

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

M. HMIMINA¹, S. IRAQUI²

(Reçu le 02/12/2014; Accepté le 06/12/2014)

Résumé

Le carpocapse (*Cydia pomonella* L.), effroyable ravageur des rosacées à pépins, cause régulièrement des dommages considérables dans les vergers. Afin de déterminer son voltinisme, nous avons suivi son vol pendant huit saisons (2006-2013) dans un verger à Azrou. Sur la base des captures des mâles dans les pièges sexuels et la méthode des degrés-jours, le carpocapse développe quatre générations dont deux complètes et deux rendues partielles par la diapause.

Mots-clés: *Cydia pomonella*, Carpocapse, Voltinisme, Cycle annuel, Générations, Piégeage sexuel, Degrés-jours.

Abstract

The codling moth (*Cydia pomonella* L.) is a frightful pest in apple fruit production. Its presence in orchards is the cause of considerable damage and fruits are usually unmarketable. In order to determine voltinism of codling moth, the present study investigated the flight movement of populations during 8 growing seasons (2006-2013) in an orchard at Azrou region. The results based on capture of males in the traps and degree days method reveal that *Cydia pomonella* (L.) can occur in 4 generations. However, in real conditions, the photoperiod, temperature and food availability influence strongly the insect diapause and we have consequently two complete generations while the third and incidentally the fourth are partial.

Keywords: *Cydia pomonella*, Codling moth, voltinism, Annual generations, Sexual trapping, Degree-days.

INTRODUCTION

Originaire du Sud-est de l'Europe, *Cydia pomonella* L., redoutable ravageur des rosacées à pépins, infeste toutes les zones de production du pommier, du poirier, du cognassier, du noyer, etc. Son aire de répartition, allant du tempéré froid au méditerranéen, est le résultat d'une efficace conquête territoriale favorisée par l'homme et confortée par sa diapause larvaire facultative.

Aujourd'hui, bien installé à tous égards sur une large bande de latitudes, où il s'affirme et se développe lourdement, il est tellement redouté des arboriculteurs, que sa présence dans un verger commercial décline la production ou rend sa mise sur le marché difficile, voir même faire disparaître à la longue l'exploitation. Et, en fait de dommages, parler du pommier entre professionnels c'est parler du carpocapse. Il a pris le pas sur tous les ravageurs du verger et, à force de le craindre et à chercher à s'en défendre, la lutte est devenue trop lourde et son coût prohibitif pour les pomiculteurs.

Ne pouvant mettre à distance les attentes des producteurs, et pour consolider la pratique de lutte anti-carpocapse et les aider à réduire ses dommages qui mettent en péril la récolte, nous avons suivi ses populations sur une longue période dans une région traditionnelle de production fruitière. L'objectif est de détailler les particularités de son

cycle, données éminemment essentielles à une protection conforme aux principes d'une lutte raisonnée.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Site de l'étude

Le verger, support de l'étude, s'étend sur une superficie de 35 ha plantés en pommier (Golden delicious, Red delicious, Gala, Juliette), en prunier (Sun, Fortune, Black Amber) et poirier (Doyenne de Comice, Guyot). Cerné par de nombreuses autres plantations, il est situé à 8 km d'Azrou, plus précisément dans la vallée de Tigrigra, dénommée à juste titre la vallée de la pomme, caractérisée par des hivers froids, des étés chauds et secs et souvent orageux.

Piégeage

La lutte anti-carpocapse est fondée sur le piégeage sexuel. Pour cela des pièges sont placés dans le verger à une distance minimale de 50 mètres les uns des autres, en conservant un éloignement d'une dizaine de mètres des bordures. Chaque piège est identifié par un numéro afin de mettre en évidence un éventuel effet de l'emplacement ou de permettre l'acquisition d'informations bien plus

¹ Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, BP 6202 Rabat-Instituts

² Centre Régional de la Recherche Agronomique de Meknès BP 578, Meknès

précises sur l'occupation du verger par l'insecte. Assez généralement, les infestations sont plus fortes dans certains endroits du verger que d'autres.

