 42F). La largeur de limbe est plus faible chez le pommier de la variété Starking delicious (Largeur de limbe : 0,046 m) que chez la variété Royal gala (Largeur de limbe : 0,0721 m) et chez la variété Golden delicious (Largeur de limbe : 0,0711 m) (Figure 43F).

La longueur de pétiole est faible chez la variété Royal gala dans la région Aït Sebaa. Cependant, cette variété présente la plus importante longueur de pétiole au niveau de la région de Annoceur. Les deux variétés Starking Delicious et Royal gala présentent la plus faible longueur de pétiole chez la région de Midelt. En revanche, l'épaisseur de pétiole est importante chez la variété Starking delicious et Golden delicious. Aussi, la longueur de limbe est grande chez la variété Royal gala. En outre, la largeur de limbe est importante chez la variété Golden delicious et Starking delicious au niveau des sites d'étude Aït Sebaa et Annoceur. Toutefois, la variété Royal gala présente la plus grande largeur de limbe au site d'étude Midelt.

Les cultivars de pommier diffèrent en fonction de la taille de leurs feuilles. Cette variabilité de la taille des feuilles dépend de plusieurs facteurs dont la période de l'année ainsi que de l'organe de l'arbre (Palmer, 1987). Aussi, les pommiers de petite largeur (3m) produisent plus de pommes et de feuilles que les pommiers de grande largeur (9m) (Forshey et McKee, 1970).

La feuille est l'organe photosynthétique principal du pommier. Elle joue un rôle important dans la croissance, le développement et la productivité (Aubert, 1972; Li et *al.*, 1990; Rivals, 1965). Cependant, les traits morphologiques des arbres sont très influencés par les conditions environnementales et les facteurs édaphiques. Par conséquent, une forme et une taille distinctes des feuilles pourraient être utilisées efficacement pour la caractérisation et la classification des génotypes végétaux, qui se développent dans des conditions environnementales et édaphiques semblables (Wu et *al.*, 2016).

À cet égard, des variations allométriques ont été enregistrées entre et à l'intérieur de l'espèce *Malus* (Stephan, 2007). Ainsi, des feuilles distinctes peuvent contribuer à l'identification ou la caractérisation des espèces appartenant au genre *Malus* et pourraient jouer un rôle important dans leur classification et leur sélection. Dans les études précédentes, plusieurs paramètres foliaires ont été utilisés pour la caractérisation des

espèces du genre *Malus*. Forte et *al.* (2002) se basaient sur les traits morphologiques de la feuille pour caractériser les espèces. De même, la longueur et la largeur du limbe aussi bien que la longueur du pétiole ont également été étudiées lors de la caractérisation morphologique du pommier (Bahrman et *al.*, 1985; Kouyaté et Van Damme, 2002).

Dar et *al.* (2015) ont observé une variation significative de la longueur et de la largeur des feuilles parmi les différents cultivars du genre *Malus*. Aussi, une grande variation des paramètres foliaires, à savoir la forme foliaire, la forme de l'apex foliaire, la forme de la base foliaire, la marge foliaire, la longueur et la largeur du limbe, la longueur du pétiole est observée chez plusieurs variétés de pommier (Kumar et *al.*, 2018).

Les pommiers autotétraploïdes présentent des caractéristiques morphologiques différentes des plantes diploïdes. Les stomates sont plus grands et les feuilles sont non seulement plus grandes et plus lourdes, mais aussi plus vertes dans les pommiers autotétraploïdes que chez les plantes diploïdes. La teneur en chlorophylle des feuilles est plus élevée et l'efficacité photosynthétique et la performance en fluorescence augmentent dans les plantes autotétraploïdes. De plus, le volume et la taille des fleurs, des pommes et des graines est plus élevés et les teneurs en solides solubles étaient plus élevées dans les autotétraploïdes que ses homologues diploïdes (Xue et *al.*, 2017).

## Longueur de pétiole

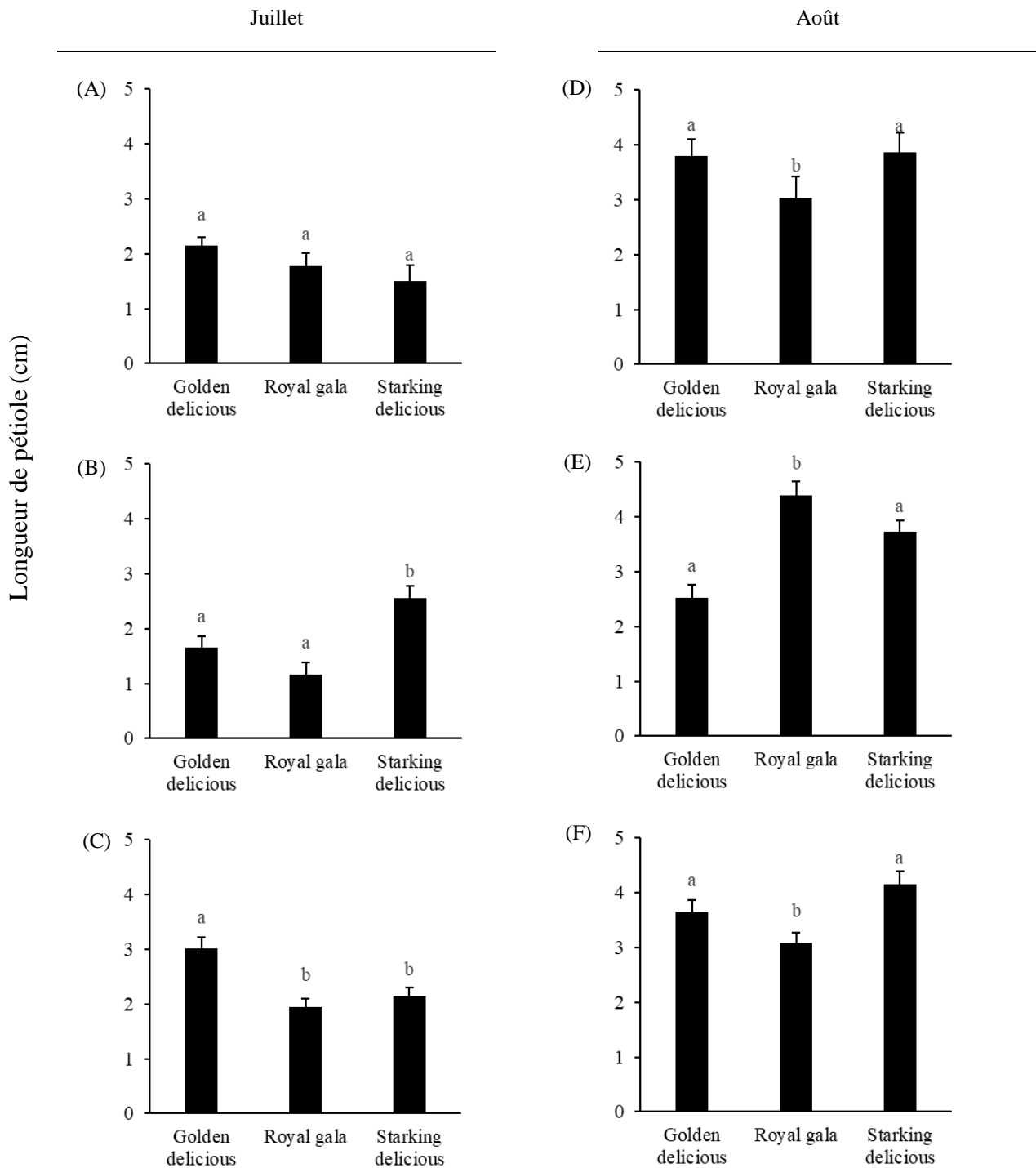


Figure 40. Longueur de pétiole des feuilles des pommiers (Golden delicious; Royal gala; Starking delicious) en Juillet (A, B, C) et Août (D, E, F) 2015 au niveau du sites Aït Sebaa (A, D), Annoceur (B, E) et Midelt (C, F). Les lettres a, b indiquent les différences significatives des infestations larvaires ( $p \leq 0,05$ ; ANOVA, test Bonferroni post hoc). Les barres d'erreurs correspondent à l'erreur standard de la moyenne. Les moyennes de 30 mesures sont présentées.

## Epaisseur du pétiole

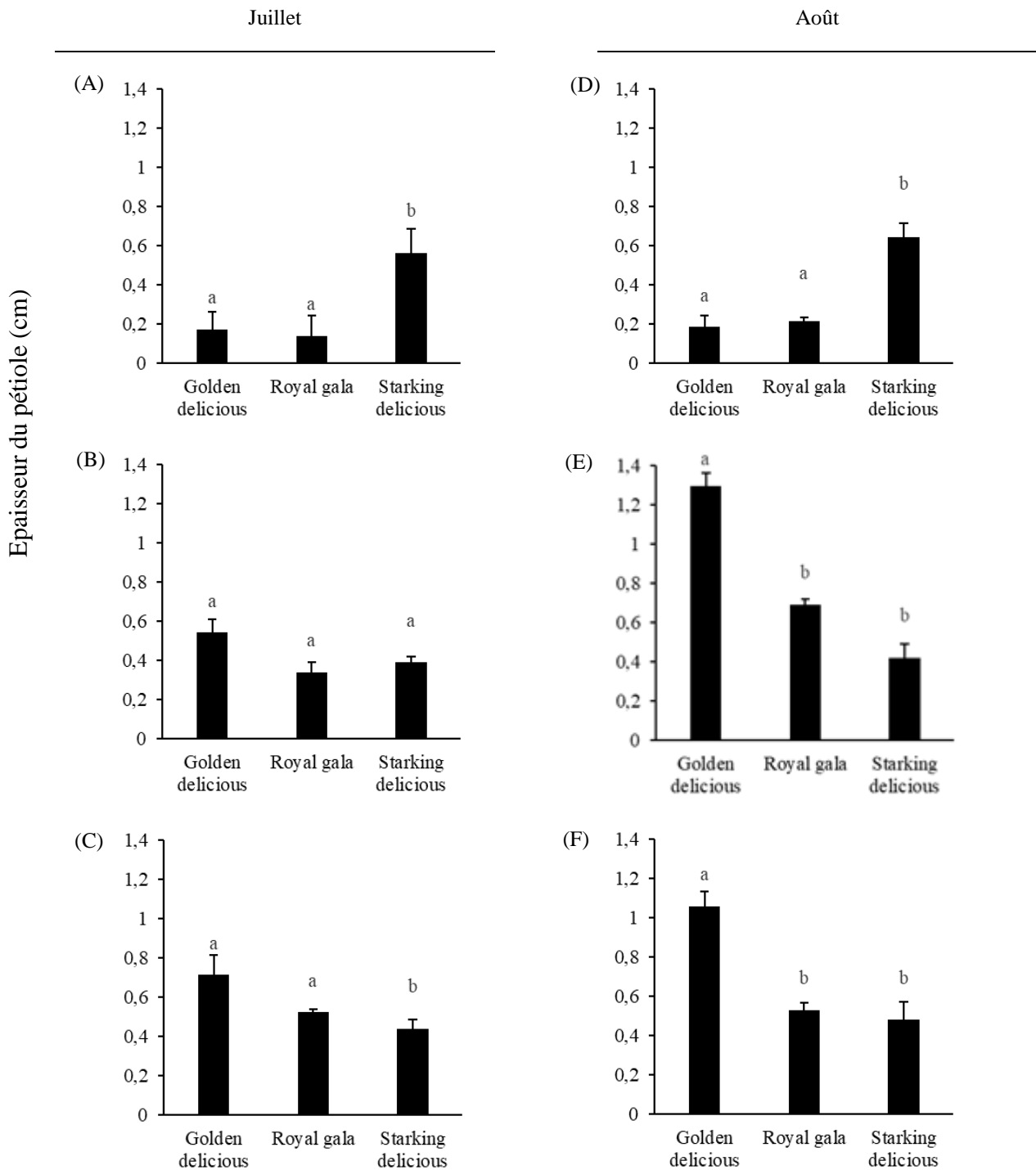


Figure 41. Epaisseur du pétiole des feuilles des pommiers (Golden delicious; Royal gala; Starking delicious) en Juillet (A, B, C) et Août (D, E, F) 2015 au niveau du sites Aït Sebaa (A, D), Annoceur (B, E) et Midelt (C, F). Les lettres a, b indiquent les différences significatives des infestations larvaires ( $p \leq 0,05$ ; ANOVA, test Bonferroni post hoc). Les barres d'erreurs correspondent à l'erreur standard de la moyenne. Les moyennes de 30 mesures sont présentées.

## Longueur de limbe

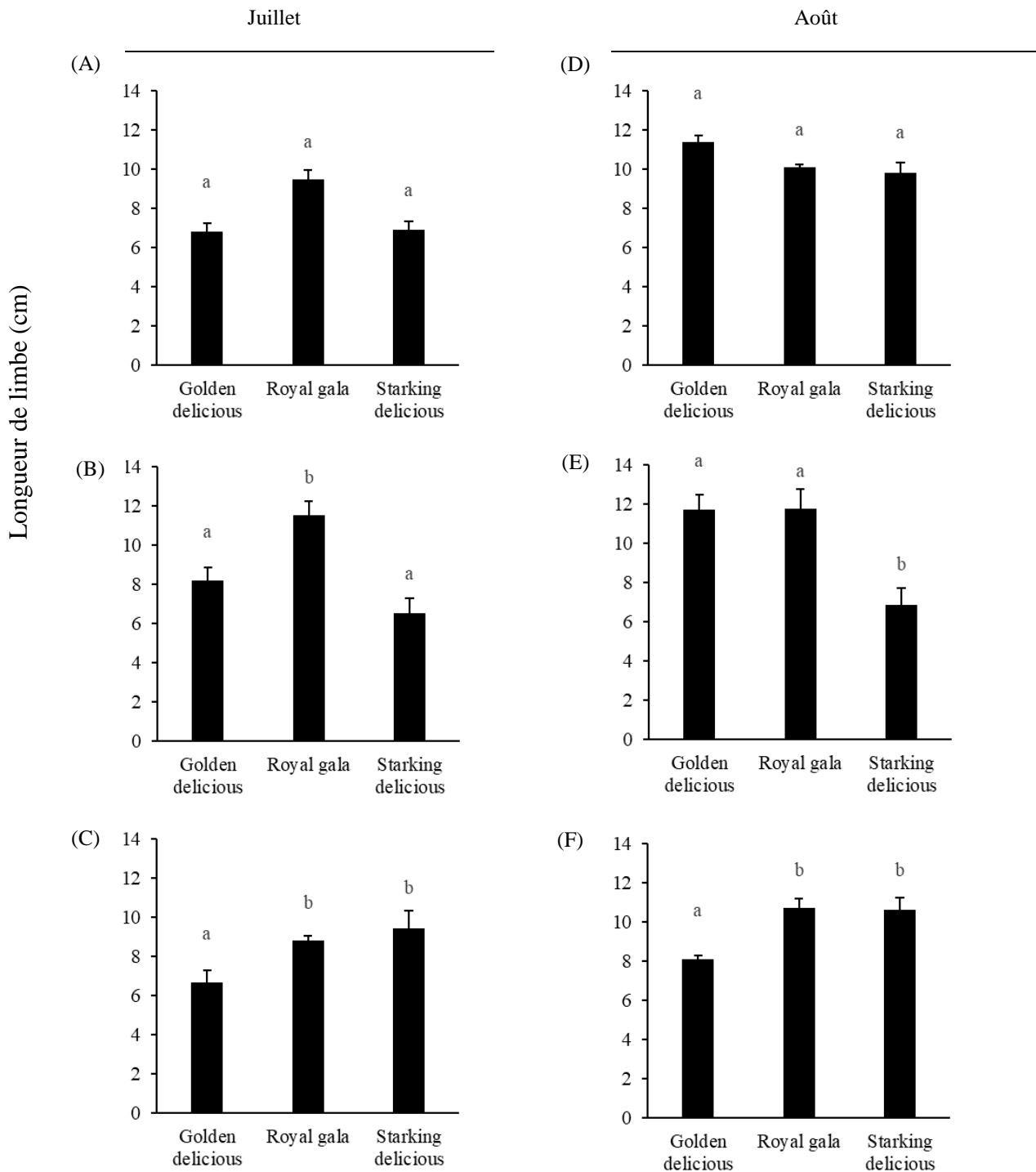


Figure 42. Longueur de limbe des feuilles chez les pommiers (Golden delicious; Royal gala; Starking delicious) en Juillet (A, B, C) et Août (D, E, F) 2015 au niveau du sites Aït Sebaa (A, D), Annoceur (B, E) et Midelt (C, F). Les lettres a, b indiquent les différences significatives des infestations larvaires ( $p \leq 0,05$ ; ANOVA, test Bonferroni post hoc). Les barres d'erreurs correspondent à l'erreur standard de la moyenne. Les moyennes de 30 mesures sont présentées.

## Largeur de limbe

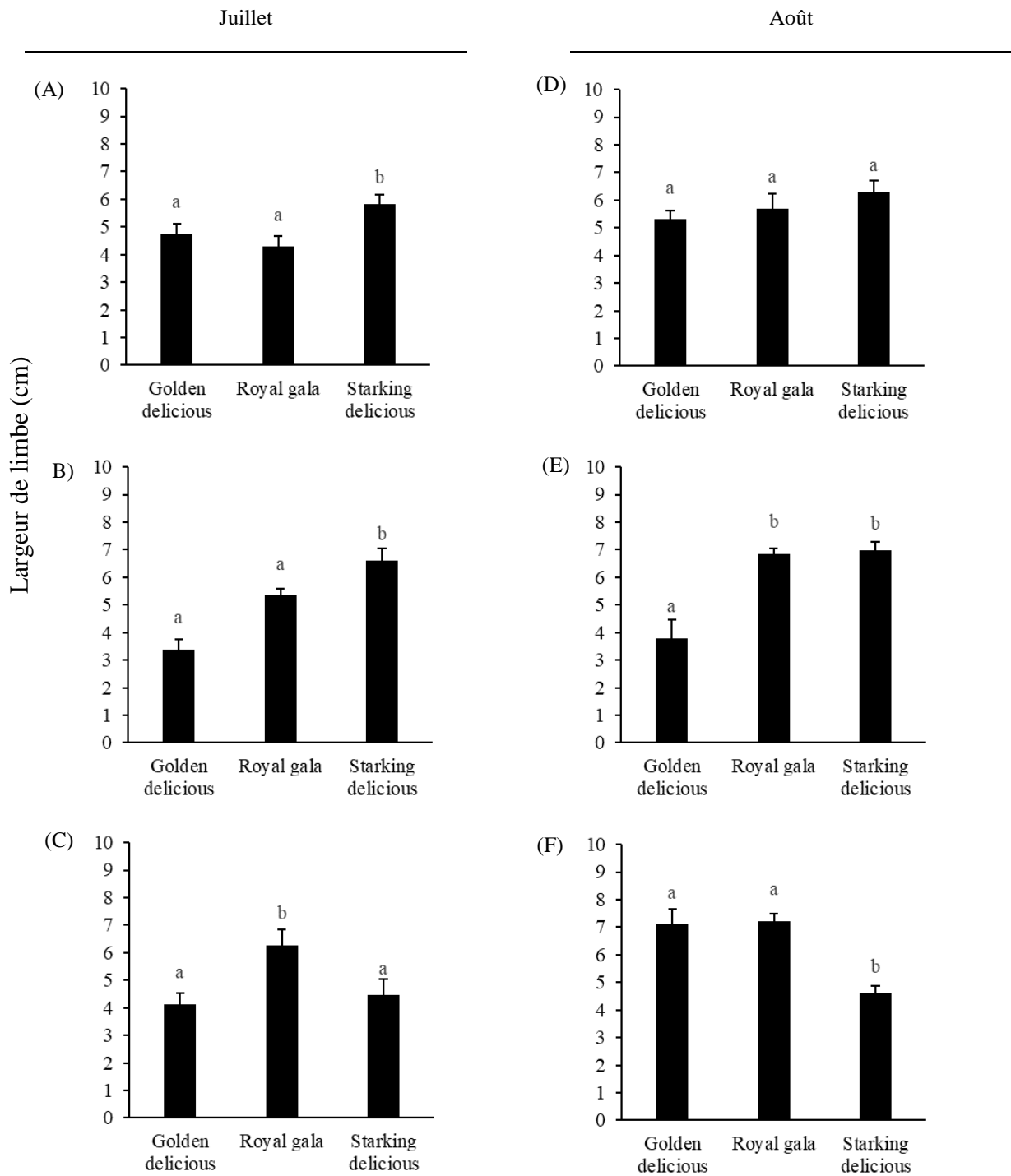


Figure 43. Largeur de limbe des feuilles chez les pommiers (Golden delicious; Royal gala; Starking delicious) en Juillet (A, B, C) et Août (D, E, F) 2015 au niveau du sites Aït Sebaa (A, D), Annoceur (B, E) et Midelt (C, F). Les lettres a, b indiquent les différences significatives des infestations larvaires ( $p \leq 0,05$ ; ANOVA, test Bonferroni post hoc). Les barres d'erreurs correspondent à l'erreur standard de la moyenne. Les moyennes de 30 mesures sont présentées.

## 1.5. Pommes

La Longueur des pommes au niveau des trois sites d'étude, en Août 2014, a été influencée par les variétés des pommes étudiées (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). La Longueur des pommes chez la variété Golden delicious a été significativement plus bas que les variétés Starking delicious et Royal gala à Aït Sebaa (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). La variété Royal gala a présenté la plus grande Longueur des pommes à la station d'étude Annoceur et la plus faible Longueur des pommes au site d'étude de Midelt (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

La Largeur des pommes, au site d'étude de Annoceur en Juillet 2014 et au site d'étude de Midelt en Août 2014, a été influencée par les trois variétés des pommes étudiées (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). La Largeur des pommes a été significativement forte chez la variété Starking delicious à la région Annoceur (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Cependant, la variété Royal gala a montré la Largeur des pommes la plus faible à Midelt, parmi les trois variétés de pommes étudiées (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

La longueur de pomme chez le pommier de la variété Royal gala, au site d'étude Aït Sebaa, en Juillet 2014, est 0,048 m, chez la variété Golden delicious est 0,052 m et chez la variété Starking delicious est 0,046 m (Figure 44A). La largeur de pomme chez le pommier de la variété Royal gala est 0,03 m, chez la variété Golden delicious est 0,031 m et chez la variété Starking delicious est 0,03 m (Figure 45A).

En août, la longueur de pomme est plus faible chez le pommier de la variété Golden delicious (Longueur de pomme : 0,08 m) que chez la variété Royal gala (Longueur de pomme : 0,1 m) et chez la variété Starking delicious (Longueur de pomme : 0,094 m) (Figure 44D). Largeur de la pomme chez le pommier de la variété Starking delicious est 0,073 m, chez la variété Golden delicious est 0,068 m et la variété Royal gala est 0,078 m (Figure 45D).

Au site d'étude Annoceur, en Juillet, la longueur de pomme chez le pommier de la variété Royal gala est 0,045 m, chez la variété Golden delicious est 0,045 m et chez la variété Starking delicious est 0,044 m (Figure 44B). La largeur de pomme est plus grande chez le pommier de la variété Starking delicious (Largeur de pomme : 0,045 m) que chez la variété Royal gala (Largeur de pomme : 0,031 m) et chez la variété Golden delicious (Largeur de pomme : 0,02 m) (Figure 45B).

En août, la longueur de pomme est plus importante chez le pommier de la variété Royal gala (Longueur de pomme : 0,089 m) que chez la variété Golden delicious (Longueur de pomme : 0,066 m) et chez la variété Starking delicious (Longueur de pomme : 0,069 m) (Figure 44E). La largeur de la pomme chez le pommier de la variété Starking delicious est 0,075 m, chez la variété Golden delicious est 0,071 m et la variété Royal gala est 0,068 m (Figure 45E).

Au site d'étude Midelt, en Juillet, la longueur de pomme chez le pommier de la variété Royal gala est 0,05 m, chez la variété Golden delicious est 0,044 m et chez la variété Starking delicious est 0,046 m (Figure 44C). La largeur de la pomme chez le pommier de la variété Starking delicious est 0,034 m, chez la variété Golden delicious est 0,043 m et la variété Royal gala est 0,029 m (Figure 45C).

En août, la longueur de pomme est faible chez le pommier de la variété Royal gala (Longueur de pomme : 0,052 m) que chez la variété Golden delicious (Longueur de pomme : 0,069 m) et chez la variété Starking delicious (Longueur de pomme : 0,074 m) (Figure 44F). La largeur de pomme est plus petite chez le pommier de la variété Royal gala (Largeur de pomme : 0,067 m) que chez la variété Starking delicious (Largeur de pomme : 0,068 m) et chez la variété Golden delicious (Largeur de pomme : 0,076 m) (Figure 45F).

## Longueur des pommes

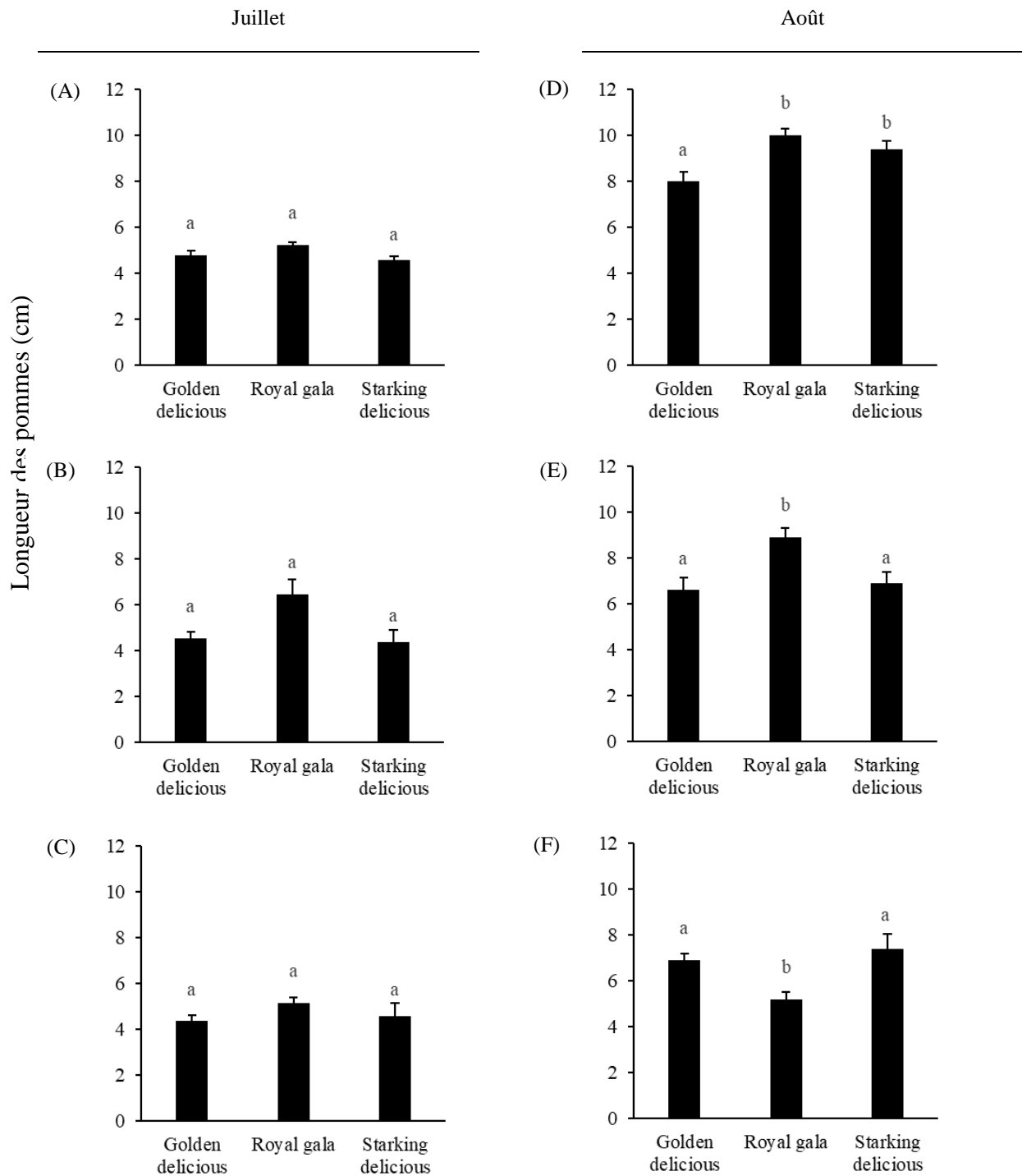


Figure 44. Longueur des pommes (Golden delicious; Royal gala; Starking delicious) en Juillet (A, B, C) et Août (D, E, F) 2014 au niveau du sites Aït Sebaa (A, D), Annoceur (B, E) et Midelt (C, F). Les lettres a, b indiquent les différences significatives des infestations larvaires ( $p \leq 0,05$ ; ANOVA, test Bonferroni post hoc). Les barres d'erreurs correspondent à l'erreur standard de la moyenne. Les moyennes de 30 mesures sont présentées.