Les pièges, suspendus sur l'arbre à hauteur d'homme, sont triangulaires et chromatiques, de couleur jaune muni d'une plaque engluée et d'une capsule micro-dosée que les techniciens du domaine remplacent toutes les quatre semaines. Les plaques engluées, lieu de pose des mâles attirés, sont renouvelées selon l'abondance de la couche d'impuretés déposées dessus (en moyenne 3 et 5 semaines).

Le rôle des pièges étant d'avertir, les techniciens passent 3 fois par semaine à jour fixe pour leur relevé. On dispose donc de 3 observations par semaine pour chaque piège d'un réseau de 10 éléments. Des visites ponctuelles supplémentaires sont effectuées pour s'assurer de leur bon fonctionnement et dissiper le doute qui accompagne parfois le rendement de certains pièges.

Les pièges sont placés habituellement de mi-avril à la récolte. Une limite de 5 papillons englués sur six jours consécutifs est retenue comme seuil d'intervention. Dans la parcelle où plusieurs pièges sont installés, c'est le piège le plus pessimiste qui conditionne la décision du traitement.

Précisions sur la délimitation des générations

Au moyen des captures des pièges

Les hausses et les chutes plus ou moins spontanées et brutales dans les prises sont fréquentes en raison de divers facteurs influençant le procédé. Les plus connus sont la compétition, l'activité, l'âge, la densité, le modèle de piège, la phéromone, l'emplacement, la densité des pièges, la situation régionale, les conditions climatiques, les traitements, etc. (Charmillot et al. 1975; Riedl 1980; Hmimina, 2014). Et, tant que les captures demeurent les résultats d'un mélange artificiel d'éléments comportementaux et biologiques, l'enchevêtrement de ces facteurs ne permet qu'une approximation grossière de la masse des populations, donnée fondamentale dans la délimitation des générations. Néanmoins, dans le cas qui sera développé ici, la durée de l'étude et la grande accumulation des données, qui en résulte, atténue ces biais pour nous permettre de borner avec arguments le renouvellement des générations successives du ravageur mais qui certainement s'emboîtent, se combinent, interagissent sans jamais être réductibles à des entités bien précises.

Nos observations sont conduites dans un verger privé, aucune suspension de traitements insecticides n'a été sollicitée ou autorisée. Les parcelles ont été soumises sans altération à l'itinéraire de traitements dicté par les pièges. Arbitrairement, une hausse significative et stable des captures, suivie d'un inter-vol suffisamment long (± 30 jours) avec peu de captures, indique un vol naissant ou finissant assimilable au démarrage ou à la fin d'une génération.

Au moyen des températures (règle de la constante thermique)

Aux classiques travaux de détermination des générations par dénombrement, sont venus s'ajouter des travaux proprement de modélisation qui s'intéressent aussi bien aux logiques du développement des insectes que de leur évolution dans les champs. Ici, parallèlement à la poursuite des vols annuels et à la mise en évidence des générations selon les mouvements des captures, une déduction des générations de l'insecte sur la base des degrés-jours est tentée. Les seuils de développement et les exigences thermiques du carpopapse étant connus (Wildbolz, 1965), notre simulation permettra de comparer ce qui est observé à ce qui est attendu par le modèle prévisionnel de développement fondé sur la somme des degrés-jours (DJ). La quantité d'énergie nécessaire au développement d'une génération du carpopapse est de 550DJ. Nous retenons cette valeur et fixons 10°C comme base thermique et le 1^{er} avril quantième du début du calcul calorique (biofix).

Les degrés-jours sont estimés à l'aide d'équations appropriées aux trois situations susceptibles de se présenter (Sevacherian et al. 1972; Hmimina, 1986) (Figure 1):

- **Situation 1:** températures maximum et minimum inférieures à 10°C: pas de gain énergétique chez l'insecte (0DJ);
- **Situation 2:** température minimale inférieure à 10° et maximale supérieure à 10°C: le gain énergétique est symbolisé par la surface d'un triangle BCD. Ce triangle étant semblable ACE, nous avons : $BD / AE = CD / CE$ soit $BD = (AE \times CD) / CE = 12 (T_{max} - \text{seuil}) / (T_{max} - T_{min})$. La quantité de degrés jours est $12(T_{max} - S)^2 / 48(T_{max} - \min)$ soit $(T_{max} - S)^2 / 4(T_{max} - \min)$.