## Largeur des pommes

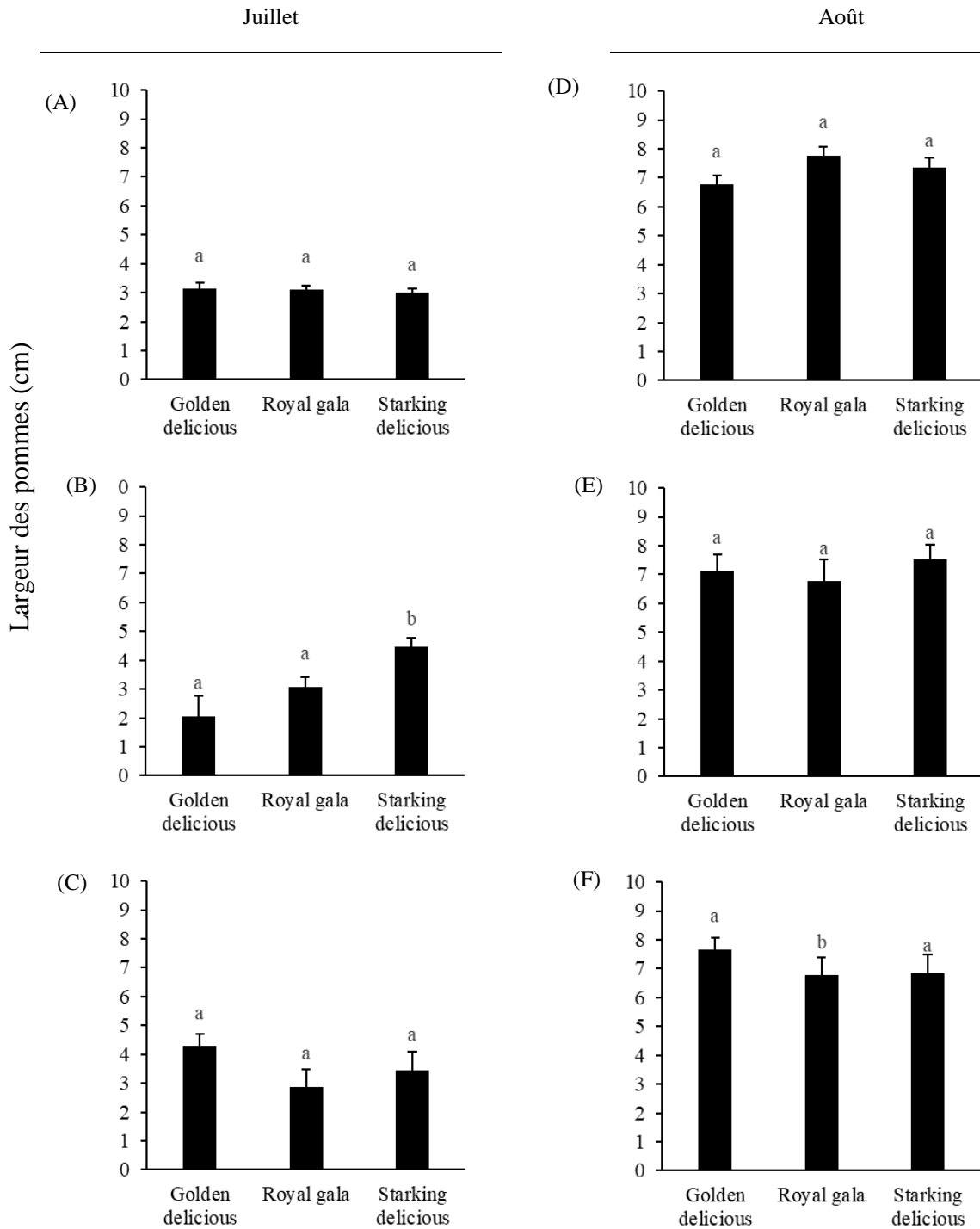


Figure 45. Largeur des pommes (Golden delicious; Royal gala; Starking delicious) en Juillet (A, B, C) et Août (D, E, F) 2014 au niveau du sites Aït Sebaa (A, D), Annoceur (B, E) et Midelt (C, F). Les lettres a, b indiquent les différences significatives des infestations larvaires ( $p \leq 0,05$ ; ANOVA, test Bonferroni post hoc). Les barres d'erreurs correspondent à l'erreur standard de la moyenne. Les moyennes de 30 mesures sont présentées.

La largeur des pommes à Aït Sebaa, en Juillet, a été significativement influencé par les variétés des pommes étudiées (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). La largeur des pommes chez la variété Royal gala a été significativement plus grande que les variétés Starking delicious et Golden delicious (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

En août, la longueur des pommes à Aït Sebaa a été significativement influencé par les variétés des pommes étudiées (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). La longueur des pommes chez la variété Golden delicious a été significativement plus bas que les variétés Starking delicious et Royal gala (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

Les mesures morphométriques des pommes à Annoceur, en Juillet, n'ont pas été significativement influencé par les variétés des pommes étudiées (ANOVA;  $P > 0,05$ ).

En août, la longueur des pommes à Annoceur a été significativement influencé par les variétés des pommes étudiées (ANOVA ;  $P \leq 0,05$ ). La longueur des pommes chez la variété Starking delicious a été significativement plus faible que les variétés Royal gala et Golden delicious (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

La largeur des pommes à Midelt, en Juillet, a été significativement influencé par les variétés des pommes étudiées (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). La largeur des pommes chez la variété Golden delicious a été significativement plus importante que les variétés Starking delicious et Royal gala (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

En août, les mesures morphométriques des pommes à Midelt ont été significativement influencé par les variétés des pommes étudiées (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). La largeur des pommes chez la variété Starking delicious a été significativement plus faible que la variété Royal gala ; la variété Golden delicious présente la largeur des pommes la plus importante (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). La largeur des pommes chez la variété Royal gala a été significativement plus faible que les variétés Starking delicious et Golden delicious (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

En 2015, au site d'étude Aït Sebaa, en Juillet, la longueur de pomme chez le pommier de la variété Royal gala est 0,055 m, chez la variété Golden delicious est 0,041 m et chez la variété Starking delicious est 0,048 m (Figure 46A). La largeur de pomme chez le pommier de la variété Royal gala est 0,035 m, chez la variété Golden delicious est 0,0204 m et chez la variété Starking delicious est 0,0251 m (Figure 47A).

En août, la longueur de pomme est plus faible chez le pommier de la variété Golden delicious (Longueur de pomme : 0,041 m) que chez la variété Royal gala (Longueur de pomme : 0,058 m) et chez la variété Starking delicious (Longueur de pomme : 0,056 m) (Figure 47D). Largeur de la pomme chez le pommier de la variété Starking delicious est 0,0408 m, chez la variété Golden delicious est 0,0452 m et la variété Royal gala est 0,0446 m (Figure 47D).

Au site d'étude Annoeur, en Juillet, la longueur de pomme chez le pommier de la variété Royal gala est 0,0524 m, chez la variété Golden delicious est 0,046 m et chez la variété Starking delicious est 0,044 m (Figure 47B). La largeur de pomme chez le pommier de la variété Golden delicious est 0,0502 m, chez la variété Royal gala est 0,0391 m et chez la variété Starking delicious est 0,047 m (Figure 47B).

En août, la longueur de pomme est plus faible chez le pommier de la variété Starking delicious (Longueur de pomme : 0,058 m) que chez la variété Golden delicious (Longueur de pomme : 0,084 m) et chez la variété Royal gala (Longueur de pomme : 0,085 m) (Figure 47E). La largeur de la pomme chez le pommier de la variété Starking delicious est 0,0755 m, chez la variété Golden delicious est 0,078 m et la variété Royal gala est 0,078 m (Figure 47E).

Au site d'étude Midelt, en Juillet, la longueur de pomme chez le pommier de la variété Royal gala est 0,0467 m, chez la variété Golden delicious est 0,0709 m et chez la variété Starking delicious est 0,0508 m (Figure 47C). La largeur de la pomme est faible chez le pommier de la variété Starking delicious (Largeur de pomme : 0,021 m) que chez la variété Royal gala (Largeur de pomme : 0,0372 m) alors que Golden delicious est la variété qui présente la plus grande largeur de pomme : 0,0482 m (Figure 47C).

En août, la longueur de pomme est faible chez le pommier de la variété Royal gala (Longueur de pomme : 0,0704 m) que chez la variété Golden delicious (Longueur de pomme : 0,0841 m) puis Starking delicious (Longueur de pomme : 0,0885 m) est la variété qui présente la plus grande longueur de pomme (Figure 47F). La largeur de pomme est plus faible chez les pommier Royal gala (Largeur de pomme : 0,061 m) et Golden delicious (Largeur de limbe : 0,05 m) que la variété Starking delicious (Largeur de limbe : 0,075 m) (Figure 47F).

La longueur des pommes est grande chez la variété Royal gala. Les trois variétés de pommes étudiées ne présentent généralement pas de différence significative au niveau des trois régions d'étude. Le développement de l'inflorescence est un facteur important à la capacité d'établir les pommes. La capacité d'un bourgeon floral à mettre des pommes est généralement lié à son devenir floral (Abbott, 1976; May, 1970). Ce concept est utile de point de vue horticole et physiologique (May, 1970). Plusieurs études ont montré que la présence d'un nombre important d'inflorescences dépend d'un ensemble de caractères dont des surfaces foliaires larges et un nombre de feuilles important (Buszard et Schwabe, 1995; May, 1970; Robbie et Atkinson, 1994; Volz et *al.*, 1994; Williams, 1965).

Les pommiers soumis à des conditions de faible température présentent des pommes de dimensions supérieures à ceux produits par des arbres maintenus dans des conditions naturelles (Petri et Leite, 2003). Selon Wang et Faust (1994), les facteurs climatiques comme l'étendue du froid en hiver peuvent affecter la division cellulaire. De ce fait, la taille des petites pommes pourrait être une conséquence de la réduction des divisions cellulaires en raison du manque de conditions de froid. Petri et Leite (2003) ont observé que le nombre de grains de pollen par anthères est faible dans les conditions de climat doux par rapport aux régions plus froides, et que les variétés de pommiers plus exigeantes en froid ont présenté un plus grand nombre de grains de pollen par anthère.

Dennis (2000) a trouvé que les facteurs climatiques ont influencé la longueur et la largeur des pommes. Les pommes qui se développent dans les régions plus chaudes sont de petite taille par rapport à ceux des régions plus froides. L'absence des conditions de froid chez les pommiers entraîne, non seulement, la formation de fleurs de petite taille, mais aussi une réduction marquée de leur nombre, ce qui résulte en une faible fructification (Erez, 2000).

Selon Callesen (1992), le rendement a augmenté chez les pommiers de hauteur élevée. Une hauteur d'arbre de 275 à 325 cm est optimale pour le développement de la couleur, de la taille des pommes et pour un meilleur rendement. Aussi, la hauteur optimale des arbres diffère pour différents cultivars selon le besoin de lumière pour le développement de la couleur rouge (Forshey et McKee, 1970).

Denne (1963) a étudié comment le développement des pommes (taux et durée de croissance, division cellulaire et expansion cellulaire) chez trois cultivars de pommiers (Cox, Daugherty et Sturmer) est affecté par des facteurs intra-arbre. L'étude a révélé que la taille des pommes à la récolte était liée à la position de la pomme sur l'arbre, le nombre de

graines, le nombre de pommes par branche pommèière, et la date de Floraison. Selon Wagenmakers et Callesen (1988), les densités élevées des plantations (3000 à 4000 arbre/ha) favorisent une meilleure productivité ainsi que l'augmentation de la taille des pommes à la récolte. Cependant, une densité de pommier dans le verger allant jusqu'à 1 637 arbres par hectare donne moins de production de pommes par arbre, mais plus de pommes par hectare (Cripps et *al.*, 1975).

## Longueur des pommes

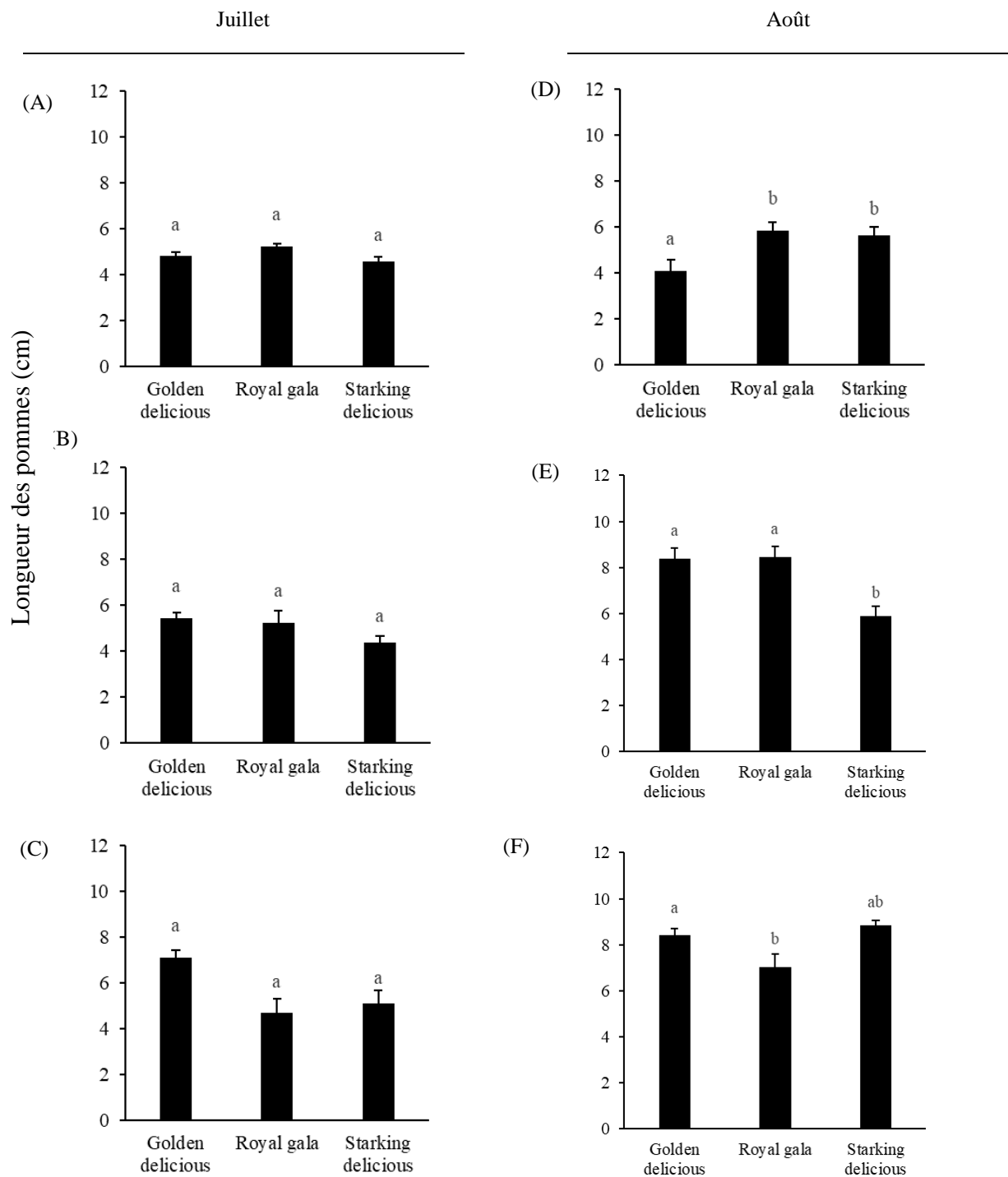


Figure 46. Longueur des pommes (Golden delicious; Royal gala; Starking delicious) en Juillet (A, B, C) et Août (D, E, F) 2015 au niveau du sites Aït Sebaa (A, D), Annoceur (B, E) et Midelt (C, F). Les lettres a, b indiquent les différences significatives des infestations larvaires ( $p \leq 0,05$ ; ANOVA, test Bonferroni post hoc). Les barres d'erreurs correspondent à l'erreur standard de la moyenne. Les moyennes de 30 mesures sont présentées.

## Largeur des pommes

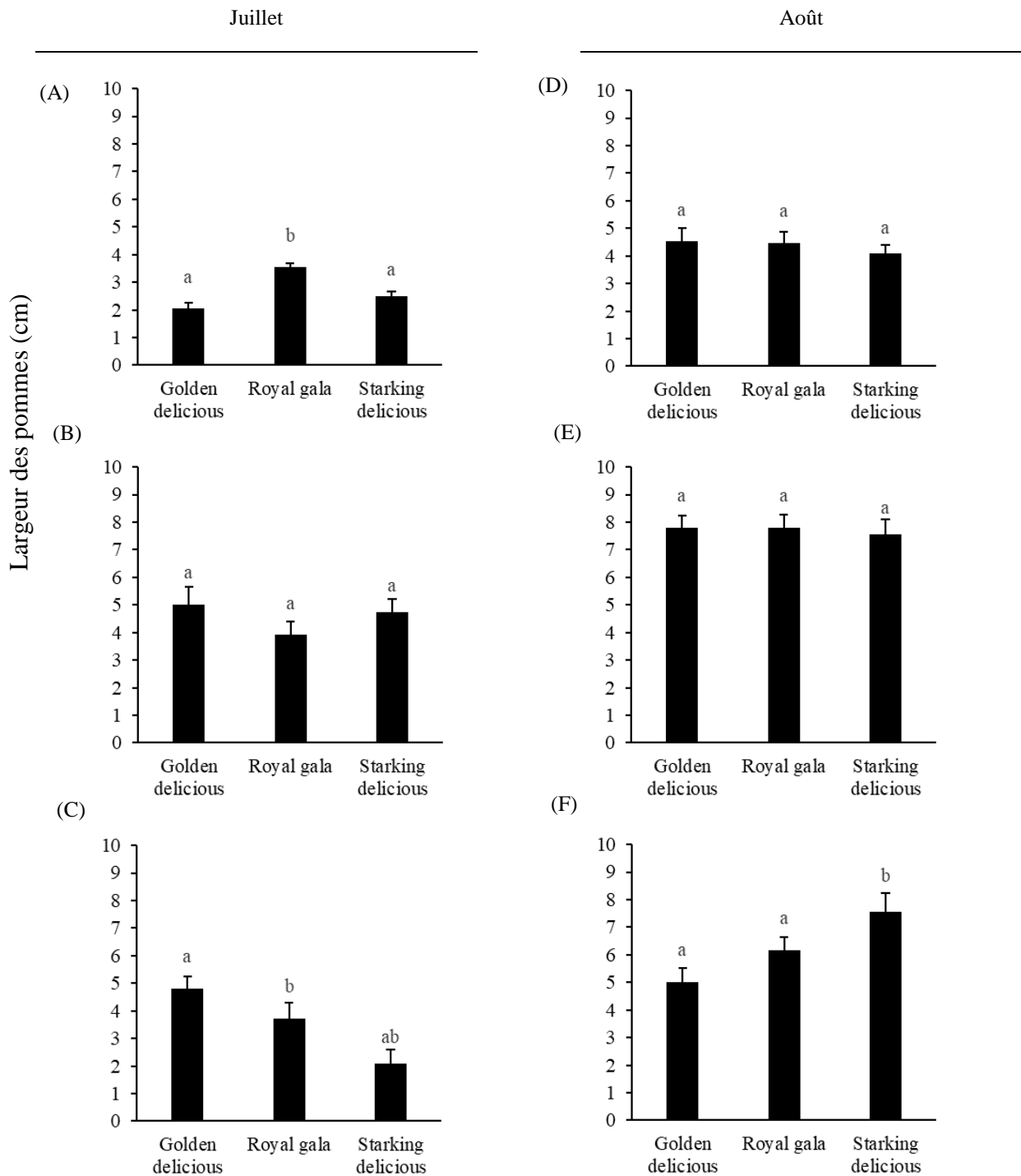


Figure 47. Largeur des pommes (Golden delicious; Royal gala; Starking delicious) en Juillet (A, B, C) et Août (D, E, F) 2015 au niveau du sites Aït Sebaa (A, D), Annoceur (B, E) et Midelt (C, F). Les lettres a, b indiquent les différences significatives des infestations larvaires ( $p \leq 0,05$ ; ANOVA, test Bonferroni post hoc). Les barres d'erreurs correspondent à l'erreur standard de la moyenne. Les moyennes de 30 mesures sont présentées.

## 2. Dynamique des larves de carpocapse

### 2.1. Effet de l'altitude sur l'infestation par les larves de carpocapse

Au total, 69393 pommes ont été analysées pour l'infestation au carpocapse in situ (Tableau 1).

Tableau 1. Nombre de pommes étudiées en Juillet (première génération de larves de *C. pomonella*) et en Août (deuxième génération de larves de *C. pomonella*) au niveau des sites d'étude Aït Sebaa, Annoceur et Midelt pendant deux années successives.

	Pommes étudiées (nombre)	
	2014	2015
Aït Sebaa		
Juillet	5431	6484
Août	4803	5768
Annoceur		
Juillet	4168	6187
Août	4584	6174
Midelt		
Juillet	7409	6176
Août	5949	6260

En 2014, le taux d'infestation larvaire a été plus faible au site d'étude de Midelt (entre 5,98 et 8,69%) en comparaison avec le site d'étude d'Annoceur (entre 7,95 et 10,12%). Le pourcentage d'infestation larvaire le plus élevé a été enregistré au site d'étude d'Aït Sebaa (entre 9 et 11,46%). L'infestation par les larves de première génération (Juillet) a été significativement influencée par l'altitude (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ) (Figure 48A). L'infestation par les larves de première génération (Juillet) a été significativement plus élevée respectivement au niveau du site d'étude d'Aït Sebaa et d'Annoceur en comparaison avec le site d'étude de Midelt (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

L'infestation par les larves de deuxième génération (Août) a été significativement influencée par l'altitude (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ) (Figure 48C). L'infestation par les larves de deuxième génération (Août) a été significativement plus élevée au niveau du site d'étude d'Aït Sebaa et d'Annoceur en comparaison avec le site d'étude de Midelt (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

En 2015, le taux d'infestation larvaire a été plus faible au site d'étude de Midelt (entre 7,57 et 8,52%) en comparaison avec le site d'étude d'Annoceur (entre 10,46 et 10,7%). Le pourcentage d'infestation larvaire le plus élevé a été enregistré au site d'étude d'Aït Sebaa (entre 10,73 et 11,30%). L'altitude n'a pas influencé l'infestation par les larves de première génération (ANOVA ;  $P > 0,05$ ) (Figure 48B) et par les larves de deuxième génération (ANOVA ;  $P > 0,05$ ) (Figure 48D).

Notre étude suggère que plus on monte en altitude plus les dégâts de carpocapse diminuent. Nos résultats confirment ceux de Azizyan et Ter- Hovhannesyanyan (2010) qui concluent que le carpocapse est capable de détruire annuellement jusqu'à 70% de la production en pommes en basse altitude et de 40% dans les vergers de haute altitude. Aussi, le carpocapse à basse altitude émerge plus rapidement que le carpocapse à haute altitude (Jones et *al.*, 2013). Le Carpocapse complète une génération par an en très haute altitude (2000 m) et trois ou quatre générations par an en basse altitude (850 m) (Azizyan et Ter- Hovhannesyanyan, 2010).

Au Maroc, quatre générations de carpocapse par an sont enregistrées dans les vergers de basse altitude (552 m) (El Idrissi, 1980). Au niveau des vergers marocains à haute altitude (1 250 m), le Carpocapse présente annuellement deux générations complètes plus une troisième incomplète (El Iraqui et Hmimina, 2016). Dans des études antérieures, on a observé des différences phénotypiques et génétiques entre les populations de carpocapse habitant des zones géographiques à altitudes et plantes hôtes différentes (Ter- Hovhannesyanyan, 2005).

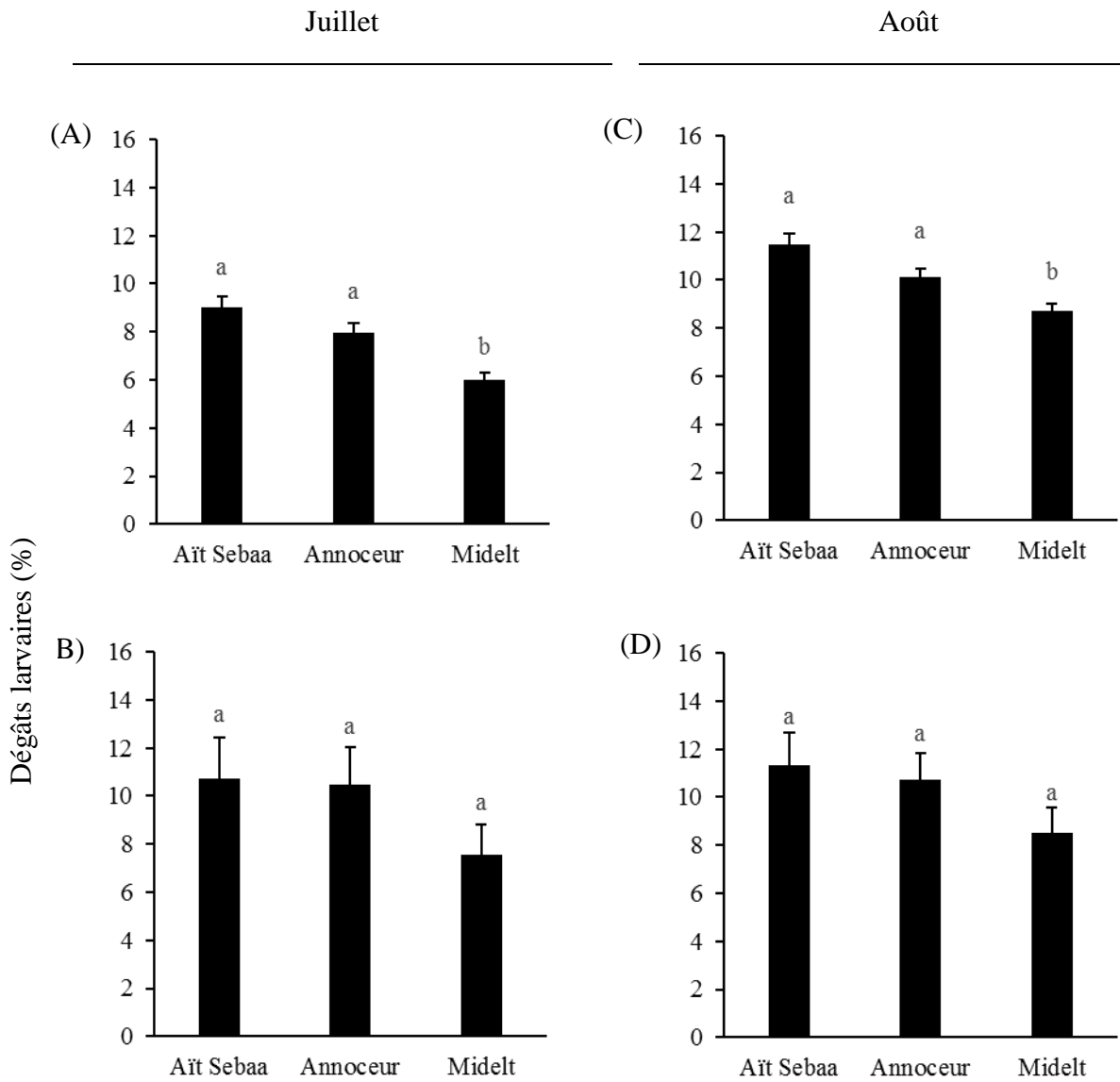


Figure 48. Effet de l'altitude (Aït Sebaa, 1155 m; Annoceur, 1400 m; Midelt, 1500 m) sur l'infestation par *C. pomonella* en Juillet (larves de première génération) et en Août (larves de deuxième génération) en 2014 (A, C) et en 2015 (B, D). Le pourcentage de dégâts larvaires a été calculé selon le nombre de pommes dénombrées au niveau du site étudié. Les lettres a, b indiquent les différences significatives des infestations larvaires ( $p \leq 0,05$ ; ANOVA, test Bonferroni post hoc). Les barres d'erreurs correspondent à l'erreur standard de la moyenne. Les moyennes de 30 mesures sont présentées.

## 2.2. Effet des variétés des pommes sur l'infestation

La Figure 49A et C montrent qu'en 2014, au site d'étude d'Aït Sebaa, le taux d'infestation larvaire a été plus faible chez la variété Starking delicious (entre 5,91 et 8,69%) en comparaison avec celui enregistré chez la variété Golden delicious (entre 10,22 et 12,18%). Le pourcentage d'infestation larvaire le plus élevé a été enregistré chez la variété Royal gala (entre 10,88 et 13,5%). Au site d'étude d'Annoceur, le taux d'infestation larvaire a été plus faible chez la variété Starking delicious (entre 4,61 et 7,78%) en comparaison avec celui enregistré chez la variété Royal gala (entre 8,91 et 11,27%). Le pourcentage d'infestation larvaire le plus élevé a été enregistré chez la variété Golden delicious (entre 10,34 et 11,31%). Au site d'étude de Midelt, le taux d'infestation larvaire a été plus faible chez la variété Starking delicious (entre 3,3 et 6,7%) en comparaison avec celui enregistré chez la variété Royal gala (entre 6,79 et 8,49%). Le pourcentage d'infestation larvaire le plus élevé a été enregistré chez la variété Golden delicious (entre 7,86 et 10,89%).

L'infestation par les larves de première génération (Juillet) a été significativement influencée par les variétés des pommes étudiées (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ) (Figure 49A). Au site d'étude d'Aït Sebaa, l'infestation par les larves de première génération (Juillet) a été significativement plus faible chez la variété Starking delicious en comparaison avec la variété Royal gala (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Au site d'étude d'Annoceur, l'infestation par les larves de première génération (Juillet) a été significativement plus faible chez la variété Starking delicious en comparaison avec la variété Golden delicious (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Au site d'étude de Midelt, l'infestation par les larves de première génération (Juillet) a été significativement plus faible chez la variété Starking delicious en comparaison avec la variété Golden delicious (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

L'infestation par les larves de deuxième génération (Août) a été significativement influencée par les variétés des pommes étudiées (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ) (Figure 49C). Au site d'étude d'Aït Sebaa, l'infestation par les larves de deuxième génération (Août) a été significativement plus faible chez la variété Starking delicious en comparaison avec la variété Royal gala (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Au site d'étude d'Annoceur, l'infestation par les larves de deuxième génération (Août) a été significativement plus faible chez la variété Starking delicious en comparaison avec la variété Golden delicious (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Au site d'étude de Midelt, l'infestation par les larves de deuxième génération (Août) a été

significativement plus faible chez la variété Starking delicious en comparaison avec la variété Golden delicious (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

En 2015, la Figure 49B et D, présentent le pourcentage d'infestation par les larves de carpocapse dans les trois sites d'étude (Aït Sebaa, Annoceur et Midelt). Au site d'étude d'Aït Sebaa, le taux d'infestation larvaire a été plus faible chez la variété Starking delicious (entre 9,05 et 9,15%) en comparaison avec celui enregistré chez la variété Golden delicious (entre 12,09 et 13,04%). Le pourcentage d'infestation larvaire le plus élevé a été enregistré chez la variété Royal gala (entre 11,04 et 12%). Au site d'étude d'Annoceur, le taux d'infestation larvaire a été plus faible chez la variété Starking delicious (entre 8,3 et 8,53%) en comparaison avec celui enregistré chez la variété Royal gala (entre 11,52 et 12,34%) et chez la variété Golden delicious (entre 11,18 et 12,6%). Au site d'étude de Midelt, le taux d'infestation larvaire a été plus faible chez la variété Starking delicious (entre 7 et 7,94%) en comparaison avec celui enregistré chez la variété Royal gala (entre 7,54 et 8,03%).

Le pourcentage d'infestation larvaire le plus élevé a été enregistré chez la variété Golden delicious (entre 8,12 et 10,02%). Les variétés des pommes étudiées n'ont pas influencé l'infestation par les larves de première génération (ANOVA;  $P > 0,05$ ) et les larves de deuxième génération (ANOVA;  $P > 0,05$ ) (Figure 49B et D).

La principale source d'attraction de carpocapse aux pommiers et autres plantes hôtes sont les kairomones (Wearing et Hutchins, 1973). (E,E)- $\alpha$ -farnésène et l'éthyl (2E, 4Z)-2, 4-decadienoate sont connus pour leurs propriétés attractives aux larves de carpocapse (Light et al., 2001). Les composés terpénoïdes excitent les antennes des mâles (Yang et al., 2004). Ils sont attirés par les (E,E)- $\alpha$ -farnésène, (E)- $\beta$ -farnésène et par l'éthyl (E,Z)-2,4-decadienoate (Ansebo et al., 2004). Les femelles sont attirées par (Z) 3-hexenol, (Z) 3-ényle benzoate, (Z) 3-ényle hexanoate, ( $\pm$ )-linalol et E,E- $\alpha$ -farnésène qui stimulent la libération des phéromones et la ponte (Coracini et al., 2004; Sutherland et al., 1977; Yan et al., 1999). La production d' $\alpha$ -farnésène diffère entre les variétés de pommiers (Aprea et al., 2012; Tsantili et al., 2007; Whitaker et al., 1998). De plus, le comportement de ponte du carpocapse est influencé directement par la variété de pommier (Blomefield et Sadie, 1997).

Les substances non-volatiles sont présentes également en quantités différentes chez les variétés de pommes. Ces substances influencent le comportement de choix de ponte et de

prise de nourriture chez le carpocapse (Städler, 2002). Ces substances sont les acides organiques, les esters, les cations, les acides aminées et les sucres (Lombarkia et Derridj, 2002; Vrieling et Derridj, 2003). D'après cette étude, nous pouvons dire que quel que soit la région ou la génération de l'insecte les variétés choisies sont sensibles au carpocapse, avec une légère préférence pour Golden delicious ; qui pourrait être expliqué, entre autres, par sa richesse en sucres et polyols (Lombarkia et Derridj, 2002).

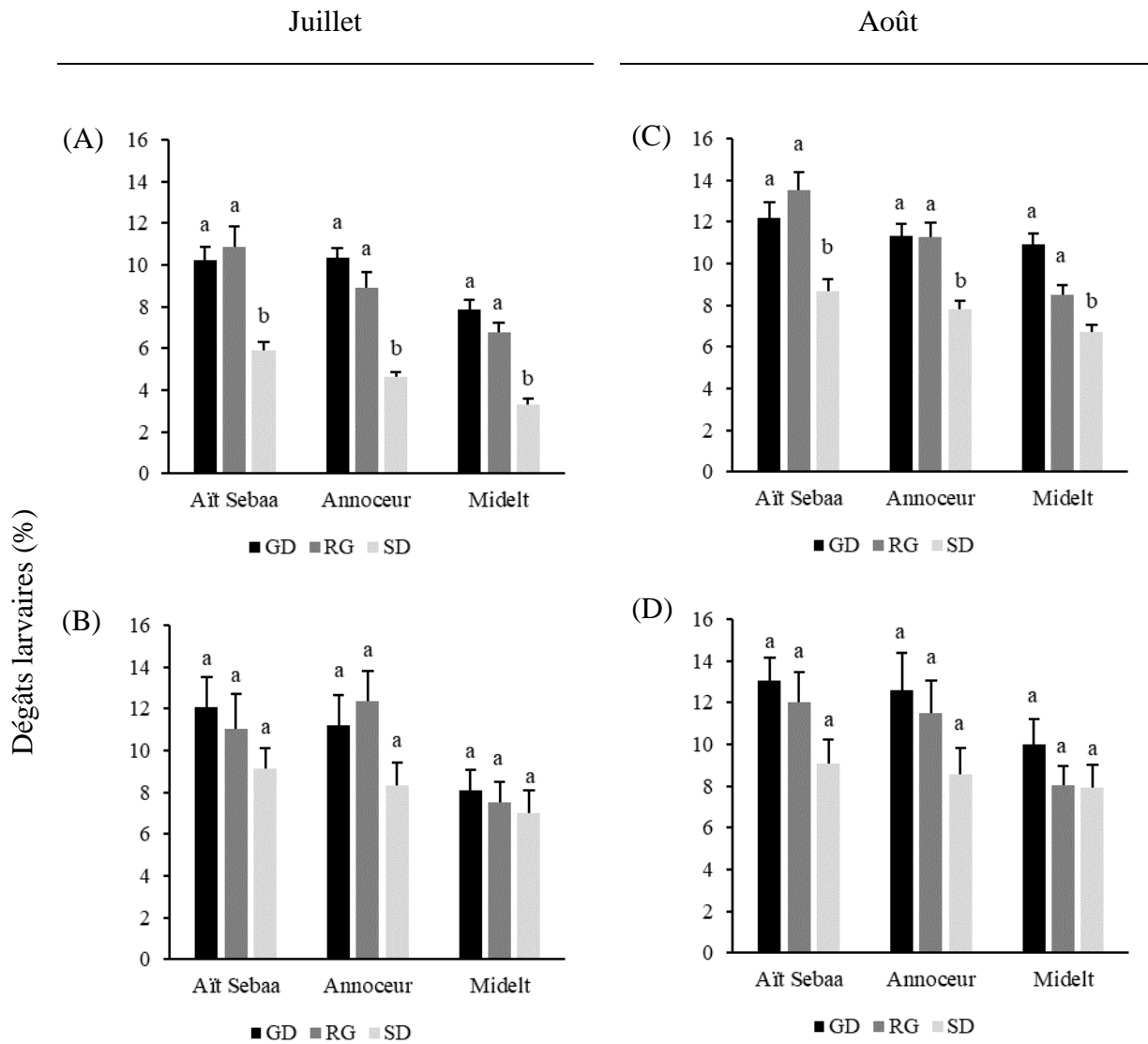


Figure 49. Effet des variétés des pommes (GD, Golden delicious; RG, Royal gala; SD, Starking delicious) sur l'infestation par *C. pomonella* en Juillet (larves de première génération) et en Août (larves de deuxième génération) en 2014 (A, C) et en 2015 (B, D). Le pourcentage de dégâts larvaires a été calculé selon le nombre de pommes dénombrées au niveau du site étudié. Les lettres a, b indiquent les différences significatives des infestations larvaires ( $P \leq 0,05$ ; ANOVA, test Bonferroni post hoc). Les barres d'erreurs correspondent à l'erreur standard de la moyenne. Les moyennes de 30 mesures sont présentées.

### 2.3. Effet des points cardinaux sur l'infestation

En 2014, Au site d'étude Aït Sebaa, les infestations causées par les larves de carpocapse de première génération sont faibles vers le côté Nord du pommier de la variété Golden delicious (7,32%). Le plus fort taux d'infestation par les larves de première génération est enregistré au côté Sud du pommier de cette variété (12,11%) (Figure 50A).

Les infestations causées par les larves de deuxième génération sont faibles vers le côté Nord de l'arbre Golden delicious (8,24%). Les plus forts pourcentages d'infestations par les larves de deuxième génération sont respectivement aux côtés Sud (14,05%), Est (13,37%) et Ouest (13%) du pommier Golden delicious. Chez la variété Royal gala à Aït Sebaa, les dégâts causés par les larves de première génération sont faibles vers le côté Nord (9,44%) et le côté Ouest (10,10%) des arbres. Le plus fort taux d'infestation par les larves de première génération est enregistré aux côtés Sud (12,11%) et Est (12,11%) des pommiers de la variété Royal gala (Figure 50C).

Les infestations causées par les larves de deuxième génération sont faibles vers le côté Nord du pommier de la variété Royal gala (10,04%). Les larves de deuxième génération ont causé un taux d'infestation élevé aux côtés Sud (14,34%) et Est (15,06%) du pommier de la variété Royal gala (Figure 50C).

Les infestations causées par les larves de première génération sont faibles vers le côté Nord (3,05%) du pommier de la variété Starking delicious. Le plus fort taux d'infestation par les larves de première génération est enregistré au côté Ouest (12,11%) du pommier de la variété Starking delicious (Figure 50A).

Les larves de deuxième génération ont faiblement causé des dommages vers le côté Nord (8,14%) et le côté Est (7,25%) des arbres de la variété Starking delicious. En deuxième génération, les dommages larvaires ont atteint un taux élevé au côté Ouest (12,05%) du pommier de la variété Starking delicious (Figure 50C).

Au site d'étude Aït Sebaa, l'infestation par les larves de première génération a été significativement influencée par les points cardinaux (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). Chez la variété Golden delicious, l'infestation par les larves de première génération a été significativement plus faible vers le côté Nord en comparaison avec le côté Sud (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Au niveau de la variété Royal gala, l'infestation par les larves de première génération a été significativement plus faible vers le côté Nord en comparaison avec le côté Sud

(Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Au niveau de la variété Starking delicious, l'infestation par les larves de première génération a été significativement plus faible vers le côté Nord en comparaison avec le côté Ouest (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Les quatre points cardinaux ont influencé significativement l'infestation par les larves de deuxième génération (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). Chez la variété Golden delicious, l'infestation par les larves de deuxième génération a été significativement plus faible vers le côté Nord en comparaison avec le côté Sud (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Au niveau de la variété Royal gala, l'infestation par les larves de deuxième génération a été significativement plus faible vers le côté Nord en comparaison avec le côté Est (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Chez la variété Starking delicious, l'infestation par les larves de deuxième génération a été significativement plus faible vers le côté Est en comparaison avec le côté Ouest (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

Au site d'étude Annoceur, les infestations causées par les larves de première génération sont faibles vers le côté Nord (9,87%) et le côté Sud (8,76%) du pommier de la variété Golden delicious. Le plus fort taux d'infestation par les larves de première génération est enregistré au côté Est (12,31%) et Ouest (13,10%) du pommier de la variété Golden delicious (Figure 50B).

Les infestations causées par les larves de deuxième génération sont faibles vers le côté Nord du pommier de la variété Golden delicious (7,66%). Le plus fort taux d'infestation par les larves de deuxième génération est enregistré respectivement aux côtés Sud (13,42%) et Est (12,98%) du pommier de la variété Golden delicious (Figure 50E).

Les infestations causées par les larves de première génération sont faibles vers le côté Nord (6,90%) du pommier de la variété Royal gala. Le plus fort taux d'infestation par les larves de première génération est enregistré aux côtés Sud (12,32%) et Ouest (11,45%) du pommier de la variété Royal gala (Figure 50B).

Les infestations causées par les larves de deuxième génération sont faibles vers le côté Sud du pommier de la variété Royal gala (10,00%). Le plus fort taux d'infestation par les larves de deuxième génération est enregistré aux côtés Nord (14,52%) et Ouest (15,67%) du pommier de la variété Royal gala (Figure 50E).

Les infestations causées par les larves de première génération sont faibles vers le côté Nord (2,72%) du pommier de la variété Starking delicious. Le plus fort taux d'infestation par les larves de première génération est enregistré au côté Ouest (7,65%) du pommier de la variété Starking delicious (Figure 50B).

Les infestations causées par les larves de deuxième génération sont faibles vers le côté Nord (7,37%) du pommier de la variété Starking delicious. Le plus fort taux d'infestation par les larves de deuxième génération est enregistré au côtés Sud (11,88%) du pommier de la variété Starking delicious (Figure 50E).

Au site d'étude Annoceur, l'infestation par les larves de première génération a été significativement influencée par les points cardinaux (ANOVA ;  $P \leq 0,05$ ). Chez la variété Golden delicious, l'infestation par les larves de première génération a été significativement plus faible vers le côté Sud en comparaison avec le côté Ouest (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Au niveau de la variété Royal gala, l'infestation par les larves de première génération a été significativement plus faible vers le côté Nord en comparaison avec le côté Sud (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Au niveau de la variété Starking delicious, l'infestation par les larves de première génération a été significativement plus faible vers le côté Nord en comparaison avec le côté Ouest (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

L'infestation par les larves de deuxième génération a été significativement influencée par les points cardinaux (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). Chez la variété Golden delicious, l'infestation par les larves de deuxième génération a été significativement plus faible vers le côté Nord en comparaison avec le côté Sud (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Au niveau de la variété Royal gala, l'infestation par les larves de deuxième génération a été significativement plus faible vers le côté Sud en comparaison avec le côté Ouest (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Chez la variété Starking delicious, l'infestation par les larves de deuxième génération a été significativement plus faible vers le côté Nord en comparaison avec le côté Sud (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

Au site d'étude de Midelt, Les infestations causées par les larves de première génération sont faibles vers le côté Nord (5,35%) du pommier de la variété Golden delicious. Le plus fort taux d'infestation par les larves de première génération est enregistré au côté Est (10,53%) du pommier de la variété Golden delicious (Figure 50C).

Les infestations causées par les larves de deuxième génération sont faibles vers le côté Nord du pommier de la variété Golden delicious (8,40%). Le plus fort taux d'infestation par les larves de deuxième génération est enregistré respectivement aux côtés Sud (13,99%) et Ouest (13,32%) du pommier de la variété Golden delicious (Figure 50F).

Les infestations causées par les larves de première génération sont faibles vers le côté Nord (4,16%) du pommier de la variété Royal gala. Le plus fort taux d'infestation par les larves

de première génération est enregistré au côté Est (10,25%) du pommier de la variété Royal gala (Figure 50C).

Les infestations causées par les larves de deuxième génération sont faibles vers le côté Nord du pommier de la variété Royal gala (6,07%). Le plus fort taux d'infestation par les larves de deuxième génération est enregistré aux côtés Sud (11,33%) et Ouest (12,58%) du pommier de la variété Royal gala (Figure 50F).

Les dégâts larvaires en première génération du carpocapse sont faibles vers le côté Nord (2,72%) du pommier de la variété Starking delicious. Cette variété présente les plus forts taux d'infestation par les larves de première génération aux côtés Ouest (3,44%), Sud (4,26%) et Est (5,18%) du pommier (Figure 50C).

En deuxième génération de carpocapse, les infestations larvaires sont faibles vers le côté Nord (4,21%) du pommier de la variété Starking delicious. L'infestation par les larves de deuxième génération atteint son taux le plus fort au côté Sud (9,53%) du pommier (Figure 50F).

Au site d'étude Midelt, l'infestation par les larves de première génération a été significativement influencée par les points cardinaux (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). Chez la variété Golden delicious, l'infestation par les larves de première génération a été significativement plus faible vers le côté Nord en comparaison avec le côté Est (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Au niveau de la variété Royal gala, l'infestation par les larves de première génération a été significativement plus faible vers le côté Nord en comparaison avec le côté Est (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Au niveau de la variété Starking delicious, l'infestation par les larves de première génération a été significativement plus faible vers le côté Nord en comparaison avec le côté Est (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

L'infestation par les larves de deuxième génération a été significativement influencée par les points cardinaux (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). Chez la variété Golden delicious, l'infestation par les larves de deuxième génération a été significativement plus faible vers le côté Nord en comparaison avec le côté Sud (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Au niveau de la variété Royal gala, l'infestation par les larves de deuxième génération a été significativement plus faible vers le côté Nord en comparaison avec le côté Ouest (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Chez la variété Starking delicious, l'infestation par les larves de deuxième génération a été significativement plus faible vers le côté Nord en comparaison avec le côté Sud (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

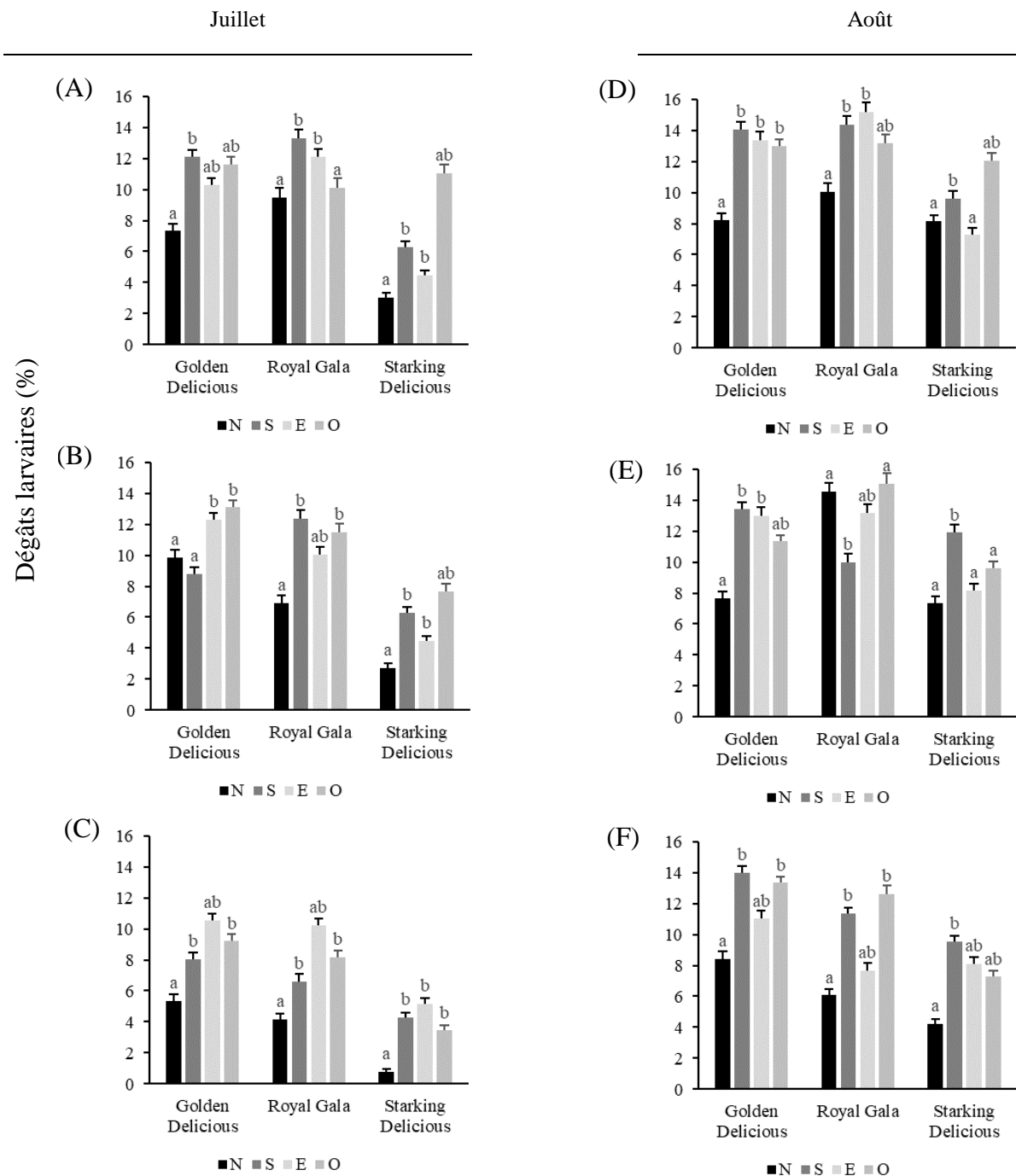


Figure 50. Effet des points cardinaux (N, Nord; S, Sud; E, Est; O, Ouest) sur l'infestation des variétés de pommes (Golden delicious; Royal gala; Starking delicious) par *C. pomonella* en Juillet (larves de première génération) et en Août (larves de deuxième génération) en 2014 au niveau des sites Aït Sebaa (A, D), Annoceur (B, E) et Midelt (C, F). Le pourcentage de dégâts larvaires a été calculé selon le nombre de pommes dénombrées au niveau du site étudié. Les lettres a, b indiquent les différences significatives des infestations larvaires ( $p \leq 0,05$ ; ANOVA, test Bonferroni post hoc). Les barres d'erreurs correspondent à l'erreur standard de la moyenne. Les moyennes de 30 mesures sont présentées.

En 2015, Au site d'étude Aït Sebaa et chez la variété Golden delicious, les infestations causées par les larves de première génération sont faibles vers le côté Nord (10,48%) et le côté Sud (11,18%) du pommier de la variété Golden delicious. Le plus fort taux d'infestation par les larves de première génération est enregistré au côté Est du pommier Golden delicious (14,07%) (Figure 51A).

Les infestations causées par les larves de deuxième génération sont faibles vers le côté Ouest (11,54%) du pommier Golden delicious. Le plus fort taux d'infestation par les larves de deuxième génération est enregistré au côté Sud (15,03%) du pommier Golden delicious (Figure 51D).

Chez la variété Royal gala, les infestations causées par les larves de première génération sont faibles vers le côté Nord (9,64%) du pommier. Le plus fort taux d'infestation par les larves de première génération est enregistré au côté Ouest (12,25%) du pommier de la variété Royal gala (Figure 51A).

Les infestations causées par les larves de deuxième génération sont faibles vers les côtés Nord (11,07%) et Sud (9,96%) du pommier de la variété Royal gala. Le plus fort taux d'infestation par les larves de deuxième génération est enregistré au côté Ouest (14,10%) du pommier de la variété Royal gala (Figure 51D).

Les infestations causées par les larves de première génération sont faibles vers le côté Nord (5,08%) du pommier de la variété Starking delicious. Le plus fort taux d'infestation par les larves de première génération est enregistré aux côtés Ouest (11,58%) et Est (10,47%) du pommier de la variété Starking delicious (Figure 51A).

Les infestations causées par les larves de deuxième génération sont faibles vers le côté Sud (5,24%) du pommier de la variété Starking delicious. Le plus fort taux d'infestation par les larves de deuxième génération est enregistré au côté Ouest (11,71%) et Est (10,61%) du pommier de la variété Starking delicious (Figure 51D).

Au site d'étude Aït Sebaa, l'infestation par les larves de première génération a été significativement influencée par les points cardinaux (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). Chez la variété Golden delicious, l'infestation par les larves de première génération a été significativement plus faible vers le côté Nord en comparaison avec le côté Est (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Au niveau de la variété Royal gala, l'infestation par les larves de première génération a été significativement plus faible vers le côté Nord en comparaison avec le côté Ouest

(Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Au niveau de la variété Starking delicious, l'infestation par les larves de première génération a été significativement plus faible vers le côté Nord en comparaison avec le côté Ouest (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

Les quatre points cardinaux ont influencé significativement l'infestation par les larves de deuxième génération (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). Chez la variété Golden delicious, l'infestation par les larves de deuxième génération a été significativement plus faible vers le côté Ouest en comparaison avec le côté Sud (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Au niveau de la variété Royal gala, l'infestation par les larves de deuxième génération a été significativement plus faible vers le côté Sud en comparaison avec le côté Ouest (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Chez la variété Starking delicious, l'infestation par les larves de deuxième génération a été significativement plus faible vers le côté Sud en comparaison avec le côté Ouest (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

Au site d'étude Annoceur, Les infestations causées par les larves de première génération sont faibles vers le côté Nord du pommier de la variété Golden delicious (8,05%). Le plus fort taux d'infestation par les larves de première génération est enregistré au côté Sud (12,02%) et côté Est (13,20%) du pommier Golden delicious (Figure 51B).