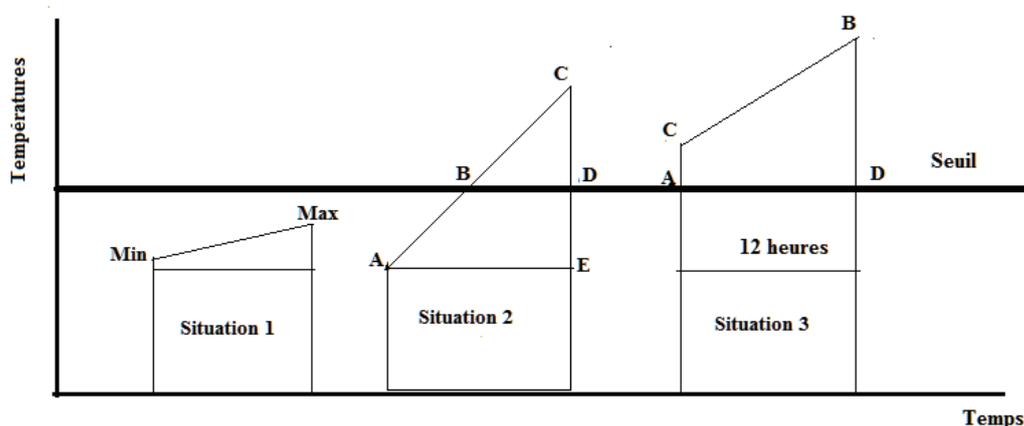


Figure 1: Méthodes de calcul des degrés-jour selon les situations

• **Situation 3:** températures maximale et minimale supérieures à 10 : l'énergie accumulée est symbolisée par la surface d'un trapèze ABCD soit $AD \times (AB + CD) / 2$ ou $(T_{max} + T_{min} - 2S) / 4$ (Figure 1).

Les températures utilisées dans ces calculs sont prises auprès de la station météorologique d'Azrou.

RÉSULTATS

Délimitation des générations par les pics de vol

Les analyses annuelles sont présentées ci-après.

Année 2006

En considérant toute la saison de piégeage, 1234 individus ont été capturés entre la première semaine de mai et le 15 septembre, soit, en moyenne, 120 mâles/piège/semaine. Dans la forme, l'allure du vol annuel se montre bimodale avec une première pointe de 341 mâles la première semaine de mai et l'autre, de 275 individus, dès la première semaine de juillet (Figure 2). Entre ces pics dominants, les prises baissent drastiquement rendant le découpage en générations malaisé. Ainsi, difficilement représentable sous une forme visible, les allures des générations développées présenteraient alors l'enchaînement suivant: la première (57,3% des captures annuelles) a lieu entre le 1^{er} avril (date jalon du démarrage de l'activité de l'insecte appelée aussi biofix) et le 8 juin. La seconde, d'un poids de 39,9%, du 9 juin au 2 août. La troisième, peu abondante (2,7%) en raison de la diapause, couvre pleinement le mois d'août (Tableau 1). La courbe de tendance (polynôme d'ordre 6) soutient parfaitement ce découpage.

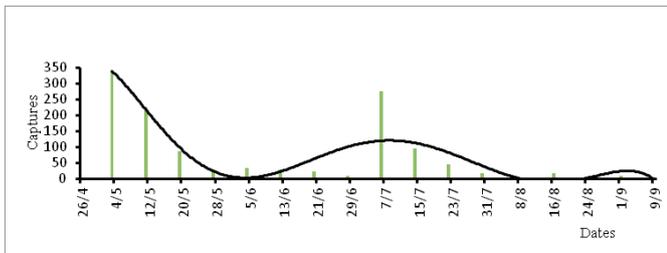


Figure 2: Évolution hebdomadaire des captures dans le verger Ghita et courbe de tendance du vol en 2006