Les infestations causées par les larves de deuxième génération sont faibles vers le côté Est du pommier Golden delicious (10,55%). Le plus fort taux d'infestation par les larves de deuxième génération est enregistré au côté Sud (14,12%) du pommier Golden delicious (Figure 51E).

Chez la variété Royal gala, les infestations causées par les larves de première génération sont faibles vers le côté Nord (11,16%) du pommier. Le plus fort taux d'infestation par les larves de première génération est enregistré aux côtés Sud (12,04%) et Est (13,04%) du pommier de la variété Royal gala (Figure 51B).

Les infestations causées par les larves de deuxième génération sont faibles vers le côté Nord (10,17%) et le côté Sud (9,89%) du pommier de la variété Royal gala. Le plus fort taux d'infestation par les larves de deuxième génération est enregistré au côté Est (13,36%) du pommier de la variété Royal gala (Figure 51E).

Les infestations causées par les larves de première génération sont faibles vers le côté Nord (6,19%), Sud (7,28%) et Ouest (7,63%) du pommier de la variété Starking delicious. Le

plus fort taux d'infestation par les larves de première génération est enregistré au côté Est (11,19%) du pommier de la variété Starking delicious (Figure 51B).

Les infestations causées par les larves de deuxième génération sont faibles vers le côté Nord (8,22%) et le côté Ouest (7,73%) du pommier de la variété Starking delicious. Le plus fort taux d'infestation par les larves de deuxième génération est enregistré aux côtés Est (9,05%) et Ouest (9,19%) du pommier de la variété Starking delicious (Figure 51E).

Au site d'étude Annoceur, l'infestation par les larves de première génération a été significativement influencée par les points cardinaux (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). Chez la variété Golden delicious, l'infestation par les larves de première génération a été significativement plus faible vers le côté Nord en comparaison avec le côté Est (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Au niveau de la variété Royal gala, l'infestation par les larves de première génération a été significativement plus faible vers le côté Nord en comparaison avec le côté Est (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Au niveau de la variété Starking delicious, l'infestation par les larves de première génération a été significativement plus faible vers le côté Nord en comparaison avec le côté Est (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

L'infestation par les larves de deuxième génération a été significativement influencée par les points cardinaux (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). Chez la variété Golden delicious, l'infestation par les larves de deuxième génération a été significativement plus faible vers le côté Est en comparaison avec le côté Sud (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Au niveau de la variété Royal gala, l'infestation par les larves de deuxième génération a été significativement plus faible vers le côté Sud en comparaison avec le côté Est (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Chez la variété Starking delicious, l'infestation par les larves de deuxième génération a été significativement plus faible vers le côté Ouest en comparaison avec le côté Sud (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

Au site d'étude Midelt, Les infestations causées par les larves de première génération sont faibles vers le côté Nord du pommier de la variété Golden delicious (5,08%). Le plus fort taux d'infestation par les larves de première génération est enregistré au côté Est du pommier Golden delicious (11,19%) (Figure 51C).

Les infestations causées par les larves de deuxième génération sont faibles vers le côté Est du pommier Golden delicious (6,73%). Les plus forts taux d'infestation par les larves de deuxième génération sont enregistrés respectivement aux côtés Nord (10,89%) et Ouest (12,65%) du pommier Golden delicious (Figure 51F).

Chez la variété Royal gala, les infestations causées par les larves de première génération sont faibles vers le côté Est (6,53%) du pommier. Le plus fort taux d'infestation par les larves de première génération est enregistré au côté Sud (9,78%) du pommier de la variété Royal gala (Figure 51C).

Les infestations causées par les larves de deuxième génération sont faibles vers le côté Sud du pommier de la variété Royal gala (2,71%). Le plus fort taux d'infestation par les larves de deuxième génération est enregistré aux côtés Nord (10,16%) et Ouest (10,63%) du pommier de la variété Royal gala (Figure 51F).

Les infestations causées par les larves de première génération sont faibles vers le côté Nord (6,12%) du pommier de la variété Starking delicious. Le plus fort taux d'infestation par les larves de première génération est enregistré au côté Sud (7,72%) du pommier de la variété Starking delicious (Figure 51C).

Les infestations causées par les larves de deuxième génération sont faibles vers le côté Nord (4,70%) du pommier de la variété Starking delicious. Le plus fort taux d'infestation par les larves de deuxième génération est enregistré aux côtés Nord (10,25%) et Est (9,28%) du pommier de la variété Starking delicious (Figure 51F).

Au site d'étude Midelt, l'infestation par les larves de première génération a été significativement influencée par le niveau du pommier (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). Chez la variété Golden delicious, l'infestation par les larves de première génération a été significativement plus faible vers le côté Nord en comparaison avec le côté Est (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Au niveau de la variété Royal gala, l'infestation par les larves de première génération a été significativement plus faible vers le côté Est en comparaison avec le côté Sud (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Au niveau de la variété Starking delicious, l'infestation par les larves de première génération a été significativement plus faible vers le côté Nord en comparaison avec le côté Sud (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

L'infestation par les larves de deuxième génération a été significativement influencée par les points cardinaux (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). Chez la variété Golden delicious, l'infestation par les larves de deuxième génération a été significativement plus faible vers le côté Est en comparaison avec le côté Ouest (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Au niveau de la variété Royal gala, l'infestation par les larves de deuxième génération a été significativement plus faible vers le côté Sud en comparaison avec le côté Ouest (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Chez la variété Starking delicious, l'infestation par les larves de deuxième génération a été

significativement plus faible vers le côté Sud en comparaison avec le côté Nord (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

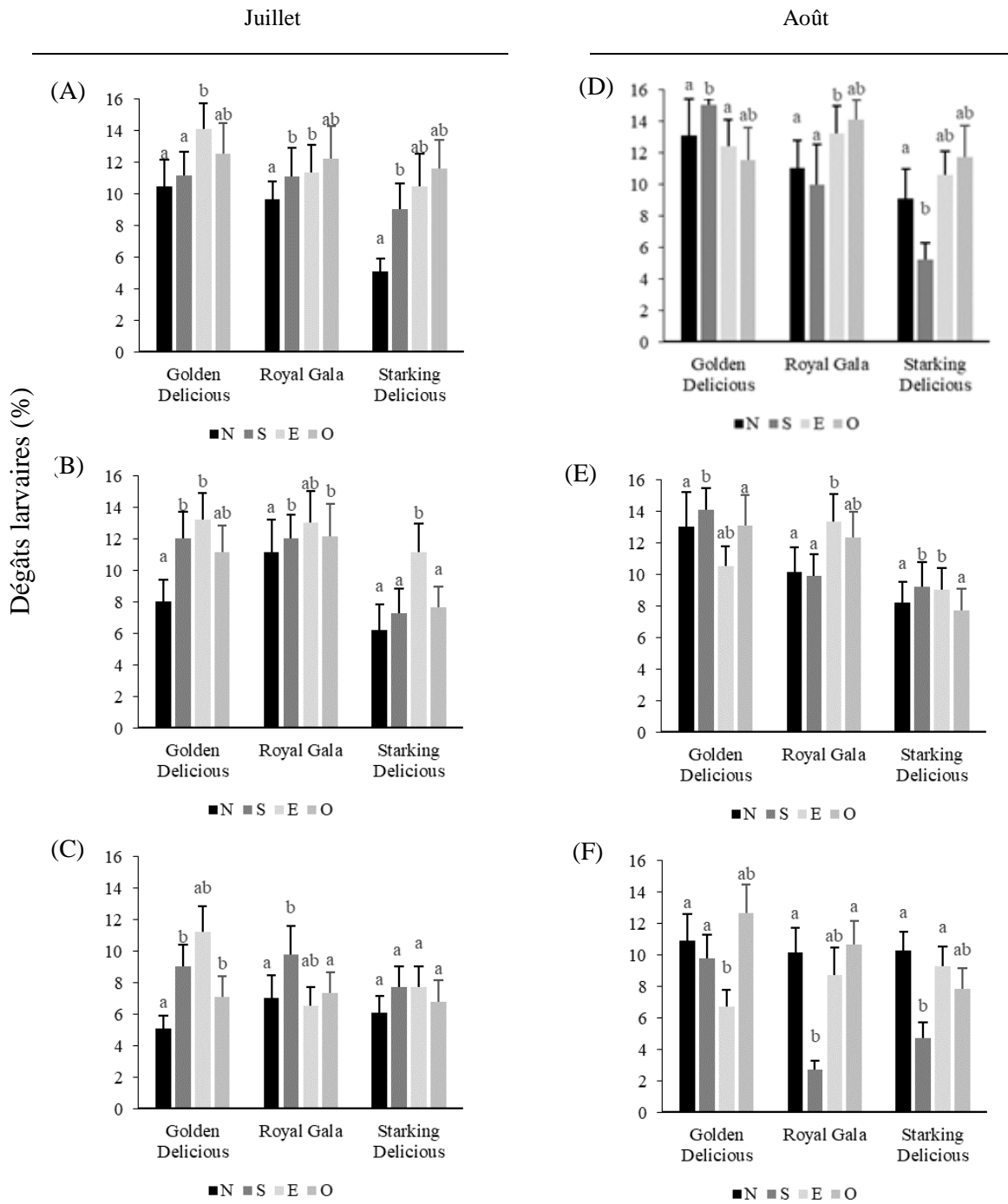


Figure 51. Effet des points cardinaux (N, Nord; S, Sud; E, Est; O, Ouest) sur l'infestation des variétés de pommes (Golden delicious; Royal gala; Starking delicious) par *C. pomonella* en Juillet (larves de première génération) et en Août (larves de deuxième génération) en 2015 au niveau des sites Aït Sebaa (A, D), Annoceur (B, E) et Midelt (C, F). Le pourcentage de dégâts larvaires a été calculé selon le nombre de pommes dénombrées au niveau du site étudié. Les lettres a, b indiquent les différences significatives des infestations larvaires ( $p \leq 0,05$ ; ANOVA, test Bonferroni post hoc). Les barres d'erreurs correspondent à l'erreur standard de la moyenne. Les moyennes de 30 mesures sont présentées.

## 2.4. Effet du niveau du pommier sur l'infestation

En 2014, Au site d'étude Aït Sebaa et chez la variété Golden delicious, les infestations causées par les larves de première génération sont faibles vers le niveau Moyen du pommier (7,41%). Le plus fort taux d'infestation par les larves de première génération est enregistré au niveau Moyen du pommier Golden delicious (13,12%) (Figure 52A).

Les infestations causées par les larves de deuxième génération sont faibles vers le niveau Bas du pommier de la variété Golden delicious (8,32%). Les plus forts taux d'infestation par les larves de deuxième génération sont enregistrés aux niveaux Haut (14,22%) et Moyen (14,03%) du pommier de la variété Golden delicious (Figure 52D).

Les infestations causées par les larves de première génération sont faibles vers le niveau Haut du pommier de la variété Royal gala (9,52%). Les plus forts taux d'infestation par les larves de première génération sont enregistrés aux niveaux Moyen (13,07%) et Bas (11,65%) du pommier de la variété Royal gala (Figure 52A).

Les infestations causées par les larves de deuxième génération sont faibles vers les niveaux Bas (12,24%) et Haut (13,22%) du pommier de la variété Royal gala. Le plus fort taux d'infestation par les larves de deuxième génération est enregistré au niveaux Moyen (14,13%) du pommier de la variété Royal gala (Figure 52D).

Les larves de première génération attaquent faiblement le pommier de la variété Starking delicious vers son niveau Haut (4,35%). Les plus forts taux d'infestation par les larves de première génération sont enregistrés aux niveaux Moyen (8,04%) et Bas (6,29%) du pommier de la variété Starking delicious (Figure 52A).

Les infestations causées par les larves de deuxième génération sont faibles vers le niveau Haut du pommier de la variété Starking delicious (8,32%). Les plus forts taux d'infestation par les larves de deuxième génération sont enregistrés aux niveaux Moyen (10,21%) et Bas (9,05%) du pommier de la variété Starking delicious (Figure 52D).

Au site d'étude Aït Sebaa, l'infestation par les larves de première génération a été significativement influencée par le niveau du pommier (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). Chez la variété Golden delicious, l'infestation par les larves de première génération a été significativement plus faible vers le niveau Bas en comparaison avec le niveau Moyen (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Au niveau de la variété Royal gala, l'infestation par les larves de première génération a été significativement plus faible vers le niveau Haut en comparaison

avec le niveau Moyen (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Au niveau de la variété Starking delicious, l'infestation par les larves de première génération a été significativement plus faible vers le niveau Haut en comparaison avec le niveau Moyen (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). L'infestation par les larves de deuxième génération a été significativement influencée par le niveau du pommier (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). Chez la variété Golden delicious, l'infestation par les larves de deuxième génération a été significativement plus faible vers le niveau Bas en comparaison avec le niveau Haut (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Au niveau de la variété Royal gala, l'infestation par les larves de deuxième génération a été significativement plus faible vers le niveau Bas en comparaison avec le niveau Moyen (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Au niveau de la variété Starking delicious, l'infestation par les larves de deuxième génération a été significativement plus faible vers le niveau Haut en comparaison avec le niveau Moyen (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

Au site d'étude Annoceur, les infestations causées par les larves de première génération sont faibles vers le niveau Haut du pommier de la variété Golden delicious (7,83%). Le plus fort taux d'infestation par les larves de première génération est enregistré au niveau Moyen du pommier de la variété Golden delicious (14,13%) (Figure 52B).

Les infestations causées par les larves de deuxième génération sont faibles vers le niveau bas du pommier de la variété Golden delicious (7,67%). Les plus forts taux d'infestation par les larves de deuxième génération sont enregistrés aux niveaux Haut (14,32%) et Moyen (13,70%) du pommier de la variété Golden delicious (Figure 52E).

Chez la variété Royal gala, les infestations causées par les larves de première génération sont faibles vers le niveau Bas du pommier (6,28%). Le plus fort taux d'infestation par les larves de première génération est enregistré vers le niveau Moyen (11,26%) du pommier (Figure 52B).

Les infestations causées par les larves de deuxième génération sont faibles vers le niveau Bas (10,55%) du pommier. Les plus forts taux d'infestation par les larves de deuxième génération sont enregistrés aux niveaux Moyen (14,81%) et Haut (13,89%) du pommier (Figure 52E).

La variété Starking delicious a connu des infestations causées par les larves de première génération de faible taux vers le niveau haut du pommier (3,66%). Les plus forts taux d'infestation par les larves de première génération sont enregistrés aux niveaux Moyen (9,55%) du pommier (Figure 52B).

Les infestations causées par les larves de deuxième génération sont faibles vers le niveau Haut (7,75%) et niveau Bas (8,05%) du pommier de la variété Starking delicious. Le plus fort taux d'infestation par les larves de deuxième génération est enregistré au niveau Moyen (9,58%) du pommier de la variété Starking delicious (Figure 52E).

Au site d'étude Annoceur, l'infestation par les larves de première génération a été significativement influencée par le niveau du pommier (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). Chez la variété Golden delicious, l'infestation par les larves de première génération a été significativement plus faible vers le niveau Haut en comparaison avec le niveau Moyen (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Au niveau de la variété Royal gala, l'infestation par les larves de première génération a été significativement plus faible vers le niveau Bas en comparaison avec le niveau Moyen (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Au niveau de la variété Starking delicious, l'infestation par les larves de première génération a été significativement plus faible vers le niveau Haut en comparaison avec le niveau Moyen (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

L'infestation par les larves de deuxième génération a été significativement influencée par le niveau du pommier (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). Chez la variété Golden delicious, l'infestation par les larves de deuxième génération a été significativement plus faible vers le niveau Bas en comparaison avec le niveau Haut (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Au niveau de la variété Royal gala, l'infestation par les larves de deuxième génération a été significativement plus faible vers le niveau Bas en comparaison avec le niveau Moyen (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Au niveau de la variété Starking delicious, l'infestation par les larves de deuxième génération a été significativement plus faible vers le niveau Haut en comparaison avec le niveau Moyen (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

A Midelt, les infestations causées par les larves de première génération sont faibles vers le niveau Bas du pommier de la variété Golden delicious (7,43%). Le plus fort taux d'infestation par les larves de première génération est enregistré aux niveaux Moyen (8,45%) et Haut (10,08%) du pommier de la variété Golden delicious (Figure 52C).

Les infestations causées par les larves de deuxième génération sont faibles vers le niveau bas du pommier de la variété Golden delicious (9,51%). Le plus fort taux d'infestation par les larves de deuxième génération est enregistré au niveau Bas (12,25%) du pommier de la variété Golden delicious (Figure 52F).

La variété Royal gala a été moins endommagée par de première génération sont faibles vers le niveau Haut du pommier de (5,23%). Le plus fort taux d'infestation par les larves de

première génération est enregistré vers le niveau Moyen (9,35%) et le niveau Bas (7,37%) du pommier de la variété Royal gala (Figure 52C).

Les infestations causées par les larves de deuxième génération sont faibles vers le niveau Haut (6,57%) du pommier de la variété Royal gala. Les plus forts taux d'infestation par les larves de deuxième génération sont enregistrés aux niveaux Moyen (12,38%) et Bas (9,12%) du pommier de la variété Royal gala (Figure 52F).

Les infestations causées par les larves de première génération sont faibles vers le niveau Haut du pommier de la variété Starking delicious (1,65%). Les plus forts taux d'infestation par les larves de première génération sont enregistrés aux niveaux Moyen (5,74%) et Bas (3,55%) du pommier de la variété Starking delicious (Figure 52C).

Les infestations causées par les larves de deuxième génération sont faibles vers le niveau Moyen (3,06%) du pommier de la variété Starking delicious. Le plus fort taux d'infestation par les larves de deuxième génération est enregistré au niveau Bas (11,52%) du pommier de la variété Starking delicious (Figure 52F).

Au site d'étude Midelt, l'infestation par les larves de première génération a été significativement influencée par le niveau du pommier (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). Chez la variété Golden delicious, l'infestation par les larves de première génération a été significativement plus faible vers le niveau Bas en comparaison avec le niveau Haut (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Au niveau de la variété Royal gala, l'infestation par les larves de première génération a été significativement plus faible vers le niveau Haut en comparaison avec le niveau Moyen (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Au niveau de la variété Starking delicious, l'infestation par les larves de première génération a été significativement plus faible vers le niveau Haut en comparaison avec le niveau Moyen (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

L'infestation par les larves de deuxième génération a été significativement influencée par le niveau du pommier (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). Au niveau de la variété Royal gala, l'infestation par les larves de deuxième génération a été significativement plus faible vers le niveau Haut en comparaison avec le niveau Moyen (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Au niveau de la variété Starking delicious, l'infestation par les larves de deuxième génération a été significativement plus faible vers le niveau Moyen en comparaison avec le niveau Bas (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

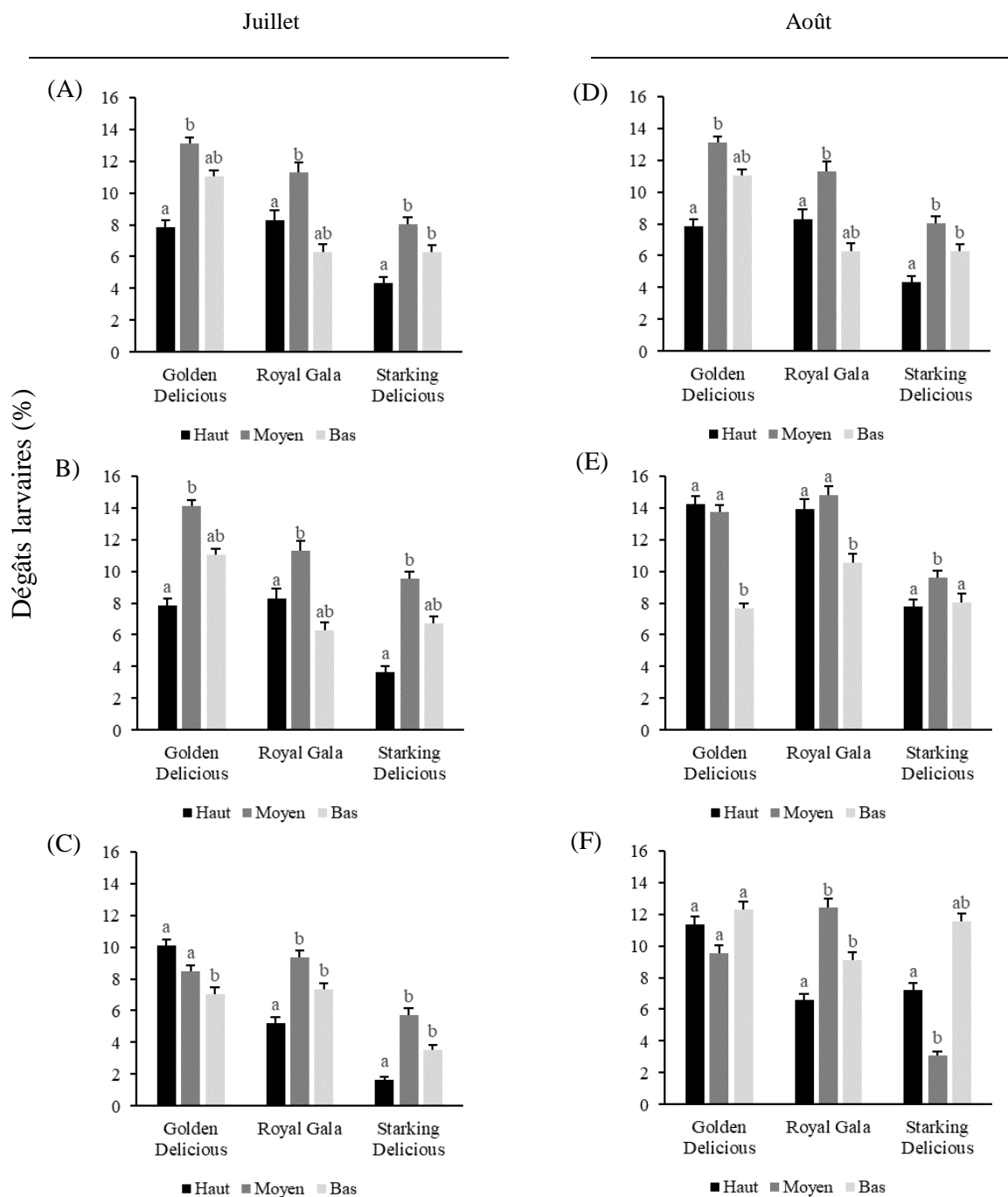


Figure 52. Effet du niveau du pommier (Haut, Moyen, Bas) sur l'infestation des variétés de pommes (Golden delicious; Royal gala; Starking delicious) par *C. pomonella* en Juillet (larves de première génération) et en Août (larves de deuxième génération) en 2014 au niveau des sites Aït Sebaa (A, D), Annoceur (B, E) et Midelt (C, F). Le pourcentage de dégâts larvaires a été calculé selon le nombre de pommes dénombrées au niveau du site étudié. Les lettres a, b indiquent les différences significatives des infestations larvaires ( $p \leq 0,05$ ; ANOVA, test Bonferroni post hoc). Les barres d'erreurs correspondent à l'erreur standard de la moyenne. Les moyennes de 30 mesures sont présentées.

En 2015, Au site d'étude Aït Sebaa et chez la variété Golden delicious, les infestations causées par les larves de première génération sont faibles vers le niveau Haut du pommier (10,52%). Le plus fort taux d'infestation par les larves de première génération est enregistré au niveau Bas du pommier Golden delicious (13,76%) (Figure 53A).

Les infestations causées par les larves de deuxième génération sont faibles vers le niveau Bas du pommier de la variété Golden delicious (10,61%). Le plus fort taux d'infestation par les larves de deuxième génération est enregistré au niveau Moyen (15,04%) du pommier de la variété Golden delicious (Figure 53D).

Les infestations causées par les larves de première génération sont faibles vers le niveau Bas du pommier de la variété Royal gala (9,95%). Le plus fort taux d'infestation par les larves de première génération est enregistré au niveau Moyen (12,02%) du pommier de la variété Royal gala (Figure 53A).

Les infestations causées par les larves de deuxième génération sont faibles vers le niveau Haut (10,14%) du pommier de la variété Royal gala. Le plus fort taux d'infestation par les larves de deuxième génération est enregistré au niveau Moyen (14%) du pommier de la variété Royal gala (Figure 53D).

Les larves de première génération attaquent faiblement le pommier de la variété Starking delicious vers son niveau Bas (6,54%). Le plus fort taux d'infestation par les larves de première génération est enregistré au niveau Moyen (11,08%) du pommier de la variété Starking delicious (Figure 53A).

Les infestations causées par les larves de deuxième génération sont faibles vers le niveau Bas du pommier de la variété Starking delicious (6,52%). Le plus fort taux d'infestation par les larves de deuxième génération est enregistré au niveau Moyen (11,52%) du pommier de la variété Starking delicious (Figure 53D).

Au site d'étude Aït Sebaa, l'infestation par les larves de première génération a été significativement influencée par le niveau du pommier (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). Chez la variété Golden delicious, l'infestation par les larves de première génération a été significativement plus faible vers le niveau Haut en comparaison avec le niveau Bas (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Au niveau de la variété Royal gala, l'infestation par les larves de première génération a été significativement plus faible vers le niveau Bas en comparaison avec le niveau Moyen (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Au niveau de la variété Starking delicious,

l'infestation par les larves de première génération a été significativement plus faible vers le niveau Bas en comparaison avec le niveau Moyen (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

L'infestation par les larves de deuxième génération a été significativement influencée par le niveau du pommier (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). Chez la variété Golden delicious, l'infestation par les larves de deuxième génération a été significativement plus faible vers le niveau Bas en comparaison avec le niveau Moyen (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Au niveau de la variété Royal gala, l'infestation par les larves de deuxième génération a été significativement plus faible vers le niveau Haut en comparaison avec le niveau Moyen (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Au niveau de la variété Starking delicious, l'infestation par les larves de deuxième génération a été significativement plus faible vers le niveau Bas en comparaison avec le niveau Moyen (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

Au site d'étude Annoceur, les infestations causées par les larves de première génération sont faibles vers le niveau Bas du pommier de la variété Golden delicious (9,57%). Le plus fort taux d'infestation par les larves de première génération est enregistré au niveau Moyen du pommier de la variété Golden delicious (13,04%) (Figure 53B).

Les infestations causées par les larves de deuxième génération sont faibles vers le niveau Haut du pommier de la variété Golden delicious (10,84%). Les plus forts taux d'infestation par les larves de deuxième génération sont enregistrés aux niveaux Bas (13,13%) et Moyen (13,58%) du pommier de la variété Golden delicious (Figure 53E).

Chez la variété Royal gala, les infestations causées par les larves de première génération sont faibles vers le niveau Bas du pommier (9,65%). Le plus fort taux d'infestation par les larves de première génération est enregistré vers le niveau Moyen (14,42%) du pommier (Figure 53B).

Les infestations causées par les larves de deuxième génération sont faibles vers le niveau Bas (9,25%) du pommier. Le plus fort taux d'infestation par les larves de deuxième génération est enregistré au niveau Moyen (14%) du pommier (Figure 53E).

La variété Starking delicious est moins attaquée par les larves de première génération vers le niveau Bas du pommier (5,11%). Le plus fort taux d'infestation par les larves de première génération est enregistré au niveau Moyen (11,07%) du pommier (Figure 53B).

Les infestations causées par les larves de deuxième génération sont faibles vers le niveau Bas (7,59%) du pommier de la variété Starking delicious. Le plus fort taux

d'infestation par les larves de deuxième génération est enregistré au niveau Moyen (9,45%) du pommier de la variété Starking delicious (Figure 53E).