Année 2007

Les captures réalisées durant cette campagne, bien tronquées par le retard involontaire pris par le lancement du piégeage, cumulent 2240 individus répartis sur 14 semaines de suivi, soit en moyenne 160 mâles/semaine. Le premier cycle présomptif d'activité, incertain en raison de ce retard, mais dont on peut fixer le départ au 1^{er} avril, finit vers le 20 juin. Il représente 35.9% des captures saisonnières. Il est suivi d'un autre démarrant à cette date et s'achevant aux alentours du 17 juillet, rendu manifeste par les captures remarquables de 391 mâles/piège la première semaine de ce mois. Sa participation dans le vol annuel est de 41,4%. Vient le troisième cycle, assez pléthorique pour cette période, qui s'étale de mi-juillet à début septembre et dont les captures représentent 22,7% (Tableau 1). Un quatrième cycle révélé par les abondantes captures de la première semaine de septembre était en train

de s'ébaucher mais malencontreusement étouffé par l'arrêt brusque du piégeage en raison des occupations générées par la récolte, opération bien chronophage. La tendance dessinée par la courbe fait ressortir nettement ce début de génération d'automne, assez encombrante, que nous n'avons pas eu les moyens de discerner matériellement (Figure 3). Cette tendance montre ce que le ravageur peut cacher comme surprise certaines années.

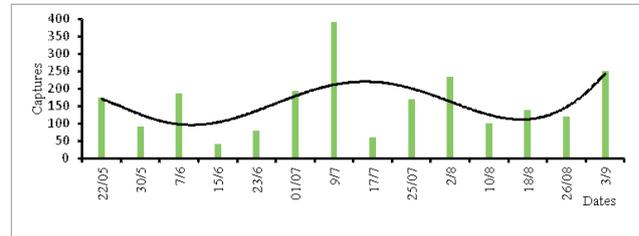


Figure 3: Évolution hebdomadaire des captures dans le verger Ghita et courbe de tendance du vol en 2007

Année 2008

Les captures de 2008 massent 1889 individus saisis pendant 16 semaines et dont l'allure générale du vol est marquée de multiples extremums (Figure 4). Trois cohortes entières, rendues manifestes par les dépressions et les pics, peuvent être reconnues au moyen de la courbe de vol auxquelles il est possible d'ajouter le démarrage d'une quatrième partielle mais ratée par l'interruption du piégeage. La première issue des larves hivernantes, représentant 27% des mâles englués, prend fin aux alentours du 15 juin. La seconde s'insère entre le 16 juin et 2 août. Elle détient près de 48% de la masse piégée. Débute l'avant dernière cohorte allant du 2 août à la fin de ce mois et qui représente 25% des prises annuelles (Tableau 1). La dernière, confuse et indistincte, démarre la première semaine de septembre. La tendance du vol décrite par la courbe polynomiale montre qu'il prospère en 3 records de captures entrecoupés de 2 creux descriptifs du large chevauchement des générations, particulièrement celle d'été avec les deux autres.

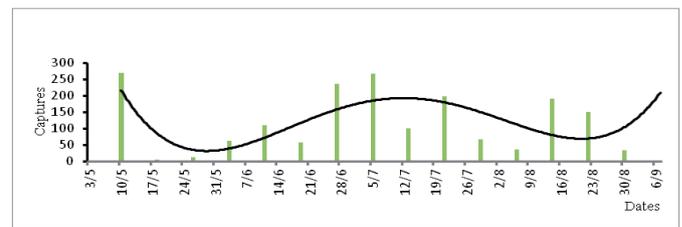


Figure 4: Évolution hebdomadaire des captures dans le verger Ghita et courbe de tendance du vol en 2008

Année 2009

Les 1074 papillons englués cette année peuvent être dissociés nettement en 3 ensembles juxtaposés (Figure 5). Le premier, relativement faible, couvrant la période du 1^{er} avril au 18 juin, concentre 30% des prises de l'année. Le deuxième, se déploie entre cette date et la première semaine d'août. Ses volumineux effectifs totalisent près de 64% des captures annuelles. Il est prolongé par un troisième vol bien anodin (6% des captures) perceptible au-delà du 5 août (Tableau 1). La tendance annuelle du vol se présente sous forme de cloche arborant ainsi l'importance du vol estival.

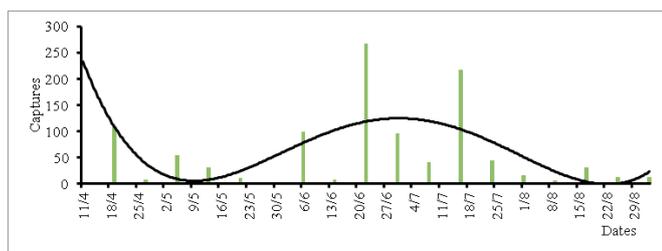


Figure 5: Évolution hebdomadaire des captures dans le verger Ghita et courbe de tendance du vol en 2009

Année 2010

Trois grandes périodes d'activité caractérisent le vol de 2010 où 894 papillons seulement ont été piégés. La première, survenant entre le 1^{er} avril et 17 juin, regroupe à elle seule 61% des captures annuelles avec un pic saillant de 295 papillons la première semaine de mai. La seconde représente 20.7% et prend fin le 28 juillet. La troisième se produit entre la dernière semaine de juillet et début septembre. Ses captures valent 18% des prises annuelles (Figure 6 et Tableau 1). Au sujet de la tendance du vol de cette année, elle montre 2 enveloppes où la printanière est bien nette. Mais celle qui suit, supposée couvrir les générations d'été et de début automne, paraît diffuse et étalée dans le temps.

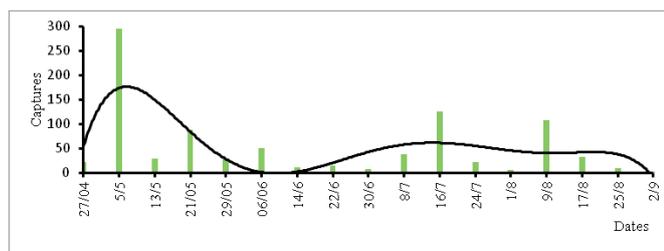


Figure 6: Évolution hebdomadaire des captures dans le verger Ghita et courbe de tendance du vol en 2010

Année 2011

La courbe de vol décrite par la figure 7, du reste assez plate et d'effectif réduit (614 individus), fait ressortir trois foudres successives s'enchainant de la manière suivante: la première, la plus abondante (63% des prises), se produit entre le 1^{er} avril et le 20 juin. La deuxième (16,6%) prend forme entre 20 juin et 4 août, à laquelle fait suite une troisième (18% des prises) entre début août et début septembre (Figure 7 et Tableau 1). La courbe de tendance associée au vol fait ressortir 3 saillies dont seule la première relative au vol issu des hivernants paraît préminente et distincte.

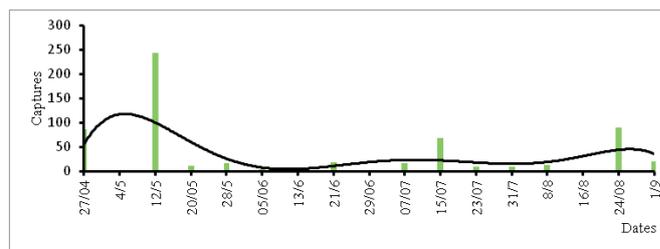


Figure 7: Évolution hebdomadaire des captures dans le verger Ghita et courbe de tendance du vol en 2011

Année 2012

Cette année, 1468 papillons ont été capturés et différenciables en 3 masses imparfaitement juxtaposées. La première, au commencement incertain et faible (26% du total piégé), se termine le 21 juin. La seconde, la plus abondante (41%), finit le 2 août. La troisième (33,3%) commence la première semaine d'août et s'estompe vers début septembre (Figure 8 et Tableau 1). La courbe décrivant la tendance de vol montre une animation bimodale avec un affaissement vers fin juillet.