Au site d'étude Annoceur, l'infestation par les larves de première génération a été significativement influencée par le niveau du pommier (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). Chez la variété Golden delicious, l'infestation par les larves de première génération a été significativement plus faible vers le niveau Bas en comparaison avec le niveau Moyen (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Au niveau de la variété Royal gala, l'infestation par les larves de première génération a été significativement plus faible vers le niveau Bas en comparaison avec le niveau Moyen (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Au niveau de la variété Starking delicious, l'infestation par les larves de première génération a été significativement plus faible vers le niveau Bas en comparaison avec le niveau Moyen (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

L'infestation par les larves de deuxième génération a été significativement influencée par le niveau du pommier (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). Chez la variété Golden delicious, l'infestation par les larves de deuxième génération a été significativement plus faible vers le niveau Haut en comparaison avec le niveau Moyen (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Au niveau de la variété Royal gala, l'infestation par les larves de deuxième génération a été significativement plus faible vers le niveau Bas en comparaison avec le niveau Moyen (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

A Midelt, les infestations causées par les larves de première génération sont faibles vers le niveau Bas (6,50%) et Haut (7,37%) du pommier de la variété Golden delicious. Le plus fort taux d'infestation par les larves de première génération est enregistré au niveau Moyen (11,30%) du pommier de la variété Golden delicious (Figure 53C).

Les infestations causées par les larves de deuxième génération sont faibles vers le niveau Haut du pommier de la variété Golden delicious (7,04%). Le plus fort taux d'infestation par les larves de deuxième génération est enregistré au niveau Moyen (12,00%) du pommier de la variété Golden delicious (Figure 53F).

La variété Royal gala est moins endommagée par les larves de première génération vers le niveau Haut du pommier (6,30%). Le plus fort taux d'infestation par les larves de première génération est enregistré vers le niveau Bas (8,82%) du pommier de la variété Royal gala (Figure 53C).

Les infestations causées par les larves de deuxième génération sont faibles vers le niveau Bas (4,65%) du pommier de la variété Royal gala. Les plus forts taux d'infestation par les

larves de deuxième génération sont enregistrés au niveau Moyen (10,25%) du pommier de la variété Royal gala (Figure 53F).

Les infestations causées par les larves de première génération sont faibles vers le niveau Bas du pommier de la variété Starking delicious (5,50%). Le plus fort taux d'infestation par les larves de première génération est enregistré au niveau Moyen (9,28%) du pommier de la variété Starking delicious (Figure 53C).

Les infestations causées par les larves de deuxième génération sont faibles vers le niveau Moyen (6,37%) du pommier de la variété Starking delicious. Le plus fort taux d'infestation par les larves de deuxième génération est enregistré au niveau Bas (10,07%) du pommier de la variété Starking delicious (Figure 53F).

Au site d'étude Midelt, l'infestation par les larves de première génération a été significativement influencée par le niveau du pommier (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). Chez la variété Golden delicious, l'infestation par les larves de première génération a été significativement plus faible vers le niveau Bas en comparaison avec le niveau Moyen (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Au niveau de la variété Royal gala, l'infestation par les larves de première génération a été significativement plus faible vers le niveau Haut en comparaison avec le niveau Bas (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Au niveau de la variété Starking delicious, l'infestation par les larves de première génération a été significativement plus faible vers le niveau Bas en comparaison avec le niveau Moyen (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

L'infestation par les larves de deuxième génération a été significativement influencée par le niveau du pommier (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ). Chez la variété Golden delicious, l'infestation par les larves de deuxième génération a été significativement plus faible vers le niveau Haut en comparaison avec le niveau Moyen (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Au niveau de la variété Royal gala, l'infestation par les larves de deuxième génération a été significativement plus faible vers le niveau Bas en comparaison avec le niveau Moyen (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Au niveau de la variété Starking delicious, l'infestation par les larves de deuxième génération a été significativement plus faible vers le niveau Moyen en comparaison avec le niveau Bas (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

Cette étude montre que la distribution des dégâts des larves de carpocapse varie significativement entre les points cardinaux (N, Nord; S, Sud; E, Est; O, Ouest) et le niveau du pommier (Haut, Moyen, Bas). Chez les variétés de pommes Golden delicious, Royal gala et Starking delicious, le côté Nord de l'arbre est généralement moins infesté que

les côtés Sud ou Est. Aussi, les pommes au niveau Moyen du pommier sont les plus endommagées. D'après nos résultats, l'infestation des pommes par les larves de carpocapse est non homogène selon les points cardinaux et le niveau du pommier.

Ces résultats suggèrent que le comportement de ponte des femelles de carpocapse n'est pas aléatoire vis-à-vis de leurs plantes hôtes. En fait, le site de ponte et le site d'infestation semblent similaires selon une étude antérieure (Geier, 1963). Cette étude conclue que les larves de carpocapse évitent le côté Nord du pommier. Nos résultats soutiennent les résultats rapportés dans d'autres études que les femelles préfèrent pondre sur une partie déterminée du pommier (Blomefield et Sadie, 1997; Glen, 1977) et contredisent en partie l'observation selon laquelle l'infestation des pommes est distribuée au hasard dans les deux ou trois générations de carpocapse observées (Blago et Dickler, 1990; Geier, 1963).

En ce qui concerne la distribution des dégâts larvaires selon le niveau du pommier, plusieurs études prétendent que le comportement de ponte est orienté de préférence vers le niveau Haut du pommier (Jackson, 1979; Wood, 1965). Cependant, la plupart de ces études relatives à la distribution des dégâts larvaires selon le niveau du pommier n'ont pas pris en considération le niveau Moyen du pommier. Notre étude a été basé sur trois niveaux du pommier et a révélé que la partie moyenne est la plus infestée. Les résultats de l'infestation par les larves de carpocapse au niveau des vergers ont été plus faible au côté Nord des pommiers par rapport au côté Sud ou Est validant ainsi les résultats d'une autre étude au laboratoire qui conclue que le carpocapse évite de pondre au niveau des microhabitats a températures basses (Kühr et *al.*, 2006).

Nos données suggèrent que les différentes parties de l'arbre varient par leur niveau d'attraction au carpocapse. Une augmentation de l'activité de carpocapse vers le niveau moyen de l'arbre en évitant le côté Nord a déjà été mise en évidence chez plusieurs variétés de pommier (Blomefield et Sadie, 1997). Ceci est maintenant confirmée statistiquement par notre étude qui concerne les trois variétés les plus cultivées au Maroc réparties entre des altitudes variables.

Les avancées de connaissances sur la dynamique des larves de carpocapse sont très importantes pour améliorer les méthodes d'estimation du risque d'infestation ainsi que la mise au point de méthodes de lutte alternatives. Nos résultats sur trois variétés différentes de pomme réparties sur trois régions à altitude différente suggèrent que les larves de carpocapse évitent le côté Nord tout au long de la saison. Les différences observées dans

les valeurs moyennes entre l'infestation au niveau des quatre points cardinaux ont été significatives dans la première et la deuxième génération de carpocapse.

Ces résultats fournissent des données de base pour une orientation optimale de l'utilisation des insecticides au niveau des pommiers. Pour lutter efficacement et de manière fiable contre les larves de carpocapse en verger, nous recommandons d'appliquer moins de traitements insecticides vers le côté Nord lors des périodes de traitement contre ce ravageur ainsi que pour le positionnement des pièges. Enfin, nos données indiquent que le niveau moyen du pommier nécessite une attention particulière pendant la campagne de lutte au verger.

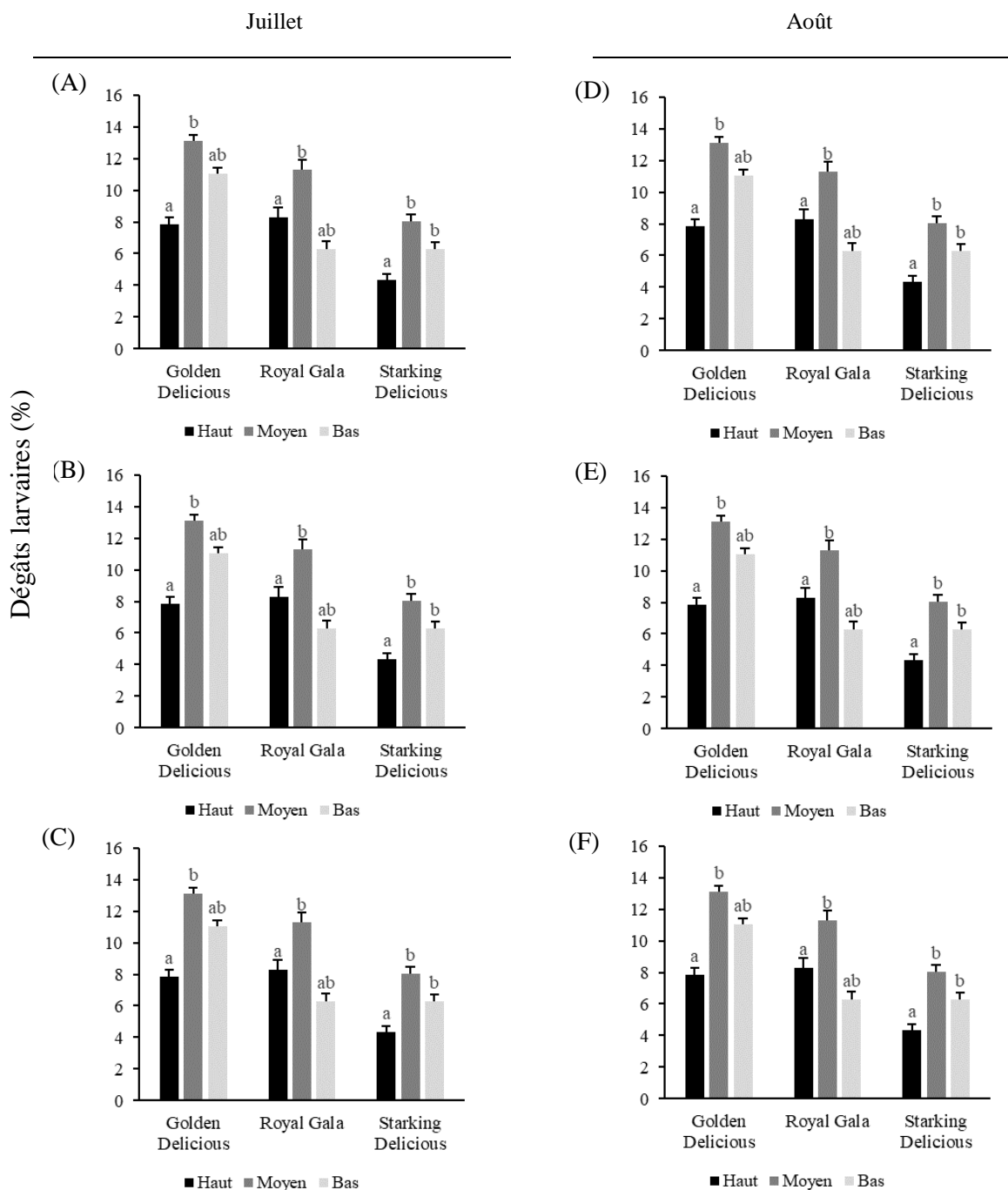


Figure 53. Effet du niveau du pommier (Haut, Moyen, Bas) sur l'infestation des variétés de pommes (Golden delicious; Royal gala; Starking delicious) par *C. pomonella* en Juillet (larves de première génération) et en Août (larves de deuxième génération) en 2015 au niveau des sites Aït Sebaa (A, D), Annoceur (B, E) et Midelt (C, F). Le pourcentage de dégâts larvaires a été calculé selon le nombre de pommes dénombrées au niveau du site étudié. Les lettres a, b indiquent les différences significatives des infestations larvaires ( $p \leq 0,05$ ; ANOVA, test Bonferroni post hoc). Les barres d'erreurs correspondent à l'erreur standard de la moyenne. Les moyennes de 30 mesures sont présentées.

### 3. Lutte contre les larves de carpocapse

#### 3.1. Caractérisation des plantes aromatiques et médicinales utilisées

##### 3.1.1. Dosage des polyphénols totaux et des flavonoïdes

L'étude quantitative des extraits bruts, préparés à partir des plantes Menthe pouliot (*Mentha pulegium*. L.), Lavande officinale (*Lavandula officinalis* L.) et Cyprès vert (*Cupressus sempervirens* L.) au moyen des dosages spectrophotométriques avaient pour objectif la détermination de la teneur des polyphénols totaux et des flavonoïdes. Ces deux composés végétaux sont connus par leurs effets insecticides et/ou répulsifs (Echeverri et *al.*, 1991; Echeverri et Suarez, 1989; Mäntylä et *al.*, 2004; Pavela, 2004; Regnault-Roger et *al.*, 2004; Simmonds et *al.*, 1990).

Les quantités des polyphénols et des flavonoïdes correspondantes ont été rapportées en microgramme d'équivalents de l'étalon utilisé par milligramme d'extrait ( $\mu\text{g EE/mg}$  d'extrait) et déterminés par l'équation de type :  $y = a x + b$ .

Le dosage des polyphénols totaux a été effectué selon la méthode au réactif de Folin Ciocalteu (Singleton et *al.*, 1999). L'acide gallique a été utilisé comme étalon. Le dosage des flavonoïdes a été réalisé selon la méthode au trichlorure d'aluminium (Chang et *al.*, 2002) et l'étalon a été la quercétine. Les résultats sont représentés dans le tableau 2.

Tableau 2. Teneurs en polyphénols totaux et en flavonoïdes dans les extrais aqueux des plantes : Menthe pouliot (*Mentha pulegium* L.), Lavande officinale (*Lavandula officinalis* L.) et Cyprès vert (*Cupressus sempervirens* L.).

Plante	Teneur en polyphénols ( $\mu\text{g EqAG/ml}$ )	Teneur en flavonoïdes ( $\mu\text{g EqQ/ml}$ )
Menthe pouliot ( <i>Mentha pulegium</i> . L.)	316,4	31
Lavande officinale ( <i>Lavandula officinalis</i> L.)	209,8	46
Cyprès vert ( <i>Cupressus sempervirens</i> L.)	132,8	40

Les résultats du dosage des polyphénols montrent que les extraits de *Mentha pulegium* L. sont les plus riches en polyphénols, dont la valeur est de 316,4 µg EqAG/ml suivi par *Lavandula officinalis* L. (209,8 µg EqAG/ml). La plus faible teneur en polyphénols (132,8 µg EqAG/ml) est observée dans le cas d'extrait de *Cupressus sempervirens* L.

L'extrait de *Lavandula officinalis* L. est le plus riche en flavonoïdes avec une teneur de (46 µg EqQ/ml), suivi par l'extrait méthanolique de *Cupressus sempervirens* L. (40 µg EqQ/ml). Cependant, *Mentha pulegium* L. contient la plus faible teneur en flavonoïdes : 31 µg EqQ/ml.

Ghazghazia et al. (2013) ont trouvé que les extraits de *Mentha pulegium* présentent les taux les plus faibles en polyphénols et en flavonoïdes en comparaison avec les extraits de *Ruta chalepensis*, *Marrubium vulgare* et *Teucrium polium*. *Mentha pulegium* a également eu des taux de polyphénols et flavonoïdes plus faibles que ceux présent chez *Mentha longifolia* (Hajlaoui et al., 2009).

*Lavandula officinalis* a montré les taux les plus importants en flavonoïdes en comparaison avec les extraits de plantes *Cymbopogon citratus*, *Thymus vulgaris*, *Melissa officinalis* et les Teneurs les plus forts en phénols totaux après ceux présenté par les extraits de *Melissa officinalis* (Kasmi et al., 2017).

### 3.1.2. Caractérisation par HPLC

Les chromatogrammes de l'analyse HPLC des trois plantes aromatiques étudiées sont présentés dans la figure 54. Les Temps de rétention leurs polyphénols/Flavonoïdes identifiés par cette analyse sont présentés dans le tableau 3.

L'HPLC a permis d'identifier quatre polyphénols/Flavonoïdes dans les extraits de *Mentha pulegium*, à savoir : l'Acide férulique (0,26 mg/ml), l'Acide coumarique, l'Acide gallique (9,49 mg/ml) et la Quercétine. Leurs temps de rétention sont respectivement : 13,46 min, 13,91 min, 15,24 min et 34,45 min.

Dorman et al. (2003) ont trouvé que les teneurs en acide gallique chez *M. pulegium* variaient entre 128,1 et 230,8 mg par g d'échantillon suivant les méthodes d'extraction. L'extraction des composés phénoliques de *M. pulegium* à l'eau chaude est la plus efficace (Teixeira et al., 2012). En revanche, Ramos-Guerra et al. (2007) ont observé que le

contenu phénolique total de *M. pulegium* est plus élevé dans l'extrait éthanolique que dans l'extrait d'eau chaude.

Dorman et *al.* (2003) et Fatiha et *al.* (2015) ont rapporté que l'acide rosmarinique est le composé phénolique majoritaire chez les espèces appartenant au genre *Mentha*. D'autres résultats ont révélé une relation directe entre l'effet antioxydant et l'acide rosmarinique (Brahmi et *al.*, 2013).

Dans l'extrait de *Lavandula officinalis*, cinq composés polyphénoliques ont été identifiés dont l'Acide caféique (0,004 mg/ml), l'Acide coumarique (0,4 mg/ml), l'Epicatechine (1,56 mg/ml), l'Acide gallique (1,16mg/ml) et le Quercétine (0,63mg/ml). Ils présentent respectivement les temps de rétention suivants : 11,62 min, 13,96 min, 14,58 min, 15 min et 34,37 min.

Les espèces appartenant au genre *Lavandula* présentent des taux majoritaires d'acide coumarique et d'acide sinapique (Duda et *al.*, 2015). Blažeković et *al.* (2010) ont identifié les acides caffeic, rosmarinique et férulique dans l'extrait des feuilles de la lavande.

L'analyse HPLC de l'extrait aqueux de *Cupressus sempervirens* a révélé la présence de quatre polyphénols qui sont : l'Acide férulique (0,039 mg/ml), l'Epicatechine (0,133 mg/ml), l'Epicatechine gallate (0,09 mg/ml) et Quercétine (0,96 mg/ml) dont les temps de rétention sont 12,71 min, 14,81 min, 16,78 min et 34,42 min respectivement. *C. sempervirens* est riche en flavonoïdes (rutine, quercitrine, quercétine et myricétine) (Harborne et Mabry, 1982), en composés phénoliques (anthocyanidine, catechines flavones, flavonols et isoflavones) (Ibrahim et *al.*, 2007) et tannins (acide ellagique, acide gallique, phényl isopropanoïdes, acide caffeique, acide coumarique, acide férulique) (Al-Snafi, 2016; Ali et *al.*, 2010). L'huile essentielle *C. sempervirens* contient 49 composants dont l' $\alpha$ -pinène (48,2%) et 3-carène (19,1%) comme composés majoritaires (Kassem et *al.*, 1991).

Luximon-Ramma et *al.* (2002) ont montré une corrélation linéaire entre l'activité antioxydante et le contenu phénolique des extraits végétaux. Également, Joshi et *al.* (2008) ont montré une puissante activité antioxydante chez les terpénoïdes. Les différences observées entre les résultats obtenus dans cette étude et celles rapportées par les auteurs précédents pourraient être liées à la durée de la procédure d'extraction, et/ou aux caractéristiques intrinsèques des plantes, comme l'origine et la saison (Mata et *al.*, 2007).



Tableau 3. Temps de rétention (TR) et concentration des différents polyphénols obtenus par la technique de séparation HPLC dans les extraits aqueux des plantes : Menthe pouliot (*Mentha pulegium* L.), Lavande officinale (*Lavandula officinalis* L.) et Cyprès vert (*Cupressus sempervirens* L.).

Extraits de Plantes	Composé identifié	Concentration (mg/ml)	TR (min)
<i>Mentha pulegium</i> L.	Acide férulique	0,26	13,46
	Acide coumarique	7,95	13,91
	Acide gallique	9,49	15,24
	Quercétine	1,76	34,45
<i>Lavandula officinalis</i> L.	Acide caféique	0,004	11,62
	Acide coumarique	0,4	13,96
	Epicatechine	1,56	14,58
	Acide gallique	1,16	15
	Quercétine	0,63	34,37
<i>Cupressus sempervirens</i> L.	Acide férulique	0,039	12,71
	Epicatechine	0,133	14,81
	Epicatechine gallate	0,09	16,78
	Quercétine	0,96	34,42

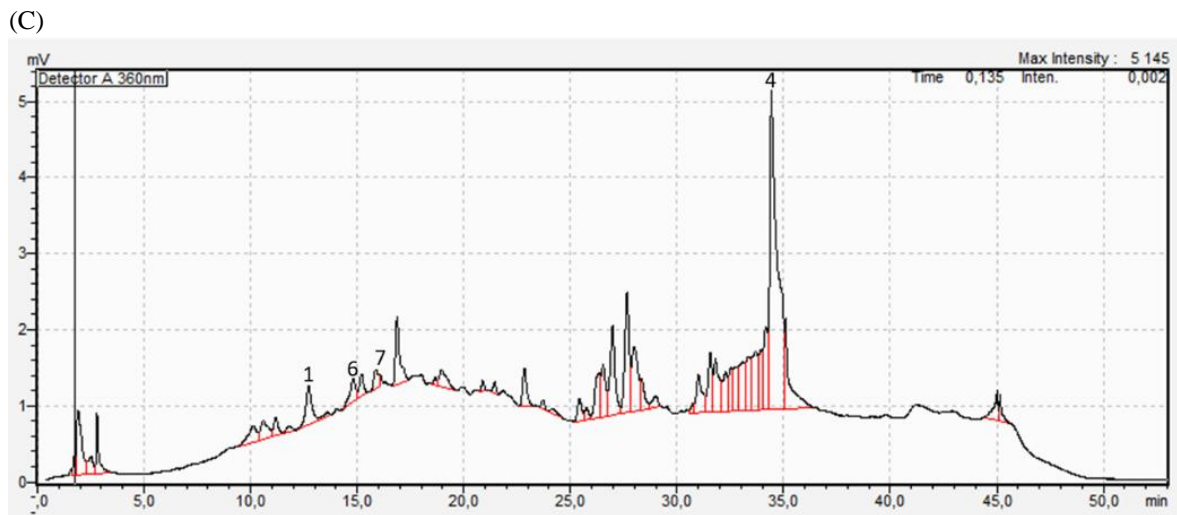
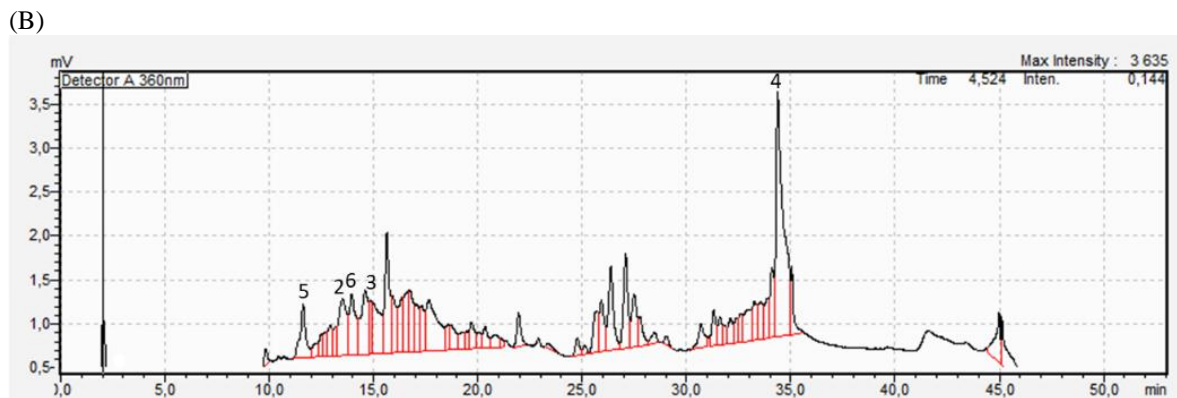
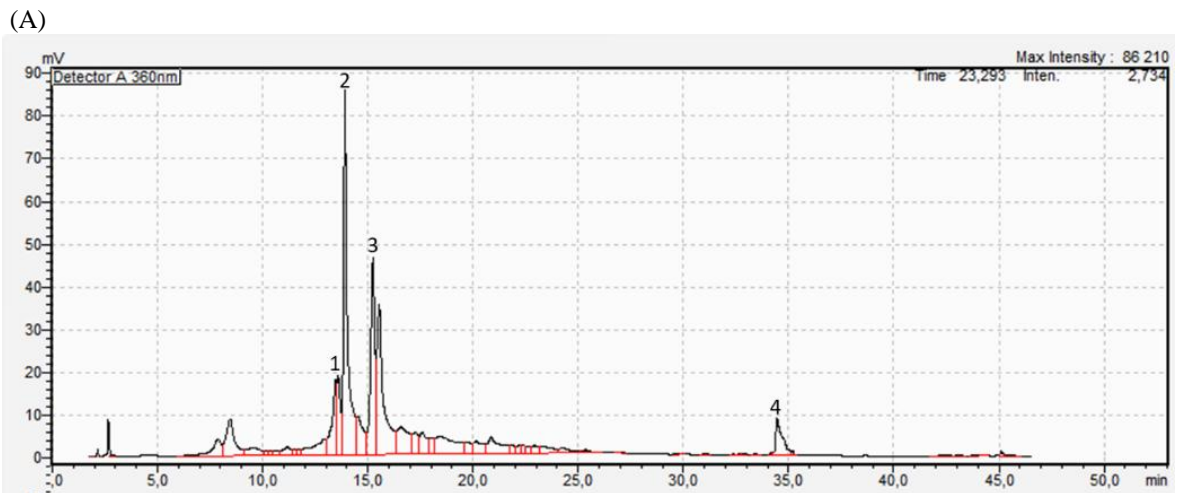


Figure 54. Chromatogrammes d'HPLC des extraits aqueux de *Mentha pulegium* (A), *Lavandula officinalis* (B) et *Cupressus sempervirens* (C).

1. Acide férulique; 2. Acide coumarique; 3. Acide gallique; 4. Quercétine; 5. Acide caféique; 6. Epicatechine; 7. Epicatechine gallate

### 3.2. Lutte contre les larves de carpocapse *in vitro*

A la concentration 2g/l, 10 larves sur 22 ont infesté les pommes traitées par l'extrait de *Mentha pulegium*. 7 larves sur 21 ont attaqué les pommes traitées par l'extrait de *Lavandula officinalis* et 8 larves sur 22 ont pénétré les pommes traitées par l'extrait de *Cupressus sempervirens* (test de Fisher ;  $P > 0,05$ ) (Tableau 4).

Tableau 4. Effet répulsif de 2g/l des extraits des plantes *Mentha pulegium*, *Lavandula officinalis* et *Cupressus sempervirens* sur les larves de carpocapse.

Extraits de Plantes	Nombre de larves testées	Nombre de larves ayant consommé les pommes traitées
<i>Mentha pulegium</i> L.	22	10
<i>Lavandula officinalis</i> L.	21	7
<i>Cupressus sempervirens</i> L.	15	8

\*test de Fisher ;  $P \leq 0,05$

A la concentration 4g/l, 8 larves sur 21 ont attaqué les pommes traitées par l'extrait de *Mentha pulegium*. 4 larves sur 18 ont consommé les pommes traitées par l'extrait de *Lavandula officinalis* et 8 larves sur 25 ont endommagé les pommes traitées par l'extrait de *Cupressus sempervirens* (test de Fisher ;  $P > 0,05$ ) (Tableau 5).

Tableau 5. Effet répulsif de 4g/l des extraits des plantes *Mentha pulegium*, *Lavandula officinalis* et *Cupressus sempervirens* sur les larves de carpocapse.

Extraits de Plantes	Nombre de larves testées	Nombre de larves ayant consommé les pommes traitées
<i>Mentha pulegium</i> L.	21	8
<i>Lavandula officinalis</i> L.	18	4
<i>Cupressus sempervirens</i> L.	25	8

\*test de Fisher ;  $P \leq 0,05$

A la concentration 6g/l, 7 larves sur 19 ont pénétré les pommes traitées par l'extrait de *Mentha pulegium*. 4 larves sur 18 ont consommé les pommes traitées par l'extrait de *Lavandula officinalis* et 4 larves sur 17 ont attaqué les pommes traitées par l'extrait de *Cupressus sempervirens* (test de Fisher ;  $P > 0,05$ ) (Tableau 6).

Tableau 6. Effet répulsif de 6g/l des extraits des plantes *Mentha pulegium*, *Lavandula officinalis* et *Cupressus sempervirens* sur les larves de carpocapse.

Extraits de Plantes	Nombre de larves testées	Nombre de larves ayant consommé les pommes traitées
<i>Mentha pulegium</i> L.	19	7
<i>Lavandula officinalis</i> L.	18	4
<i>Cupressus sempervirens</i> L.	17	4

\*test de Fisher ;  $P \leq 0,05$

A la concentration 8g/l, 4 larves sur 18 ont endommagé les pommes traitées par l'extrait de *Mentha pulegium*. 2 larves sur 20 ont consommé les pommes traitées par l'extrait de *Lavandula officinalis* et 2 larves sur 21 ont causé des dégâts aux pommes traitées par l'extrait de *Cupressus sempervirens* (test de Fisher ;  $P \leq 0,05$ ) (Tableau 7).

Tableau 7. Effet répulsif de 8g/l des extraits des plantes *Mentha pulegium*, *Lavandula officinalis* et *Cupressus sempervirens* sur les larves de carpocapse.

Extraits de Plantes	Nombre de larves testées	Nombre de larves ayant consommé les pommes traitées
<i>Mentha pulegium</i> L.	18	4
<i>Lavandula officinalis</i> L.	20	2*
<i>Cupressus sempervirens</i> L.	21	2*

\*test de Fisher ;  $P \leq 0,05$

A la concentration 10g/l, 1 larves sur 17 ont attaqué les pommes traitées par l'extrait de *Mentha pulegium*. 1 larves sur 22 ont pénétré les pommes traitées par l'extrait de *Lavandula officinalis* et 1 larves sur 24 ont consommé les pommes traitées par l'extrait de *Cupressus sempervirens* (test de Fisher ;  $P \leq 0,05$ ) (Tableau 8).

Tableau 8. Effet répulsif de 10g/l des extraits des plantes *Mentha pulegium*, *Lavandula officinalis* et *Cupressus sempervirens* sur les larves de carpocapse.

Extraits de Plantes	Nombre de larves testées	Nombre de larves ayant consommé les pommes traitées
<i>Mentha pulegium</i> L.	17	1*
<i>Lavandula officinalis</i> L.	22	1*
<i>Cupressus sempervirens</i> L.	24	1*

\*test de Fisher ;  $P \leq 0,05$

Secoy et Smith (1983) indiquent que les extraits de *Cupressus sempervirens* L., *Lavandula officinalis* L. et *Mentha pulegium* L. ont des effets répulsifs sur les insectes. Cependant, les informations sur l'activité répulsif de ces plantes aromatiques sur les larves de carpocapse sont rares dans la littérature, mais ce qui existe fournit des preuves de soutien indirect. Les larves de *Cydia pomonella* L. évitent les pommes traitées par 10g/l d'extraits de *Ginkgo biloba* L. (Durden et al., 2008; Pszczolkowski et al., 2011). En outre, les extraits d'*Artemisia arborescens* (10g/l) empêchent l'infestation des pommes par les larves de carpocapse (Creed et al., 2015; Durden et al., 2008). Suomi et al. (1986) ont trouvé que les extraits d'*Artemisia absinthium* L., *Chrysothamnus nauseosa* Pallas et *Tanacetum vulgare* L. à la concentration de 10g/l ont un effet dissuasif sur les larves de carpocapse.

L'efficacité de l'effet répulsif ou insecticide de l'extrait de plantes dépend largement du solvant d'extraction. Le solvant a une influence directe sur l'activité de l'extrait végétal en permettant l'extraction des composantes incluses dans les différents organes de plantes présentant des activités contre les insectes (Kumar et al., 2011). L'effet de différents solvants (50% de méthanol, d'acétone et d'hexane) sur l'activité de l'extrait des plantes du genre *Mentha* contre les larves et les nymphes du coléoptère ravageur *Tribolium castaneum* a été étudié par Pascual-Villalobos et Robledo (1998).

L'extraction par l'hexane a donné l'activité répulsive maximale contre les larves. La différence dans l'activité répulsive des extraits des plantes contre les insectes selon les différents solvants utilisés pourrait être attribuée à la polarité du solvant. En effet, un solvant peut être de polarité élevée (méthanol), de polarité moyenne (acétone) ou apolaire (hexane). Cetin et al. (2006) ont rapporté une grande efficacité de l'extrait éthanolique de *Mentha longifolia* L. (LC50—26.8 ppm) et de *Mentha pulegium* L. (CL50 — 81,0 ppm) contre les larves du Moustique *Culex pipiens*. Clemente et al. (2003) ont comparé l'effet

insecticide de l'extraction par infusion et par le solvant organique Dichlorométhane chez cinq espèces de Lamiacée contre les larves de *Tribolium castaneum*. L'extraction par le dichlorométhane de l'espèce *Mentha rotundifolia* L. est plus efficace en causant une mortalité d'environ 74%, alors que l'infusions n'a causé qu'environ 19% de mortalité larvaire. Ces résultats montrent que le solvant organique est largement meilleur que l'eau pour extraire les métabolites à l'activité biologique.

### **3.3. Lutte contre les larves de carpocapse *in vivo***

Les extraits aqueux de la Menthe pouliot (*Mentha pulegium* L.), du Cyprès vert (*Cupressus sempervirens* L.) et de la Lavande officinale (*Lavandula officinalis* L.) ont diminué l'infestation par les larves de *Cydia pomonella* L. de première génération (Figure 55).

Chez les arbres traités par les extraits de la Menthe pouliot, le taux d'infestation larvaire a été plus faible chez les arbres traités par les extraits de la Menthe pouliot à 300g/l (2,75%) en comparaison avec ceux traités par les extraits de la Menthe pouliot à 200g/l (4,02%). Le pourcentage d'infestation larvaire le plus élevé a été enregistré chez les arbres traités par les extraits de la Menthe pouliot à 100g/l (5,5%).

Chez les arbres traités par les extraits du Cyprès vert, le taux d'infestation larvaire a été plus faible chez les arbres traités par les extraits du Cyprès vert à 300g/l (1,77%) en comparaison avec ceux traités par les extraits du Cyprès vert à 200g/l (2,62%). Le pourcentage d'infestation larvaire le plus élevé a été enregistré chez les arbres traités par les extraits du Cyprès vert à 100g/l (3,17%).

Chez les arbres traités par les extraits de la Lavande officinale, le taux d'infestation larvaire a été plus faible chez les arbres traités par les extraits de la Lavande officinale à 300g/l (1,39%) en comparaison avec ceux traités par les extraits de la Lavande officinale à 200g/l (2,23%). Le pourcentage d'infestation larvaire le plus élevé a été enregistré chez les arbres traités par les extraits de la Lavande officinale à 100g/l (2,76%). Le taux d'infestation larvaire chez les arbres témoins a été de 5,93%.

L'infestation par les larves de première génération (Juillet) a été significativement influencée par les concentrations des extraits aqueux des plantes étudiées (ANOVA;  $P \leq 0,05$ ).

Chez les arbres traités par les extraits de la Menthe pouliot, l'infestation par les larves de première génération a été significativement plus faible chez les arbres traités par les extraits de la Menthe pouliot à 300g/l en comparaison avec ceux traités par les extraits de la Menthe pouliot à 100g/l (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Chez les arbres traités par les extraits du Cyprès vert, l'infestation par les larves de première génération a été significativement plus faible chez les arbres traités par les extraits du Cyprès vert à 300g/l en comparaison avec ceux traités par les extraits du Cyprès vert à 100g/l (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ). Chez les arbres traités par les extraits de la Lavande officinale, l'infestation par les larves de première génération a été significativement plus faible chez les arbres traités par les extraits de la Lavande officinale à 300g/l en comparaison avec ceux traités par les extraits de la Lavande officinale à 100g/l (Bonferroni;  $P \leq 0,05$ ).

Aucun signe de dégâts causés par les larves de *Cydia pomonella* L. de deuxième génération n'a été enregistré chez les arbres traités par les extraits aqueux de la Lavande officinale (*Lavandula officinalis* L.), et ce pour la concentration de 300g/l. Le taux de dégâts causés par les larves de *Cydia pomonella* L. de deuxième génération chez les arbres témoins a été de 8%.

Kovanci (2016) a étudié l'effet de la micro-encapsulation des extraits de plantes sur *Cydia pomonella in vivo*. La micro-encapsulation accroît l'efficacité des huiles essentielles contre les ravageurs en limitant les pertes de composés volatils. La micro-encapsulation de l'eucalyptol aussi bien que l'oléorésine de cardamome (*Elettaria cardamomum* L.) microencapsulée à la concentration de 100g/l ont un effet dissuasif élevé sur l'alimentation des larves de *Cydia pomonella*.

De nombreuses entreprises internationales proposent aux agriculteurs des Bio-insecticides à base d'huiles essentielles pour lutter contre les ravageurs sur terrain tel que la firme EcoSMART technologies (Roswell, Georgie, Etats-Unis d'Amérique) qui commercialise actuellement des huiles essentielles biopesticides contre le carpocapse dans plus de 10 pays. Toutefois, le coût des huiles essentielles par rapport à leur efficacité de contrôle n'est pas économiquement rentable dans la plupart des cas (van Tol et al., 2007). En revanche, les extraits végétaux peuvent être plus rentables que les huiles essentielles parce qu'ils sont plus stables dans l'environnement (Traboulsi et al., 2005).

Lösel et al. (2000) ont mené des expériences sur le terrain d'une formulation basée sur l'insecticide cyfluthrine mélangé avec les phéromones du carpocapse (codlemone). La

formulation a donné de bons niveaux de lutte contre le carpocapse à la concentration de 4% de cyfluthrine et de 0,1% de codlemone. Ces résultats sont en accord avec les résultats d'autres études antérieures comparables utilisant la même approche "Attract and Kill" contre le carpocapse (Charmillot et Hofer, 1997). Cette formulation est intéressante puisqu'elle combine un insecticide à faible dose avec un attractif. Ce type d'association "Attract and Kill" a déjà fait l'objet de nombreuses études sur d'autres ravageurs en conditions naturelles et ont donné des résultats satisfaisants (Mazomenos et *al.*, 2002).

La Cantharidine est une toxine produite naturellement par les coléoptères appartenant à la famille des Meloidées et Oedemeridées. L'étude d'un biopesticide à base de cette toxine naturelle a donné des résultats très satisfaisant contre les larves de *C. pomonella* au niveau des vergers de pommier en chine (Wu et *al.*, 2015). Une étude antérieure indique également que la cantharidine présente une faible toxicité sur les oiseaux, les coccinelles et les micro-organismes du sol (Cui et *al.*, 2009). Cependant, la synthèse de la cantharidine nécessite une forte pression de 20 kbars (Dauben et *al.*, 1980), ce qui n'est pas facile à réaliser en laboratoire.

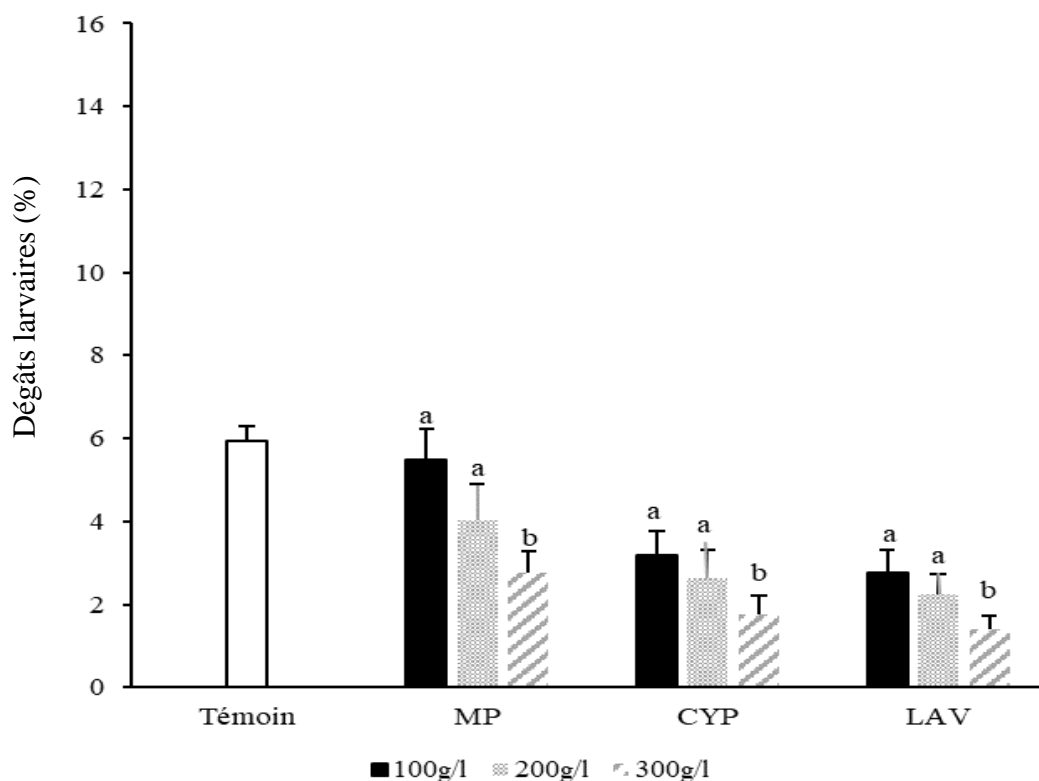


Figure 55. Effet des extraits aqueux des plantes (MP, Menthe pouliot *Mentha pulegium* L. ; CYP, Cyprès vert *Cupressus sempervirens* L.; LAV, Lavande officinale *Lavandula officinalis* L.) sur l'infestation par *C. pomonella*, au niveau du verger, en Juillet (larves de première génération) en 2016. Le pourcentage de dégâts larvaires a été calculé selon le nombre de pommes dénombrées. Les

lettres a, b indiquent les différences significatives des infestations larvaires ( $P \leq 0,05$ ; ANOVA, test Bonferroni post hoc). Les barres d'erreurs correspondent à l'erreur standard de la moyenne. Les moyennes de 15 mesures sont présentées.

## **CONCLUSION GENERALE**

Sur la base d'une variabilité morphologique postulée entre cultivars du pommier, considérée à l'échelle de l'arbre et de ses différents organes, le but de la première partie de ce travail était de mener une caractérisation morphologique : de l'arbre, des feuilles, des pommes ainsi que des branches charpentières et fructifères.

A travers ce travail, nous avons pu mettre en évidence le rôle important que joue les variétés de pommier sur leurs caractéristiques morphologiques. Ceci a donc nécessité la réalisation d'une comparaison de trois variétés de pommier. La comparaison de ces variétés de pommier a montré que la variété Starking delicious présente les caractères morphologiques de l'arbre les plus faibles en comparaison avec ceux de Golden delicious et Royal gala. Callesen (1992) a souligné que la hauteur des pommiers de 275 à 325 cm est optimale pour une meilleure intersection de lumière et rendement.

Ces résultats montrent que la variété Golden delicious présente la longueur la plus importante des branches charpentières et la plus faible longueur des entre-nœuds parmi les variétés Royal gala et Starking delicious. De plus, une nette différence de la longueur des branches fructifères et de la longueur des entre-nœuds a été enregistrée entre les trois variétés étudiées.

La variété Royal gala est caractérisée par une longueur de branches fructifères plus grande des trois variétés étudiées. Celle-ci présente variété présente la plus faible longueur des entre-nœuds des branches fructifères. Les différences morphologiques ressortant entre ces cultivars, peuvent être le résultat de plusieurs facteurs, dont les conditions de températures qui ne sont pas satisfaites (Petri et Leite, 2003), les conditions agroécologiques, l'origine géographique et le type de matériel végétal choisi par les agriculteurs (Chipojola et al., 2009 ; Djaha et N'da, 2014).

Concernant la caractérisation morphologique des feuilles, les caractères biologiques mesurés du pétiole (longueur et épaisseur) ont été faible chez la variété Royal gala et ce, dans toutes les régions étudiées. En outre, cette variété présente la plus grande longueur de limbe. Néanmoins, la largeur de limbe de Royal est la plus faible en basse altitude (dans les deux régions : Aït Sebaa et Annoceur), mais présente une largeur plus importante de limbe

en haute altitude (Midelt). Royal gala a également les plus grands traits morphologiques de la pomme. La différence de la morphologie des feuilles enregistrée chez les variétés de pommier serait l'effet des facteurs divers, dont la période de fructification et l'organe de l'arbre étudié (Palmer, 1987).

Ce travail nous a permis d'acquérir des connaissances qui permettent de tracer des perspectives qui constituent la naissance d'une étude de la variation inter-génotypique de la productivité du pommier, prenant en compte les caractéristiques écophysiologicals et les dégâts causés par le carpocapse, durant ses deux cycles majeurs.

Notre étude a révélé que les trois cultivars de pommier sont influencés par les variations des conditions climatiques, selon un gradient croissant d'altitude. Pourtant, pour mieux cerner l'influence des conditions environnementales sur le pommier, la comparaison des réponses des trois variétés dans un environnement contrôlé, serait nécessaire. En outre, la comparaison des capacités de transpiration et de photosynthèse des trois variétés de pommier devrait aussi, être réalisée et complétée par une étude de l'efficacité des différentes pratiques agricoles, au sein du verger de pommier, prenant en considération, les coûts de conduite. Ceci pourrait contribuer à une vision plus globale du fonctionnement du pommier, afin de mieux comprendre les stratégies d'adaptation des cultivars à un environnement donné.

Dans la deuxième partie de notre travail, nous avons étudié la dynamique des larves de carpocapse en l'abordant, sous plusieurs angles : (i) effet de l'altitude, (ii) effet des variétés des pommes, (iii) effet des points cardinaux et du niveau du pommier. Cette partie d'étude nous a permis de mettre en évidence les effets de l'altitude du verger sur l'infestation larvaire du carpocapse, à l'échelle du pommier. Notamment, les dégâts causés par les larves de carpocapse semblent être influencés négativement par l'altitude des vergers. Par une approche théorique, nous avons montré que cette relation pouvait être liée à la différence de température dans la dynamique des populations, entre les vergers à altitudes différentes du transect étudié et ceci, au niveau du Moyen atlas marocain.

Nous avons également identifié une différence de sensibilité aux infestations du carpocapse chez les trois variétés de pommier, les plus cultivées au Maroc. La variété Starking delicious s'est montrée plus résistante aux attaques du carpocapse en comparaison avec les deux autres variétés Golden delicious et Royal gala. Ces dernières se montrent plus sensibles. Cette différence de préférence vis-à-vis des variétés de pommier, serait due

aux différences de concentrations de substances volatiles et non-volatiles que présentes les variétés étudiées.

Par la suite, nous avons mis en évidence l'effet des points cardinaux et de la hauteur du pommier sur la dynamique des populations du carpocapse. Que ce soit, en considérant les variétés de pommes ou l'altitude du verger, le côté Nord du pommier est généralement moins sensible aux attaques causées par les larves de carpocapse par rapport aux côtés Sud ou Est de l'arbre. De plus, les pommes du niveau Moyen du pommier sont les plus infestées. Des effets similaires des points cardinaux sur le comportement de ponte des femelles de carpocapse a été rapporté par de nombreux auteurs (Blomefield et Sadie, 1997 ; Geier, 1963 ; Glen, 1977).

Il est à noter que nous n'avons pas mis en évidence les mécanismes écologiques qui génèrent cet effet dans le cas du carpocapse. Cette question devra faire l'objet de recherches spécifiques. En outre, nous avons montré que les larves de carpocapse sont réparties de manière hétérogène, à l'échelle du niveau du pommier. Il est apparu que le niveau Moyen de l'arbre recevait plus d'attaques du carpocapse par rapport au niveau Haut et niveau Bas du pommier.

Ces résultats suggèrent l'amélioration des techniques de veille et de lutte alternative, ainsi que le choix des variétés de pommier à planter par les agriculteurs, selon l'altitude et la position géographique du verger. Nous recommandons ainsi, moins de traitements insecticides vers le côté Nord du pommier, ainsi qu'une attention particulière doit être accordée au niveau Moyen de l'arbre. Enfin, le positionnement des pièges à carpocapse, doit également, prendre en considération les résultats de cette étude.

A la lumière des résultats de lutte contre le carpocapse, nous pouvons conclure que les trois extraits de plantes testées ont une bonne activité biologique, à l'égard du carpocapse. En effet, les extraits des 3 plantes testées : Menthe pouliot (*Mentha pulegium* L.), Cyprès vert (*Cupressus sempervirens* L.) et Lavande officinale (*Lavandula officinalis* L.) réduisent les attaques causées par les larves de *C. pomonella*.

Dans les tests *in vitro*, il ressort que tous les extraits des plantes étudiées ont un effet répulsif sur les larves de carpocapse. L'effet le plus marqué de ces extraits de plantes a été observé à la dose de 10g/l. Ces substances peuvent donc, assurer une bonne protection des pommes contre les larves de carpocapse.

Lors des tests *in vivo*, nous avons constaté que tous les extraits aqueux de la Menthe pouliot, du Cyprès vert et de la Lavande officinale ont révélé un effet répulsif, très hautement significatif, sur les larves de *C. pomonella* de première génération. Les traitements par la Lavande officinale ont donné le faible taux d'infestation par le carpocapse, avec 1,39% de dégâts larvaires chez les pommiers exposés à la Lavande officinale à une dose de 300g/l. Les larves de *C. pomonella* de deuxième génération n'ont pas causé de dégâts chez les arbres traités par les extraits aqueux de la Lavande officinale à la concentration 300g/l.

Les résultats obtenus nous montrent que les substances naturelles utilisées ont une bonne action répulsive à l'égard du carpocapse. Il est donc, très intéressant de poursuivre ces travaux, en mettant en évidence, l'action synergique de ces plantes aromatiques dans la lutte contre le carpocapse et d'autres insectes ravageurs du pommier.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abbott, D. (1984). *The apple tree: physiology and management*: Grower Books.
- Abbott, D. L. (1976). Pomme bud formation in Cox's Orange Pippin. Report - Long Ashton Research Station.
- Aguiar, A. et Karsholt, O. (2006). *Systematic Catalogue of the Entomofauna of the Madeira Archipelago and Selvagens Islands: Lepidoptera*.
- Alfaro, A. et Zaragoza, E. (1954). Algunas observaciones sobre la biología y tratamiento de *Cydia pomonella* (L.) en 1953: Observatorio de Fitopatología Agrícola de Zaragoza.
- Ali, S. A., Rizk, M. Z., Ibrahim, N. A., Abdallah, M. S., Sharara, H. M. et Moustafa, M. M. (2010). Protective role of *Juniperus phoenicea* and *Cupressus sempervirens* against CCI4. *World Journal of Gastrointestinal Pharmacology and Therapeutics*, 1(6), 123.
- Al-Snafi, A. E. (2016). Medical importance of *Cupressus sempervirens*-A review. *IOSR Journal of Pharmacy*, 6(6), 66-76.
- Ameglio, T. (2007). Changements climatiques, conséquences pour les plantes pérennes et les productions pommelières. Quelques pistes pour la sélection. Assemblée générale des Sélectionneurs Français, 26-33.
- Andermatt, M., Mani, E., Wildbolz, T. et Lüthy, P. (1988). Susceptibility of *Cydia pomonella* to *Bacillus thuringiensis* under laboratory and field conditions. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 49(3), 291-295.
- Andreassen, L., Kuhlmann, U., Whistlecraft, J., Soroka, J., Mason, P., Akinremi, O. et Holliday, N. (2010). Spring emergence of Canadian *Delia radicum* and synchronization with its natural enemy, *Aleochara bilineata*. *The Canadian Entomologist*, 142(3), 234-249.
- Ansebo, L., Coracini, M. D. A., Bengtsson, M., Liblikas, I., Ramírez, M., Borg-Karlson, A.-K., Tasin, M. et Witzgall, P. (2004). Antennal and behavioural response of codling moth *Cydia pomonella* to plant volatiles. *Journal of Applied Entomology*, 128(7), 488-493. doi: doi:10.1111/j.1439-0418.2004.00878.x
- APG III. (2009) An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants : APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 161(2), 105-121. doi: doi.org/10.1111/j.1095-8339.2009.00996.x
- Apra, E., Corollaro, M. L., Betta, E., Endrizzi, I., Demattè, M. L., Biasioli, F. et Gasperi, F. (2012). Sensory and instrumental profiling of 18 apple cultivars to investigate the relation between perceived quality and odour and flavour. *Food Research International*, 49(2), 677-686. doi: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.09.023

- Arbab, A., Kontodimas, D. C. et Sahragard, A. (2006). Estimating development of *Aphis pomi* (DeGeer)(Homoptera: Aphididae) using linear and nonlinear models. *Environmental Entomology*, 35(5), 1208-1215.
- Arthurs, S., Lacey, L. et Behle, R. (2006). Evaluation of spray-dried lignin-based formulations and adjuvants as solar protectants for the granulovirus of the codling moth, *Cydia pomonella* (L). *Journal of Invertebrate Pathology*, 93(2), 88-95.
- Aslantaş, R., Çakmakçı, R. et Şahin, F. (2007). Effect of plant growth promoting rhizobacteria on young apple tree growth and pomme yield under orchard conditions. *Scientia Horticulturae*, 111(4), 371-377.
- Aubert, B. (1972). Considerations sur la phenologie des especes pommeieres arbustives. *Pommes*, 27(3), 193-198.
- Aubry, O. (2008). Lutte attracticide et lâchers inondatifs de trichogrammes contre le carpocapse de la pomme, *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae).
- Audemard, H. (1976). Etude demoeologique du carpocapse (*Laspeyresia pomonella* L.) en verger de pommiers de la basse Vallée du Rhône: possibilités d'organisation d'une lutte intégrée.
- Audemard, H. (1988). Confusion sexuelle avec des phéromones en Europe de l'Ouest. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 21(1-2), 101-110.
- Azizyan, A. et Ter- Hovhannesian, A. (2010). Radiosensitivity of two strains of the codling moth *Cydia pomonella* (Linnaeus)(Lepidoptera: Tortricidae) originating from different elevations in Armenia. *Journal of Applied Entomology*, 134(3), 227-233.
- Baggiolini, M. et Clark-Lewis, I. (1992). Interleukin-8, a chemotactic and inflammatory cytokine. *FEBS Letters*, 307(1), 97-101.
- Bahrman, N., Jay, M. et Gorenflot, R. (1985). Apport à la connaissance chimiosystématique de quelques espèces du genre *Chenopodium* L. *Bulletin de la Société Botanique de France. Lettres Botaniques*, 132(2), 107-113.
- Balachowsky, A. (1966). *Entologie appliquee a A-griculture, Vol. 2: Lepidoptera*.
- Balachowsky, A. et Mesnil, L. (1935). *Les insectes nuisibles aux plantes cultivées. Tome 1*, 1935-1137.
- Ballard, J., Ellis, D. et Payne, C. (2000). The role of formulation additives in increasing the potency of *Cydia pomonella* granulovirus for codling moth larvae, in laboratory and field experiments. *Biocontrol Science and Technology*, 10(5), 627-640.
- Beers, E. H. (1993). *Orchard pest management: a resource book for the Pacific Northwest. AGRIS: International Information System for the Agricultural Science and Technology*.