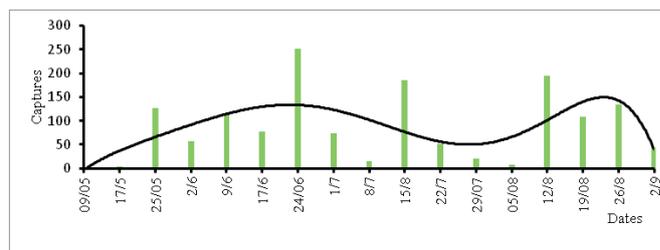


Figure 8: Évolution hebdomadaire des captures dans le verger Ghita et courbe de tendance du vol en 2012

Année 2013

Pendant cette saison, 1731 papillons ont été capturés témoignant du regain d'activité du ravageur. Cette quantité peut être fragmentée en 3 successions dont la première coïncide avec le démarrage du vol et s'étale jusqu'au 1^{er} juillet. Elle détient à elle seule 65% du total piégé. La deuxième couvre la durée comprise entre début juillet et 10 août (31% des captures). La troisième, bien négligeable, débute vers le 10 août (Figure 9, Tableau 1). La courbe de tendance fait état d'un mouvement de vol dressé sur le même ton.

Tableau 1: Contribution (en %) des générations dans le vol annuel et éventualité d'une G4 (0 = non, 1 = oui)

Années	Captures totales	G1	G2	G3	Eventualité de G4
2006	1.234	57,3	39,9	2,7	0
2007	2.240	35,9	41,4	22,7	1
2008	1.889	27,0	48,0	25,0	1
2009	1.074	30,0	64,0	6,0	0
2010	894	61,0	20,7	18,0	1
2011	614	63,0	16,6	18,0	1
2012	1.468	26,0	41,0	33,3	1
2013	1.731	65,0	31,0	4,0	0
Moyenne	1.393	45,65	37,82	21,5	5/8 (62,5%)

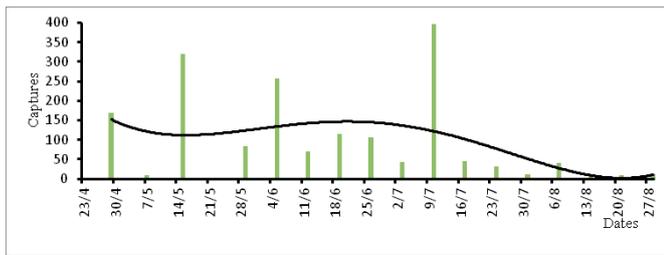


Figure 9: Évolution hebdomadaire des captures dans le verger Ghita et courbe de tendance du vol en 2013

Délimitation des générations par la somme des degrés-jours

Rappelons que la quantité de degrés-jours nécessaire au développement d'une génération est de 550. Les contours des générations définis sur la base de cette valeur et les températures propres à chaque année d'observation, sont représentés par la figure 10. Un survol de ces figures permet de préciser que le carpocapse, comme tout autre arthropode, est assujéti aux températures annuelles qui affectent différemment son cycle.

Année 2006

Les températures de cette année, très favorables au développement du carpocapse, permettent l'enchaînement de 4 générations entre le 1^{er} avril et fin septembre. La première, débutant le 1^{er} avril, prend fin le 9 juin. La seconde s'étend du 9 juin au 21 juillet. La troisième, partielle, se termine vers le 25 août. Enfin, une quatrième, largement imparfaite et quantitativement faible, exploiterait les conditions de septembre (Figure 10). Mais comme la diapause tend à l'emporter, à terme, ces toutes dernières larves annuelles entrent en dormance, gonflant ainsi l'effectif hivernant de la 3^{ème} génération.

Année 2007

Cette année, 2 générations complètes et une troisième partielle semblent caractériser le développement fictif de l'insecte. La première, bien lente, concorde avec la période allant du 1^{er} avril au 30 juin. La seconde finit vers le 5 août. La troisième commence à partir de cette date et prend fin, eu égard aux conditions thermiques enregistrées, la première semaine de septembre (Figure 10). En toute logique, quelques larves échappées à la diapause se développeront sûrement puisque les conditions thermiques leur offrent la possibilité, et, conséquemment, si certaines d'entre-elles sont plus ou moins tardivement exposées à la sanction de la récolte elles finiront leur évolution dans les entrepôts. Ces chenilles qu'on peut qualifier de squatters car elles se fixent sur les palox, les palettes et les caisses et les effectifs en vol dans les frigos et alentours confirment cette observation.