- Beers, E. H. (1993). Orchard pest management: a resource book for the Pacific Northwest: Good Pomme Grower, Yakima.
- Belabbassi, O., Khelifi-Slaoui, M., Zaoui, D., Benyammi, R., Khalfallah, N., Malik, S., Makhzoum, A. et Khelifi, L. (2016). Synergistic effects of polyploidization and elicitation on biomass and hyoscyamine content in hairy roots of *Datura stramonium*. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, 20:3.
- Bernhard, K., Jarrett, P., Meadows, M., Butt, J., Ellis, D., Roberts, G., Pauli, S., Rodgers, P. et Burges, H. (1997). Natural isolates of *Bacillus thuringiensis*: worldwide distribution, characterization, and activity against insect pests. *Journal of Invertebrate Pathology*, 70(1), 59-68.
- Bezerra, M. A., Lacerda, C. F. d., Gomes Filho, E., de Abreu, C. E. et Prisco, J. T. (2007). Physiology of cashew plants grown under adverse conditions. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19(4), 449-461.
- Bjornson, S. et Oi, D. (2014). Microsporidia biological control agents and pathogens of beneficial insects. Wiley-Blackwell, 635–670.
- Blago, N. et Dickler, E. (1990). Effectiveness of the californian prognosis model "bugoff 2" for *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera, Tortricidae) under central European conditions. *International Symposium on Computer Modelling in Pomme Research and Orchard Management*, 53-62.
- Blažeković, B., Vladimir-Knežević, S., Brantner, A. et Štefan, M. (2010). Evaluation of Antioxidant Potential of *Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel. 'Budrovka': A Comparative Study with *L. angustifolia* Mill. *Molecules*, 15(9), 59-71.
- Bloesch, B. et Viret, O. (2013). Stades phénologiques repères des pommes à pépins (pommier et poirier). *Revue suisse de viticulture, arboriculture et horticulture*, 45(2), 128-131.
- Blomefield, T. L. P. K. L. et Sadie, A. (1997). Field observations on oviposition of codling moth, *Cydia pomonella* (Linnaeus) (Lepidoptera: Olethreutidae), in an unsprayed apple orchard in South Africa. *African Entomology*, 5(2), 319-336.
- Blommers, L. H. (1994). Integrated pest management in European apple orchards. *Annual Review of Entomology*, 39(1), 213-241.
- Boivin, T. et Sauphanor, B. (2005). Modélisation de la phénologie du carpocapse des pommes: Vergers. *Phytoma-La Défense des végétaux*(581), 25-27.
- Bonnemaison, L. (1962). Les ennemis animaux des plantes cultivées et des forêts, 72-79.
- Boré, J. M. et Fleckinger, J. (1997). Pommiers à cidre (variétés de France), 43-70.
- Brahmi, F., Mechri, B., Dhibi, M. et Hammami, M. (2013). Variations in phenolic compounds and antiradical scavenging activity of *Olea europaea* leaves and

- pommes extracts collected in two different seasons. *Industrial Crops and Products*, 49, 256-264. doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.04.042>
- Buszard, D. et Schwabe, W. W. (1995). Effect of Previous Crop Load on Stigmatic Morphology of Apple Flowers. *J. Amer. Soc. Hort.*, 120(4), 566-570.
- Callesen, O. (1992). Influence of apple tree height on yield and pomme quality. V International Symposium on Orchard and Plantation Systems, 323-349.
- Cariac, M., Ferrero, A. et Stadler, T. (2003). Effects of crude plant extracts and mineral oil on reproductive performance of the codling moth *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera: Tortricidae). *Boletín de sanidad vegetal. Plagas* (3), 471-479.
- Carmona, D., Huarte, M., Arias, G., López, A., Vincini, A. M., Castillo, H. A., Manetti, P., Chávez, E., Torres, M. et Eyherabide, J. (2003). Integrated pest management in Argentina. *Integrated Pest Management in the Global Arena*. Institute of International Agriculture and Department of Entomology, Michigan State University. East Lansing, MI, USA, 313-326.
- Casado, D., Gemenó, C., Avilla, J. et Riba, M. (2006). Day-night and phenological variation of apple tree volatiles and electroantennogram responses in *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae). *Environmental Entomology*, 35(2), 258-267.
- Castro, A., Bordallo, P., Cavacanti, J. et Barros, L. (2010). Brazilian cashew germplasm bank. XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (IHC2010): III International Symposium, 39-48.
- Cetin, H., Cinbilgel, I., Yanikoglu, A. et Gokceoglu, M. (2006). Larvicidal activity of some labiatae (Lamiaceae) plant extracts from Turkey. *Phytotherapy Research*, 20(12), 1088-1090. doi: [doi:10.1002/ptr.2004](https://doi.org/10.1002/ptr.2004), 26(2), 48-57.
- Chambon, J.-P. (1986). *Les tordeuses nuisibles en arboriculture fruitière*: Editions Quae, 67-81.
- Chang, C.-C., Yang, M.-H., Wen, H.-M. et Chern, J.-C. (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of food and drug analysis*, 10(3), 65-92.
- Charmillot, P. et Brunner, J. (1990). La tordeuse de la pelure *Adoxophyes orana* FvR (Capua): biologie, avertissement et lutte. *Revue Suisse Viticulture, Arboriculture et Horticulture*, 22(4), 243-254.
- Charmillot, P. J. et Hofer, D. (1997). Control of codling moth, *Cydia pomonella* L., by an attract and kill formulation. *Bulletin OILB SROP*, 50-77.
- Charmillot, P. J., Hofer, D. et Pasquier, D. (2000). Attract and kill: a new method for control of the codling moth *Cydia pomonella*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 94(2), 211-216.

- Chevalier, A. (1921). Histoire et amélioration des pommiers et spécialement des pommiers à cidre. *Revue de botanique appliquée et d'agriculture coloniale*, 1(3), 149-215.
- Chevalier, A. (1942). Pommiers et Poiriers. Extension et amélioration de leur culture en France. *Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée*, 22(251), 333-351.
- Chevreau, E., Lespinasse, Y. et Gallet, M. (1985). Inheritance of pollen enzymes and polyploid origin of apple (*Malus x domestica* Borkh.). *Theoretical and applied genetics*, 71(2), 268-277.
- Chipojola, F. M., Mwase, W. F., Kwapata, M. B., Bokosi, J. M., Njoloma, J. P. et Maliro, M. F. (2009). Morphological characterization of cashew (*Anacardium occidentale* L.) in four populations in Malawi. *African journal of Biotechnology*, 8(20), 32-59.
- Chmielewski, F.-M., Müller, A. et Bruns, E. (2004). Climate changes and trends in phenology of pomme trees and field crops in Germany, 1961–2000. *Agricultural and Forest Meteorology*, 121(1), 69-78.
- Clément, A.-L. (2014). Destruction des insectes et autres animaux nuisibles. *Académie des sciences – IRIS*, 38-65.
- Clemente, S., Mareggiani, G., Broussalis, A., Martino, V. et Ferraro, G. (2003). Insecticidal effects of Lamiaceae species against stored products insects. *Boletín de sanidad vegetal. Plagas*, 29, 1-8.
- Coracini, M., Bengtsson, M., Liblikas, I. et Witzgall, P. (2004). Attraction of codling moth males to apple volatiles. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 110(1), 1-10. doi: doi:10.1111/j.0013-8703.2004.00124.x
- Cornille, A., Gladioux, P., Smulders, M. J., Roldan-Ruiz, I., Laurens, F., Le Cam, B., Nersesyan, A., Clavel, J., Olonova, M. et Feugey, L. (2012). New insight into the history of domesticated apple: secondary contribution of the European wild apple to the genome of cultivated varieties. *PLoS genetics*, 8(5), 100(2)70-83.
- Costes, E., Lauri, P.-E. et Lespinasse, J. (1995). Modélisation de la croissance et de la ramification chez quelques cultivars de Pommier. *Architecture des arbres pommiers et forestiers, INRA*, 74, 27-39.
- Coutanceau, M. (1962). Arboriculture pommier. *International System for Agricultural Science and Technology – FAO*. 43-70
- Coutaud, J. (1946). Essais de fécondation artificielle effectués en 1944 sur quelques variétés de pommiers à couteau. *Bulletin de la Société Botanique de France*, 93(3-4), 106-110.

- Coutin, R., Anquez, P. et Biset, L. (1960). Le carpocapse des pommes et des poires:(*Laspeyresia pomonella* L.): Association de coordination technique agricole, 60-87.
- Crabbé, J. (1987). Aspects particuliers de la morphogenèse caulinaire des végétaux ligneux et introduction à leur étude quantitative: Presses universitaires de Bruxelles, 80-107.
- Creed, C., Mollhagen, A., Mollhagen, N. et Pszczolkowski, M. A. (2015). *Artemisia arborescens* “Powis Castle” extracts and  $\alpha$ -thujone prevent pomme infestation by codling moth neonates. *Pharmaceutical Biology*, 53(10), 1458-1464. doi: 10.3109/13880209.2014.985796
- Cripps, J., Melville, F. et Nicol, H. (1975). The relationship of Granny Smith apple tree growth and early cropping to planting density and rectangularity. *Journal of horticultural science*, 50(4), 291-299.
- Cui, F.-L., Li, X., Ma, Z.-Q. et Zhang, Y.-L. (2009). Safety evaluation of animal-origin pesticide cantharidin against some non-target organisms. *J. Environ. Entomol*, 31, 143-149.
- Daels-rakotoarison, D. (1999). Extraits polyphénoliques d'aubepine, de cola et d'eglantier. Thèse de doctorat. Université de Lille II. France. 172 (64), 98-125 .
- Dar, J. A., Wani, A. A. et Dhar, M. K. (2015). Morphological, biochemical and male-meiotic characterization of apple (*Malus× domestica* Borkh.) germplasm of Kashmir Valley. *Chromosome Botany*, 10(2), 39-49.
- Dauben, W. G., Kessel, C. R. et Takemura, K. H. (1980). Simple, efficient total synthesis of cantharidin via a high-pressure Diels-Alder reaction. *Journal of the American Chemical Society*, 102(22), 6893-6894. doi: 10.1021/ja00542a060
- Dawson, T. E. (1996). Determining water use by trees and forests from isotopic, energy balance and transpiration analyses: the roles of tree size and hydraulic lift. *Tree physiology*, 16(1-2), 263-272.
- De Reede, R., Groendijk, R. et Wit, A. (1984). Field tests with the Insect Growth Regulators, epofenonane and fenoxycarb, in apple orchards against leafrollers and side-effects on some leafroller parasites. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 35(3), 275-281.
- Denne, M. (1963). A comparison between pommes of Cox's orange pippin from Kent, England, and Auckland, New Zealand. *New Zealand Journal of Botany*, 1(3), 295-300.
- Dennis, F. G. J. (2000). The history of pomme thinning. *Plant Growth Regulation*, 31(1), 1-16. doi: 10.1023/a:1006330009160

- Dhooghe, E., Van Laere, K., Eeckhaut, T., Leus, L. et Van Huylenbroeck, J. (2011). Mitotic chromosome doubling of plant tissues in vitro. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 104(3), 359-373.
- Dixon, P., Cass, L., Vincent, C. et Olfert, O. (2014). Implementation and adoption of integrated pest management in Canada: *Insects Integrated Pest Management*, 221-252.
- Djaha, A. J.-B. et N'da, H. A. (2014). Diversité morphologique des accessions d'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) introduits en côte d'ivoire. *Afrique Science: Revue Internationale des Sciences et Technologie*, 23, 244 - 258.
- Domergue, M., Legave, J., Calleja, M., Moutier, N., Brisson, N. et Seguin, B. (2004). Réchauffement climatique: quels effets sur la floraison chez trois espèces pommeières. *Arboriculture pommère*, 578, 27-33.
- Dondale, C. D., Parent, B. et Pitre, D. (1979). A 6-year study of spiders (araneae) in a Quebec apple orchard. *The Canadian Entomologist*, 111(3), 377-380.
- Dorman, H. J. D., Koşar, M., Kahlos, K., Holm, Y. et Hiltunen, R. (2003). Antioxidant Properties and Composition of Aqueous Extracts from *Mentha* Species, Hybrids, Varieties, and Cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(16), 4563-4569. doi: 10.1021/jf034108k
- Duda, S. C., Mărghitaş, L. A., Dezmirean, D., Duda, M., Mărgăoan, R. et Bobiş, O. (2015). Changes in major bioactive compounds with antioxidant activity of *Agastache foeniculum*, *Lavandula angustifolia*, *Melissa officinalis* and *Nepeta cataria*: Effect of harvest time and plant species. *Industrial Crops and Products*, 77, 499-507. doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.09.045>
- Durden, K., Brown, J. J. et Pszczolkowski, M. A. (2008). Extracts of *Ginkgo biloba* or *Artemisia* species reduce feeding by neonates of codling moth, *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae), on apple in a laboratory bioassay, 20, 88-105.
- Easterbrook, M. et Fuller, M. M. (1986). Russeting of apples caused by apple rust mite *Aculus schlechtendali* (Acarina: Eriophyidae). *Annals of Applied Biology*, 109(1), 1-9.
- Eberle, K., Asser-Kaiser, S., Sayed, S., Nguyen, H. et Jehle, J. (2008). Overcoming the resistance of codling moth against conventional *Cydia pomonella* granulovirus (CpGV-M) by a new isolate CpGV-II2. *Journal of Invertebrate Pathology*, 98(3), 293-298.
- Echeverri, F. et Suarez, G. (1989). Flavonoids from *Passiflora foetida* and deterrant activity. *Revista Latinoamericana de Quimica*, 20, 6-7.

- Echeverri, F., Cardona, G., Torres, F., Pelaez, C., Quiñones, W. et Renteria, E. (1991). Ermanin: an insect deterrent flavonoid from *Passiflora foetida* resin. *Phytochemistry*, 30(1), 153-155.
- El Idrissi, A. (1980). Etude biomécanique comparée en verger de pommier au Maroc. (Ing. thesis), University of Aix Marseille, France, 54-81.
- El Iraqui, S. et Hmimina, M. (2016). Impact of temperatures on the voltinism of *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 109(5), 698-704.
- El Yaacoubi, A., Malagi, G., Oukabli, A., Hafidi, M. et Legave, J.-M. (2014). Global warming impact on floral phenology of pomme trees species in Mediterranean region. *Scientia Horticulturae*, 180, 243-253.
- Epstein, D. L., Zack, R. S., Brunner, J. F., Gut, L. et Brown, J. J. (2001). Ground Beetle Activity in Apple Orchards under Reduced Pesticide Management Regimes. *Biological Control*, 21(2), 97-104. doi: <https://doi.org/10.1006/bcon.2001.0929>
- Erez, A. (2000). Bud Dormancy; Phenomenon, Problems and Solutions in the Tropics and Subtropics. In A. Erez (Ed.), *Temperate Pomme Crops in Warm Climates*. Dordrecht: Springer Netherlands, 17-48.
- Falcon, L., Kane, W. et Bethell, R. (1968). Preliminary evaluation of a granulosis virus for control of the codling moth. *Journal of Economic Entomology*, 61(5), 1208-1213.
- FAOstat, F. (2016). Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division (2014). <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/S> [date de consultation: April 2015].
- Fatiha, B., Didier, H., Naima, G., Khodir, M., Martin, K., Léocadie, K., Caroline, S., Mohamed, C. et Pierre, D. (2015). Phenolic composition, in vitro antioxidant effects and tyrosinase inhibitory activity of three Algerian *Mentha* species: *M. spicata* (L.), *M. pulegium* (L.) and *M. rotundifolia* (L.) Huds (Lamiaceae). *Industrial Crops and Products*, 74, 722-730. doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.04.038>
- Fay, H. (2000). Pommepiercing moths and pommepotting bugs: Intractable pests of tree pommies in a reduced-insecticide environment. *International Symposium on Tropical and Subtropical Pommies*, 57-65.
- Fennane, M., Ibn Tattou, M., Mathez, J., Ouyaha, A. et El Oualidi, J. (2007).. *Flore pratique du Maroc: manuel de détermination des plantes vasculaires*. Université Mohammed V Agbal, Institut Scientifique, Rabat, 1999–2007.
- Fernandez, D. E., Beers, E., Brunner, J., Doerr, M. et Dunley, J. (2006). Horticultural mineral oil applications for apple powdery mildew and codling moth, *Cydia pomonella* (L.). *Crop Protection*, 25(6), 585-591.

- Ferree, D. (1980). Canopy development and yield efficiency of 'Golden delicious' apple trees in four orchard management systems. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 105(3), 376-380.
- Forshey, C. et McKee, M. (1970). Production efficiency of a large and a small 'McIntosh' apple tree. *Horticultural Science*, 5, 164-165.
- Forte, A., Ignatov, A., Ponomarenko, V., Dorokhov, D. et Savelyev, N. (2002). Phylogeny of the *Malus* (apple tree) species, inferred from the morphological traits and molecular DNA analysis. *Russian Journal of Genetics*, 38(10), 1150-1161.
- Foster, S. P., and et Harris, M. O. (1997). BEHAVIORAL MANIPULATION METHODS FOR INSECT PEST-MANAGEMENT. *Annual Review of Entomology*, 42(1), 123-146. doi: 10.1146/annurev.ento.42.1.123
- Frossard, J. et Cruiziat, P. (1995). Physiologie intégrée de l'arbre pommier: analyse et modélisation du fonctionnement de l'arbre en relation avec le climat. *Pommes*, 50(3), 221-224.
- Frossard, J. S. (1993). Physiologie intégrée de l'arbre pommier : Analyse et modélisation du fonctionnement de l'arbre pommier en relation avec le climat. Réunion annuelle CIRAD-FLHOR, Montpellier, France, 85-112. <http://agritrop.cirad.fr/467414/>
- Galet, P. (2000). *Precis de viticulture*, 7ème éd: France, 225-252.
- Geier, P. (1963). The life history of Codling Moth, *Cydia pomonella* (L)(Lepidoptera: Tortricidae), in the Australian Capital Territory. *Australian Journal of Zoology*, 11(3), 323-367.
- Génard, M. et Bruchou, C. (1992). Multivariate analysis of within-tree factors accounting for the variation of peach pomme quality. *Scientia Horticulturae*, 52(1-2), 37-51.
- Ghazghazia, H., Chediab, A., Abderrazakb, M. et Brahim, H. (2013). Comparaison des contenus en polyphénols et de l'activité antioxydante des extraits méthanoliques de quatre plantes collectées du nord de Tunisie. *Microbiologie et Hygiène Alimentaire*, 25, 37 – 41.
- Glen, D. (1977). Predation of codling moth eggs, *Cydia pomonella*, the predators responsible and their alternative prey. *Journal of Applied Ecology*, 445-456.
- Glen, D. et Milsom, N. (1978). Survival of mature larvae of codling moth (*Cydia pomonella*) on apple trees and ground. *Annals of Applied Biology*, 90(2), 133-146.
- Godin, C. et Sinoquet, H. (2005). Functional–structural plant modelling. *New phytologist*, 166(3), 705-708.
- Goujet, R. et Martouret, D. (1982). Etude comparée de la distribution dans l'arbre des oeufs du carpocapse des pommes *Laspeyresia pomonella* L.(Lep. Tortricidae) et de son

- parasite *Trichogramma* sp.(Hym. Trichogrammatidae). Colloques de l'INRA, 81-108.
- Greer, D. H. (2018). Canopy Growth and Development Processes in Apples and Grapevines: Responses to Temperature. *Horticultural Reviews*, 45, 313-331.
- Hajlaoui, H., Trabelsi, N., Noumi, E., Snoussi, M., Fallah, H., Ksouri, R. et Bakhrouf, A. (2009). Biological activities of the essential oils and methanol extract of two cultivated mint species (*Mentha longifolia* and *Mentha pulegium*) used in the Tunisian folkloric medicine. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 25(12), 2227-2238.
- Haouala, R., Ouerghemmi, S., Tarchoune, A. et Boughanmi, N. (2009). Improvement of *Trigonella maritima* Delile ex Poir. germination by polyploidization. *Pakistan Journal of Botany*, 41, 3001-3008.
- Harborne, J. B. et Mabry, T. J. (1982). The Flavonoids. *Advances in Research*, 12(4), 30-57.
- Hern, A. et Dorn, S. (1999). Sexual dimorphism in the olfactory orientation of adult *Cydia pomonella* in response to  $\alpha$ -farnesene. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 92(1), 63-72. doi: doi:10.1046/j.1570-7458.1999.00525.x
- Hern, A. et Dorn, S. (2004). A female-specific attractant for the codling moth, *Cydia pomonella*, from apple volatiles. *Naturwissenschaften*, 91(2), 77-80. doi: 10.1007/s00114-003-0484-6
- Hmimina, M. (2014). Estimation par piégeage sexuel de l'impact des traitements insecticides du verger sur les populations du carpocapse adulte (*Cydia pomonella* L., Lep., Tortricidae). *Revue Marocaine de Protection des Plantes*, 1(5), 24-51.
- Hmimina, M. H. et Iraqui, S. (2014). Cycle évolutif et voltinisme du Carpocapse (*Cydia pomonella* L., Lepidoptera, Tortricidae) exprimés par le piégeage sexuel et les degrés-jours dans la région d'Azrou. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 3(2), 5-15.
- Houssa, A. A., Drissi, S., Asehrou, A., Asfers, A., Oubaki, L. et Chraïbi, H. (2017). Changements climatiques au Maroc: quels systèmes de culture et quelles biotechnologies pour s'y adapter? *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 5(3), 61-88.
- Howell, J. F., Knight, A. L., Unruh, T. R., Brown, D. F., Krysan, J. L., Sell, C. R. et Kirsch, P. A. (1992). Control of Codling Moth in Apple and Pear with Sex Pheromone-Mediated Mating Disruption. *Journal of Economic Entomology*, 85(3), 918-925. doi: 10.1093/jee/85.3.918

- Ibrahim, N. A., El-Seedi, H. R. et Mohammed, M. M. D. (2007). Phytochemical investigation and hepatoprotective activity of *Cupressus sempervirens* L. leaves growing in Egypt. *Natural product research*, 21(10), 857-866.
- Jackson, D. M. (1979). Codling Moth1 Egg Distribution on Unmanaged Apple Trees2. *Annals of the Entomological Society of America*, 72(3), 361-368. doi: 10.1093/aesa/72.3.361
- Jackson, D. M. (1979). Codling Moth1 Egg Distribution on Unmanaged Apple Trees2. *Annals of the Entomological Society of America*, 72(3), 361-368. doi: 10.1093/aesa/72.3.361
- Jacob-Remacle, A. (1989). Comportement de butinage de l'abeille domestique et des abeilles sauvages dans des vergers de pommiers en Belgique. *Apidologie*, 20(4), 271-285.
- Jacobson, M. (1990). Glossary of plant-derived insect deterrents. Boca Raton, Florida: CRC Press Inc, 425-523.
- Janzen, D. H. (1967). Synchronization of sexual reproduction of trees within the dry season in Central America. *Evolution*, 21(3), 620-637.
- Jonard, R., Hugard, J., Macheix, J.-J., Martinez, J., Mosella-Chancel, L., Poessel, J. L. et Villemur, P. (1983). In vitro micrografting and its applications to pomme science. *Scientia Horticulturae*, 20(2), 147-159.
- Jones, V. P. et Wiman, N. G. (2008). Longevity of the adult codling moth, *Cydia pomonella*, and the obliquebanded leafroller, *Choristoneura rosaceana*, in Washington apple orchards. *Journal of Insect Science*, 8(1), 14-26.
- Jones, V. P., Hilton, R., Brunner, J. F., Bentley, W. J., Alston, D. G., Barrett, B., Van Steenwyk, R. A., Hull, L. A., Walgenbach, J. F. et Coates, W. W. (2013). Predicting the emergence of the codling moth, *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae), on a degree- day scale in North America. *Pest management science*, 69(12), 1393-1398.
- Joshi, S., Chanotiya, C. S., Agarwal, G., Prakash, O., Pant, A. K. et Mathela, C. S. (2008). Terpenoid Compositions, and Antioxidant and Antimicrobial Properties of the Rhizome Essential Oils of Different *Hedychium* Species. *Chemistry & Biodiversity*, 5(2), 299-309. doi: doi:10.1002/cbdv.200890027
- Juan, D., Rouvière, J.-B., Mouton, S. et Coulomb, P. (2008). Biological control strategy of codling moth with entomopathogenic nematodes in organic and conventional farming. *7th International Conference on Integrated Pomme Production*, 68-95.
- Kasmi, M., Aourach, M., El Boukari, M., Barrijal, S. et Essalmani, H. (2017). Efficacité des extraits aqueux des plantes aromatiques et médicinales contre la pourriture grise de la tomate au Maroc. *Comptes Rendus Biologies*, 340(8), 386-393.

- Kassem, F. F., Harraz, F. M., El-Sebakhy, N. A., De Pooter, H. L., Schamp, N. M. et Abou-Shleib, H. (1991). Composition of the essential oil of Egyptian *Cupressus sempervirens* L. cones. *Flavour and Fragrance Journal*, 6(3), 205-207. doi: doi:10.1002/ffj.2730060308
- Kehat, M., Anshelevich, L., Harel, M. et Dunkelblum, E. (1995). Control of the codling moth (*Cydia pomonella*) in apple and pear orchards in Israel by mating disruption. *Phytoparasitica*, 23(4), 285-310.
- Keil, S., Gu, H. et Dorn, S. (2001). Response of *Cydia pomonella* to selection on mobility: laboratory evaluation and field verification. *Ecological Entomology*, 26(5), 495-501.
- Klassen, W. et Curtis, C. (2005). History of the sterile insect technique *Sterile Insect Technique*, 3-36.
- Klein, A.-M., Vaissière, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C. et Tscharntke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274(1608), 303-313. doi: 10.1098/rspb.2006.3721
- Kliot, A. et Ghanim, M. (2012). Fitness costs associated with insecticide resistance. *Pest Management Science*, 68(11), 1431-1437.
- Knight, A. L. et Light, D. M. (2001). Attractants from Bartlett pear for codling moth, *Cydia pomonella* (L.), larvae. *Naturwissenschaften*, 88(8), 339-342. doi: 10.1007/s001140100244
- Kouyaté, A. M. et Van Damme, P. (2002). Caractères morphologiques de *Detarium microcarpum* Guill. et Perr. au sud du Mali. *Pommes*, 57(4), 231-238.
- Kovanci, O. B. (2016). Feeding and oviposition deterrent activities of microencapsulated cardamom oleoresin and eucalyptol against *Cydia pomonella*. *Chilean journal of agricultural research*, 76, 62-70.
- Kührt, U., Samietz, J., Höhn, H. et Dorn, S. (2006). Modelling the phenology of codling moth: Influence of habitat and thermoregulation. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 117(1), 29-38. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.03.003>
- Kumar, C., Singh, S. K., Pramanick, K., Verma, M., Srivastav, M., Singh, R., Bharadwaj, C. et Naga, K. (2018). Morphological and biochemical diversity among the *Malus* species including indigenous Himalayan wild apples. *Scientia Horticulturae*, 233, 204-219.
- Kumar, P., Mishra, S., Malik, A. et Satya, S. (2011). Insecticidal properties of *Mentha* species: A review. *Industrial Crops and Products*, 34(1), 802-817. doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.02.019>

- Lacey, L. A. et Arthurs, S. P. (2005). New method for testing solar sensitivity of commercial formulations of the granulovirus of codling moth (*Cydia pomonella*, Tortricidae: Lepidoptera). *Journal of Invertebrate Pathology*, 90(2), 85-90.
- Lacey, L. A. et Unruh, T. R. (2005). Biological control of codling moth (*Cydia pomonella*, Lepidoptera: Tortricidae) and its role in integrated pest management, with emphasis on entomopathogens. *Vedalia*, 12(1), 33-60.
- Lacey, L. A., Arthurs, S. P., Unruh, T. R., Headrick, H. et Fritts, R. (2006). Entomopathogenic nematodes for control of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) in apple and pear orchards: Effect of nematode species and seasonal temperatures, adjuvants, application equipment, and post-application irrigation. *Biological Control*, 37(2), 214-223.
- Lancashire, P. D., Bleiholder, H., Boom, T. v. d., Langelüddeke, P., Stauss, R., WEBER, E. et Witzemberger, A. (1991). A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. *Annals of Applied Biology*, 119(3), 561-601.
- Landolt, P. J., Brumley, J. A., Smithhisler, C. L., Biddick, L. L. et Hofstetter, R. W. (2000). Apples infested with codling moth are more attractive to neonate codling moth larvae and possess increased amounts of (E, E)- $\alpha$ -farnesene. *Journal of Chemical Ecology*, 26(7), 1685-1699.
- Landsberg, J. J. et Sands, P. J. (2011). *Physiological ecology of forest production: principles, processes and models*. Elsevier/Academic Press, 4, 96-123.
- Larrive, G., Lauri, P., Lespinasse, J. et Ramonguilhem, M. (2000). Conduite "centrifuge" avec extinctions. *Réussir Pommes & Légumes*, 182, 46-48.
- Lauri, P.-E., Térouanne, E., Lespinasse, J.-M., Regnard, J.-L. et Kelner, J.-J. (1995). Genotypic differences in the axillary bud growth and pommeing pattern of apple pommeing branches over several years—an approach to regulation of pomme bearing. *Scientia Horticulturae*, 64(4), 265-281.
- Legave, J.-M. (2002). Quelques conséquences du réchauffement climatique sur la floraison des arbres pommiers, 63-90.
- Lespinasse, J., Delort, F. et Lauri, P. (1995). Le raisonnement de la branche pommère. *Pommes et Légumes*, 52-62.
- Lespinasse, Y. (1992). *Le pommier. Amélioration des espèces végétales cultivées-objectifs et critères de sélection*. INRA, Paris, 579-594.
- Lespinasse, Y. et Chevreau, E. (1983). Utilisation d'un gène marqueur pour la recherche de plantes haploïdes de pommier: comparaison entre pollinisation manuelle et pollinisation par les abeilles. Vème symposium sur la pollinisation. Versailles-France, 20-47.