Année 2008

A l'identique de 2007, l'offre climatique de 2008 satisfait au développement de l'insecte en 3 générations aussi. La première s'achève le 24 juin, la seconde la dernière semaine de juillet et la troisième, naturellement partielle, la première semaine de septembre (Figure 10).

Quelques individus sans diapause de la 3^{ème} génération se développeront en génération subsidiaire incomplète, si toutefois les aléas de tenir jusqu'à l'entrée en diapause les laissent faire.

Année 2009

Selon le même procédé, un constat similaire aux deux années antérieures peut être dressé. La première génération commence le 1^{er} avril et s'achève le 21 juin. La seconde, qui la relaye cesse le 31 juillet. La troisième, évidemment partielle en raison de la diapause, cesse le 8 septembre (Figure 10). Quelques larves donneraient une quatrième génération mais doivent affronter l'hostilité grandissante du climat et, rappelons-le, la pénurie alimentaire imposée par la récolte particulièrement.

Année 2010

En 2010, la première génération prend fin le 22 juin. La seconde s'étend du 23 juin au 30 juillet. Le troisième, toujours partielle, commence à cette date et s'achève le 6 septembre. Ses larves non dormantes ont encore toutes les éventualités de poursuivre leur développement jusqu'au stade d'entrée en diapause si toutefois la récolte qui participe fortement au brouillage le permet (Figure 10).

Année 2011

Le cycle de 2011 n'est guère différent de celui des années 2010 et 2009 (Figure 10). Trois générations se dessinent : la première prend fin le 21 juin, la seconde le 2 août et enfin une troisième partielle s'achevant le 13 septembre et dont les individus non diapausants poursuivront leur développement sous les conditions de septembre fortement inductrices de diapause (baisse accentuée de température, maturation poussée des fruits, abaissement soutenu de la longueur du jour).

Année 2012

Cette année, l'insecte semble se caractériser par un développement rendu hâtif par la température puisque les 550, les 1100 et les 1650 degrés jours limitatifs des 3 générations successives sont atteints respectivement le 22 juin; le 30 juillet et le 25 août (Figure 10). Il résulte de cette précocité une quatrième génération dont l'opulence découle naturellement de la proportion de chenilles non-diapausantes de l'ascendance (G3).

Année 2013

Les quantités d'énergie accumulées permettent la formation de trois générations. La première s'achève à l'issue des 550 DJ nécessaires à son développement soit le 29 juin. La seconde, s'engage le 30 juin et finit le 4 août. La troisième, au développement plus long que tout ce qui a été observé jusqu'alors, se termine la dernière semaine de septembre (Figure 10).