- Li, S., Huguet, J., Schoch, P., Bussi, C., Orlando, P. et L'Hôtel, J. (1990). Réponse de jeunes pêcheurs cultivés en pots à différents régimes d'alimentation hydrique. II: Effets sur la croissance et le développement. *Agronomie*, 10(5), 353-360.
- Light, D. M., Knight, A. L., Henrick, C. A., Rajapaska, D., Lingren, B., Dickens, J. C., Reynolds, K. M., Buttery, R. G., Merrill, G. et Roitman, J. (2001). A pear-derived kairomone with pheromonal potency that attracts male and female codling moth, *Cydia pomonella* (L.). *Naturwissenschaften*, 88(8), 333-338.
- Liu, K., Li, H., Yuan, C., Huang, Y., Chen, Y. et Liu, J. (2015). Identification of phenological growth stages of sugar apple (*Annona squamosa* L.) using the extended BBCH-scale. *Scientia Horticulturae*, 181, 76-80.
- Liu, Q., Yuan, K., Zhang, L., Zhao, H., Liu, P. et Han, Z. (2006). Growth and pomme characteristics of autotetraploid plants of Royal gala apple. *J. Pomme Sci*, 23(1), 102-104.
- Lombarkia, N. et Derridj, S. (2002). Incidence of appla pomme and leaf surface metabolites on *Cydia pomonella* oviposition. 11th International Symposium on Insect-Plant Relationships, 88-115.
- Lösel, P. M., Penners, G., Potting, R. P. J., Ebbinghaus, D., Elbert, A. et Scherkenbeck, J. (2000). Laboratory and field experiments towards the development of an attract and kill strategy for the control of the codling moth, *Cydia pomonella*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 95(1), 39-46. doi: doi:10.1046/j.1570-7458.2000.00639.x
- Luckwill, L. (1953). Studies of pomme development in relation to plant hormones: I. Hormone production by the developing apple seed in relation to pomme drop. *Journal of Horticultural Science*, 28(1), 14-24.
- Luximon-Ramma, A., Bahorun, T., Soobrattee, M. A. et Aruoma, O. I. (2002). Antioxidant Activities of Phenolic, Proanthocyanidin, and Flavonoid Components in Extracts of *Cassia fistula*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(18), 5042-5047. doi: 10.1021/jf0201172
- Maalouly Matar, M. (2013). Déterminants du parasitisme larvaire du carpocapse du pommier au Sud Est de la France. Université d'Avignon, 88-115.
- MacLellan, C. (1962). Mortality of codling moth eggs and young larvae in an integrated control orchard. *The Canadian Entomologist*, 94(06), 655-666.
- Malagnoux, L. (2014). Evaluation des impacts environnementaux liés aux pratiques phytosanitaires en vergers de pommiers: approches écotoxicologique et écologique utilisant un auxiliaire des cultures, le forficule. Université d'Avignon. 83-109.

- Malone, L. et Wigley, P. (1980). The distribution of *Nosema carpocapsae*, a protozoan pathogen of the codling moth, *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae), in New Zealand. *New Zealand Entomologist*, 7(2), 151-153.
- Mäntylä, E., Klemola, T. et Haukioja, E. (2004). Attraction of willow warblers to sawfly-damaged mountain birches: novel function of inducible plant defences? *Ecology Letters*, 7(10), 915-918.
- MAPM. (2014). Note de veille « pomme ». Ministère de l'agriculture et de la pêche maritime du Maroc, 1, 23-35. [http://www.agriculture.gov.ma/sites/default/files/141022-note\\_veille\\_pommes-sl.pdf](http://www.agriculture.gov.ma/sites/default/files/141022-note_veille_pommes-sl.pdf)
- Massee, A. (1954). The Hemiptera-Heteroptera of Kent. *Trans. Soc. Brit. Ent.*, 11(12), 245-280.
- Massonnet, C. (2004). Variabilité architecturale et fonctionnelle du système aérien chez le pommier (*Malus domestica* Borkh.): comparaison de quatre cultivars par une approche de modélisation structure-fonction. *Ecole nationale supérieure agronomique de Montpellier-AGRO M*, 223-235.
- Mata, A. T., Proença, C., Ferreira, A. R., Serralheiro, M. L. M., Nogueira, J. M. F. et Araújo, M. E. M. (2007). Antioxidant and antiacetylcholinesterase activities of five plants used as Portuguese food spices. *Food Chemistry*, 103(3), 778-786. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.09.017>
- May, P. (1970). Physiological and horticultural aspects of flowering and pomme set. *Proceedings of the 18th International Horticultural Congress*, 4, 211-221.
- Mazomenos, B. E., Pantazi-Mazomenou, A. et Stefanou, D. (2002). Attract and kill of the olive pomme fly *Bactrocera oleae* in Greece as a part of an integrated control system. *IOBC wprs Bulletin*, 25(9), 137-146.
- McDonough, L., Aller, W. et Knight, A. (1992). Performance characteristics of a commercial controlled-release dispenser of sex pheromone for control of codling moth (*Cydia pomonella*) by mating disruption. *Journal of Chemical Ecology*, 18(12), 2177-2189.
- Mehri, H. et Crabbé, J. (2002). Processus de développement génératif chez le pommier cv Golden delicious. *Biotechnologie, agronomie, société et environnement*, 6(1), 51-60.
- Meier, U., Bleiholder, H., Buhr, L., Feller, C., Hack, H., Heß, M., Lancashire, P. D., Schnock, U., Stauß, R. et Van Den Boom, T. (2009). The BBCH system to coding the phenological growth stages of plants—history and publications. *Journal für Kulturpflanzen*, 61(2), 41-52.

- Mota- Sanchez, D., Wise, J. C., Poppen, R. V., Gut, L. J. et Hollingworth, R. M. (2008). Resistance of codling moth, *Cydia pomonella* (L.)(Lepidoptera: Tortricidae), larvae in Michigan to insecticides with different modes of action and the impact on field residual activity. *Pest Management Science*, 64(9), 881-890.
- Orts, R., Giraud, M. et Darthout, L. (2006). Integrated protection of apple and pear trees: Centre Technique Interprofessionnel des Pommes et Légumes, 74-85
- Owen, J. (1980). Feeding strategy: University of Chicago Press. 155-164
- Palmer, J. (1987). The measurement of leaf area in apple trees. *Journal of horticultural science*, 62(1), 5-10.
- Pascual-Villalobos, M. J. et Robledo, A. (1998). Screening for anti-insect activity in Mediterranean plants. *Industrial Crops and Products*, 8(3), 183-194. doi: [https://doi.org/10.1016/S0926-6690\(98\)00002-8](https://doi.org/10.1016/S0926-6690(98)00002-8)
- Pavela, R. (2004). Repellent effect of ethanol extracts from plants of the family Lamiaceae on Colorado Potato Beetle adults (*Leptinotarsa decemlineata* Say). *National Academy Science Letters*, 27(5/6), 195-203.
- Pesson, P. et Louveaux, J. (1984). Pollinisation et productions végétales. Editions Quae 334-412.
- Petri, J. (1989). L'interruption de dormance de pommier. *BASF informations agricoles*, 2, 17-20.
- Petri, J. L. et Leite, G. B. (2003). Consequences of insufficient winter chilling on apple tree bud-break. VII International Symposium on Temperate Zone Pommes in the Tropics and Subtropics, 56-62.
- Pimentel, D., McLaughlin, L., Zepp, A., Lakitan, B., Kraus, T., Kleinman, P., Vancini, F., Roach, W. J., Graap, E., Keeton, W. S. et Selig, G. (1991). Environmental and Economic Effects of Reducing Pesticide Use. *Bioscience*, 41(6), 402-409. doi: [10.2307/1311747](https://doi.org/10.2307/1311747)
- Pimentel, D., Wilson, C., McCullum, C., Huang, R., Dwen, P., Flack, J., Tran, Q., Saltman, T. et Cliff, B. (1997). Economic and environmental benefits of biodiversity. *Bioscience*, 47(11), 747-757.
- Pitcairn, M. J., Zalom, F. G. et Bentley, W. J. (1990). Weather factors influencing capture of *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) in pheromone traps during overwintering flight in California. *Environmental Entomology*, 19(5), 1253-1258.
- Pitcairn, M. J., Zalom, F. G. et Rice, R. E. (1992). Degree-day forecasting of generation time of *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) populations in California. *Environmental Entomology*, 21(3), 441-446.

- Pratt, C. (1990). Apple trees: morphology and anatomy. *Horticultural Reviews*, 12, 265-305.
- Pristavko, V. et Chernii, A. (1975). The technology for the mass rearing of the codling moth, *Laspeyresia pomonella* L.(Lepidoptera, Tortricidae). *Pol. Pismo Entomol*, 45, 663.
- Prokopy, R. et Croft, B. (1994). Apple insect pest management. *Introduction to Insect Pest Management*, 3rd ed. John Wiley & Sons, New York, 543-586.
- Pszczolkowski, M. A. et Brown, J. J. (2005). Single experience learning of host pomme selection by lepidopteran larvae. *Physiology and Behavior*, 86(1-2), 168-175.
- Pszczolkowski, M. A., Durden, K., Sellars, S., Cowell, B. et Brown, J. J. (2011). Effects of *Ginkgo biloba* Constituents on Pomme-Infesting Behavior of Codling Moth (*Cydia pomonella*) in Apples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(20), 10879-10886. doi: 10.1021/jf202386c
- Ramos-Guerra, M., Mata-Cárdenas, B., Vargas-Villarreal, J., Sampayo-Reyes, A., González-Salazar, F., Morales-Vallarta, M. et Said-Fernández, S. (2007). In vitro activity of organic leaf/stem extracts from *Marrubium vulgare* and *Mentha spicata* against *Entamoeba histolytica* and *Giardia lamblia*. *Pharmacology online*, 1, 108-112.
- Regnault-Roger, C., Ribodeau, M., Hamraoui, A., Bareau, I., Blanchard, P., Gil-Munoz, M.-I. et Barberan, F. T. (2004). Polyphenolic compounds of Mediterranean Lamiaceae and investigation of orientational effects on *Acanthoscelides obtectus* (Say). *Journal of Stored Products Research*, 40(4), 395-408.
- Reissig, W., Stanley, B., Roelofs, W. et Schwarz, M. (1985). Tests of synthetic apple volatiles in traps as attractants for apple maggot flies (Diptera: Tephritidae) in commercial apple orchards. *Environmental Entomology*, 14(1), 55-59.
- Reyes, M., Franck, P., Charmillot, P.-J., Ioriatti, C., Olivares, J., Pasqualini, E. et Sauphanor, B. (2007). Diversity of insecticide resistance mechanisms and spectrum in European populations of the codling moth, *Cydia pomonella*. *Pest management science*, 63(9), 890-902. doi: doi:10.1002/ps.1421
- Reynier, A. (2011). *Manuel de viticulture: guide technique du viticulteur*: Lavoisier.
- Ricci, B. (2009). Dynamique spatiale et dégâts de carpocapse dans la basse vallée de la Durance. Université d'Avignon, 89-109.
- Rivals, P. (1965). Essai sur la croissance des arbres et sur leurs systèmes de floraison (Application aux espèces pommelières). *Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée*, 12(12), 655-686.

- Robbie, F. A. et Atkinson, C. J. (1994). Wood and tree age as factors influencing the ability of apple flowers to set pomme. *Journal of horticultural science*, 69(4), 609-623. doi: 10.1080/14620316.1994.11516493
- Sakakibara, H., Miyao, M., Kondo, T. a., Yamada, S. y., Nakagawa, T. et Kobayashi, F. (1987). Relation between overhead work and complaints of pear and apple orchard workers. *Ergonomics*, 30(5), 805-815.
- Sauphanor, B., Simon, S., Boisneau, C., Capowiez, Y., Rieux, R., Bouvier, J.-C., Defrance, H., Picard, C. et Toubon, J.-F. (2009). Protection phytosanitaire et biodiversité en agriculture biologique. Le cas des vergers de pommiers. *Innovations agronomiques*, 4, 217-228.
- Schmitt, A., Bisutti, I., Ladurner, E., Benuzzi, M., Sauphanor, B., Kienzle, J., Zingg, D., Undorf- Spahn, K., Fritsch, E. et Huber, J. (2013). The occurrence and distribution of resistance of codling moth to *Cydia pomonella* granulovirus in Europe. *Journal of Applied Entomology*, 137(9), 641-649.
- Schoonhoven, L. M., Van Loon, J. J. et Dicke, M. (2005). *Insect-plant biology*. Oxford University Press, 189-229.
- Schumacher, P., WEyENETH, A., Weber, D. C. et Dorn, S. (1997). Long flights in *Cydia pomonella* L.(Lepidoptera: Tortricidae) measured by a flight mill: influence of sex, mated status and age. *Physiological Entomology*, 22(2), 149-160.
- Secoy, D. M. et Smith, A. E. (1983). Lineage of Lime Sulfur as an Insecticide and Fungicide. *Bulletin of the Entomological Society of America*, 29(2), 18-23. doi: 10.1093/besa/29.2.18
- Sedgley, M. et Griffin, A. R. (2013). *Sexual reproduction of tree crops*: Academic Press.
- Sedov, E., Sedysheva, G., Serova, Z. et Gorbacheva, N. (2014). Autogamy of polyploid apple varieties and forms. *Russian Agricultural Sciences*, 40(4), 253-256.
- Severac, G. et Romet, L. (2009). Vergers de pommiers, Alt'Carpo tend ses filets: Cette méthode alternative de lutte contre le carpocapse continue à se développer. *Phytoma-La Défense des végétaux*(624-25), 30-33.
- Sheppard, A. W., Hill, R., DeClerck-Floate, R. A., McClay, A., Olckers, T., Quimby, P. C., Jr. et Zimmermann, H. G. (2003). A global review of risk-benefit-cost analysis for the introduction of classical biological control agents against weeds: a crisis in the making? *Biocontrol News and Information*, 24(4), 91-108.
- Silvy, C. et Riba, G. (1989). *Combattre les ravageurs des cultures: enjeux et perspectives*. Editions Quae, 291-365.
- Simchuk, P. et Issi, I. (1975). *Pleistophora carpocapsae* Sp. N.(Microsporidia, Nosematidae)-a parasite of the codling moth. *Parazitologia*, 9(3), 293-298.

- Simmonds, M., Blaney, W., Delle Monache, F. et Bettolo, G. M. (1990). Insect antifeedant activity associated with compounds isolated from species of *Lonchocarpus* and *Tephrosia*. *Journal of Chemical Ecology*, 16(2), 365-380.
- Singleton, V. L., Orthofer, R. et Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu. *Methods in Enzymology*, 152-178.
- Solomon, M., Glen, D., Kendall, D. et Milsom, N. (1976). Predation of overwintering larvae of codling moth (*Cydia pomonella* (L.)) by birds. *Journal of Applied Ecology*, 341-352.
- Soltani, N., Semir, H. et Djebbar, M. (1986). Contribution à l'étude de *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera, Tortricidae), essai comparatif des pièges et cycle évolutif à Annaba, 67-83.
- Sourour, A., Ameni, B. et Mejda, C. (2014). Efficient production of tetraploid barley (*Hordeum vulgare* L.) by colchicine treatment of diploid barley. *J. Exp. Biol*, 2(1S), 113-119.
- Spieser, F., Graf, B., Walther, P. et Noesberger, J. (1998). Impact of apple rust mite (Acari: Eriophyiidae) feeding on apple leaf gas exchange and leaf color associated with changes in leaf tissue. *Environmental Entomology*, 27(5), 1149-1156.
- Städler, E. (2002). Plant chemical cues important for egg deposition by herbivorous insects. *Chemoecology of insect eggs and egg deposition*, 171-204.
- Stephan, J. (2007). Architecture 3D et microclimat lumineux de l'arbre. Comparaison de cultivars de pommier soumis à des manipulations de conduite. Université Blaise Pascal-Clermont-Ferrand II. 79-122.
- St-Onge, M. (2016). Optimisation de l'élevage de masse du parasitoïde *Trichogramma ostrinae*. Université du Québec à Montréal. 50-75.
- Stouthamer, R., Jochemsen, P., Platner, G. R. et Pinto, J. D. (2000). Crossing incompatibility between *Trichogramma minutum* and *T. platneri* (Hymenoptera: Trichogrammatidae): implications for application in biological control. *Environmental Entomology*, 29(4), 832-837.
- Suomi, D., Brown, J. J. et Akre, R. D. (1986). Responses to plant extracts of neonatal codling moth larvae, *Cydia pomonella* (L.), (Lepidoptera:Tortricidae:Olethreutinae). *Journal of the Entomological Society of British Columbia*. 81-121.
- Sutherland, O. R. W., Wearing, C. H. et Hutchins, R. F. N. (1977). Production of  $\alpha$ -farnesene, an attractant and oviposition stimulant for codling moth, by developing pomme of ten varieties of apple. *Journal of Chemical Ecology*, 3(6), 625-631. doi: 10.1007/bf00988062

- Suty, L. (2010). La lutte biologique: Vers de nouveaux équilibres écologiques: Editions Quae. 376-456.
- Teixeira, B., Marques, A., Ramos, C., Batista, I., Serrano, C., Matos, O., Neng, N. R., Nogueira, J. M. F., Saraiva, J. A. et Nunes, M. L. (2012). European pennyroyal (*Mentha pulegium*) from Portugal: Chemical composition of essential oil and antioxidant and antimicrobial properties of extracts and essential oil. *Industrial Crops and Products*, 36(1), 81-87. doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.08.011>
- Ter-Hovhannesian, A. (2005). Ecologically determined differences in the insect-host plant relations between various populations of codling moth. *IOBC wprs Bulletin*, 28(7), 55-73.
- Thomson, D., Brunner, J., Gut, L., Judd, G. et Knight, A. (2001). Ten years implementing codling moth mating disruption in the orchards of Washington and British Columbia: starting right and managing for success! *IOBC wprs Bulletin*, 24(2), 23-30.
- Thwaite, W. et Madsen, H. (1983). The influence of trap density, trap height, outside traps and trap design on *Cydia pomonella* (L.) captures with sex pheromone traps in New South Wales apple orchards. *Austral Entomology*, 22(2), 97-99.
- Traboulsi, A. F., El-Haj, S., Tueni, M., Taoubi, K., Nader, N. A. et Mrad, A. (2005). Repellency and toxicity of aromatic plant extracts against the mosquito *Culex pipiens molestus* (Diptera: Culicidae). *Pest management science*, 61(6), 597-604. doi: [doi:10.1002/ps.1017](https://doi.org/10.1002/ps.1017)
- Tsantili, E., Gapper, N. E., Arquiza, J. M. R. A., Whitaker, B. D. et Watkins, C. B. (2007). Ethylene and  $\alpha$ -Farnesene Metabolism in Green and Red Skin of Three Apple Cultivars in Response to 1-Methylcyclopropene (1-MCP) Treatment. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(13), 5267-5276. doi: [10.1021/jf0637751](https://doi.org/10.1021/jf0637751)
- van der Geest, L. P. et Evenhuis, H. H. (1991). *Tortricid pests: their biology, natural enemies and control*: Elsevier Science Publishers.
- van Tol, R. W., Swarts, H. J., van der Linden, A. et Visser, J. (2007). Repellence of the red bud borer *Resseliella oculiperda* from grafted apple trees by impregnation of rubber budding strips with essential oils. *Pest management science*, 63(5), 483-490. doi: [doi:10.1002/ps.1374](https://doi.org/10.1002/ps.1374)
- Verdoodt, L., Van Haute, A., Goderis, I., De Witte, K., Keulemans, J. et Broothaerts, W. (1998). Use of the multi-allelic self-incompatibility gene in apple to assess homozygosity in shoots obtained through haploid induction. *Theoretical and applied genetics*, 96(2), 294-300.

- Vickers, R. et Rothschild, G. (1991). Use of sex pheromones for control of codling moth. *World Crop Pests*, 5, 339–354.
- Vieira, J., Morales-Hojas, R., Santos, R. A. et Vieira, C. P. (2007). Different positively selected sites at the gametophytic self-incompatibility pistil S-RNase gene in the Solanaceae and Rosaceae (*Prunus*, *Pyrus*, and *Malus*). *Journal of Molecular Evolution*, 65(2), 175-185.
- Viret, O., Schaub, L., Linder, C. et Charmillot, P.-J. (2003). Guide de traitements, Pommier. *Revue Suisse de Viticulture Arboriculture Horticulture*, 35(1), 26-35.
- Volz, R. K., Ferguson, I. B., Hewett, E. W. et Woolley, D. J. (1994). Wood age and leaf area influence pomme size and mineral composition of apple. *Journal of horticultural science*, 69(2), 385-395. doi: 10.1080/14620316.1994.11516468
- Vrieling, K. et Derridj, S. (2003). Pyrrolizidine alkaloids in and on the leaf surface of *Senecio jacobaea* L. *Phytochemistry*, 64(7), 1223-1228. doi: <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2003.08.024>
- Wagenmakers, P. S. et Callesen, O. (1988). Influence of light interception on apple yield and apple quality related to arrangement and tree height. IV International Symposium on Research and Development on Orchard and Plantation Systems, 137-143.
- Waheed, I., Bajwa et Marcos, K. (1997). Geographical Distribution of the Codling Moth (*Cydia pomonella* L.) Codling Moth Information Support System. Integrated Plant Protection Center, 23-37.
- Wang, S. Y. et Faust, M. (1994). Changes in Polyamine Content during Dormancy in Flower Buds of 'Anna' Apple. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 119(1), 70-73.
- Wearing, C. (1975). Integrated control of apple pests in New Zealand: \* 2. Field estimation of fifth-instar larval and pupal mortalities of codling moth by tagging with cobalt-58. *New Zealand Journal of Zoology*, 2(1), 135-148.
- Wearing, C. et Ferguson, A. (1971). Variation in the fecundity of the codling moth, *Carpocapsa pomonella* L. *New Zealand Journal of Science*, 47-61.
- Wearing, C. et McLaren, G. (2001). Evidence that sweet cherry, *Prunus avium* L. is not a host of codling moth, *Cydia pomonella*, (Lepidoptera: Tortricidae). *Crop Protection*, 20(7), 571-579.
- Wearing, C. H. et Hutchins, R. F. N. (1973).  $\alpha$ -Farnesene, a naturally occurring oviposition stimulant for the codling moth, *Laspeyresia pomonella*. *Journal of Insect Physiology*, 19(6), 1251-1256. doi: 10.1016/0022-1910(73)90208-4

- Westgard, P. H. (1979). Codling moth: control on pears with diflubenzuron and effects on nontarget pest and beneficial species. *Journal of Economic Entomology*, 72(4), 552-554.
- Whitaker, B. D., Solomos, T. et Harrison, D. J. (1998). Synthesis and oxidation of  $\alpha\pm$ -farnesene during high and low O<sub>2</sub> storage of apple cultivars differing in scald susceptibility.
- Williams, R. R. (1965). The Effect of Summer Nitrogen Applications on The Quality of Apple Blossom. *Journal of horticultural science*, 40(1), 31-41. doi: 10.1080/00221589.1965.11514118
- Witzgall, P., Bengtsson, M., Rauscher, S., Liblikas, I., Bäckman, A. C., Coracini, M., Anderson, P. et Löfqvist, J. (2001). Identification of further sex pheromone synergists in the codling moth, *Cydia pomonella*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 101(2), 131-141.
- Witzgall, P., Stelinski, L., Gut, L. et Thomson, D. (2008). Codling moth management and chemical ecology. *Annual Review of Entomology*, 53, 503-522.
- Wollkind, D. et Logan, J. (1978). Temperature-dependent predator-prey mite ecosystem on apple tree foliage. *Journal of Mathematical Biology*, 6(3), 265-283.
- Wood, T. G. (1965). Field Observations On Flight And Oviposition Of Codling Moth (*Carpocapsa pomonella* (L.)) and mortality of eggs and first-instar larvae in an integrated control orchard. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 8(4), 1043-1059. doi: 10.1080/00288233.1965.10423735
- Wu, J., Albert, L. P., Lopes, A. P., Restrepo-Coupe, N., Hayek, M., Wiedemann, K. T., Guan, K., Stark, S. C., Christoffersen, B. et Prohaska, N. (2016). Leaf development and demography explain photosynthetic seasonality in Amazon evergreen forests. *Science*, 351(6276), 972-976.
- Wu, Z.-W., Yang, X.-Q. et Zhang, Y.-L. (2015). The Toxicology and Biochemical Characterization of Cantharidin on *Cydia pomonella*. *Journal of Economic Entomology*, 108(1), 237-244. doi: 10.1093/jee/tou031
- Xue, H., Zhang, B., Tian, J.-R., Chen, M.-M., Zhang, Y.-Y., Zhang, Z.-H. et Ma, Y. (2017). Comparison of the morphology, growth and development of diploid and autotetraploid 'Hanfu' apple trees. *Scientia Horticulturae*, 225, 277-285.
- Yan, F., Bengtsson, M. et Witzgall, P. (1999). Behavioral Response of Female Codling Moths, *Cydia pomonella*, to Apple Volatiles. *Journal of Chemical Ecology*, 25(6), 1343-1351. doi: 10.1023/a:1020978826346
- Yang, Z., Bengtsson, M. et Witzgall, P. (2004). Host Plant Volatiles Synergize Response to Sex Pheromone in Codling Moth, *Cydia pomonella*. *Journal of Chemical Ecology*, 30(3), 619-629. doi: 10.1023/B:JOEC.0000018633.94002.af

- Zguigal, A., Chahbar, A., Loudiyi, D. et Crabbé, J. (2006). Caractéristiques de la dormance des bourgeons du pommier dans les régions à hiver doux. *Biotechnologie, agronomie, société et environnement*, 10(2), 131-137.
- Zhang, Y. X. et Lespinasse, Y. (1988). Culture in vitro d'ovules non fécondés et d'embryons prélevés 8 jours après pollinisation chez le pommier cultivé (*Malus domestica* Borkh.). *Agronomie*, 8(10), 837-842.