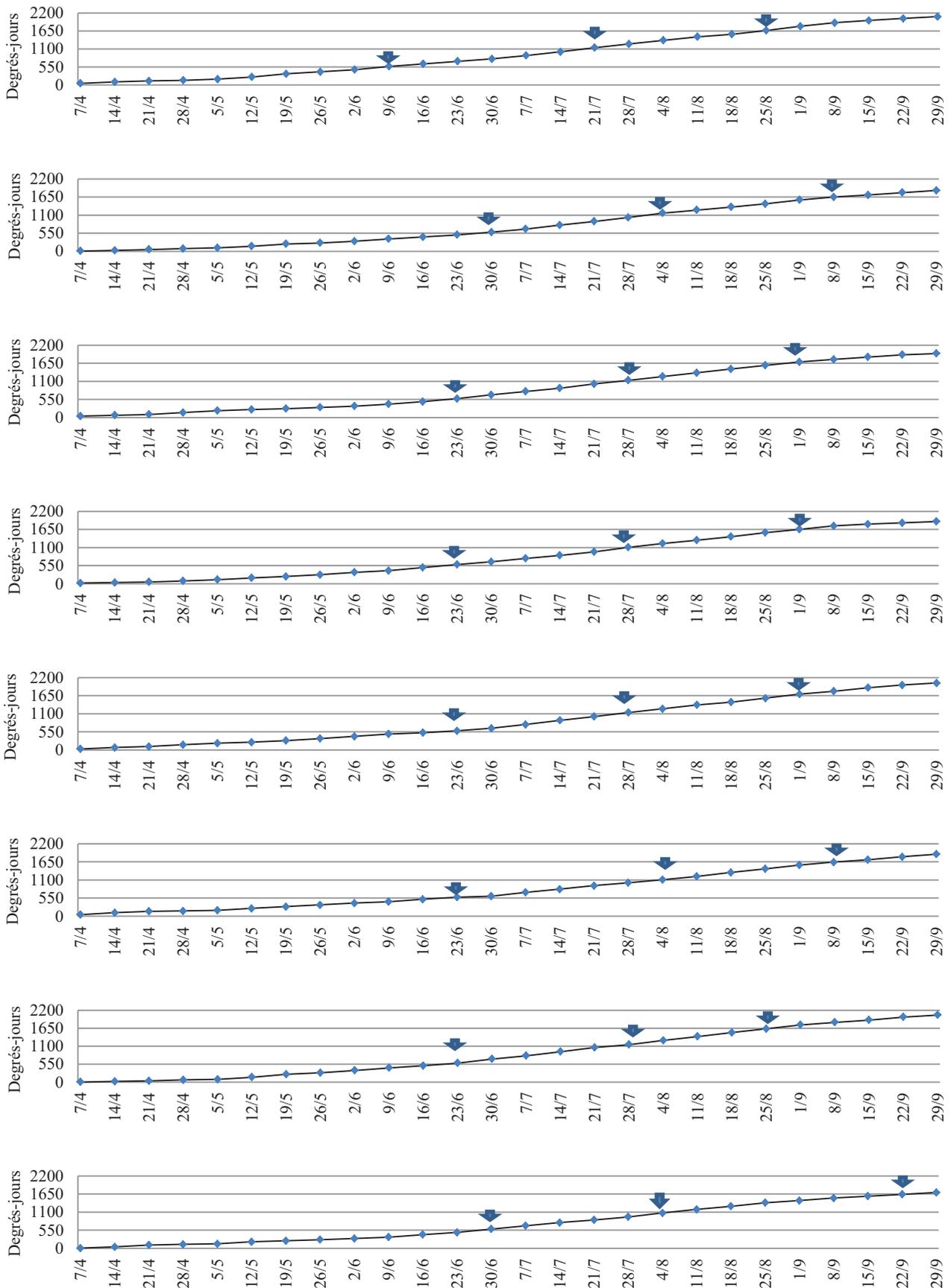


Figure 10: Générations prévisionnelles de *C. pomonella* en fonction des degrés-jours (De haut en bas 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013)

Tableau 2: Récapitulation des évaluations fournies par les 2 méthodes

Généra-tions	2006		2007		2008		2009		2010		2011		2012		2013		Durée moyenne (en jours)	
	DJ	Vol	DJ	Vol														
G1	9/6	8/6	30/6	20/6	23/6	15/6	23/6	18/6	23/6	17/6	23/6	20/6	23/6	21/6	30/6	1/7	82,9	79,1
G2	21/7	2/8	4/8	17/7	28/7	2/8	28/7	5/8	28/7	28/7	4/8	4/8	28/7	2/8	4/8	10/8	38,6	31,8
G3	25/8	30/8	8/9	3/9	1/9	30/8	1/9	2/9	1/9	2/9	8/9	1/9	25/8	2/9	22/9	5/9	34,8	31,2
Cycle total (jours)	146	151	160	155	153	151	153	154	153	154	160	153	146	154	174	157		

Juxtaposition des évaluations fournies par les 2 méthodes

Les deux méthodes, soigneusement séparées, offrent chacune une description propre du cycle synthétisée dans le tableau 2. Les extraits saillants de ce rapprochement sont: dans 62,5% des cas, l'écart entre ce qui est vraisemblable (DJ) et procuré par le piégeage est ≤ 5 jours. Cette adéquation presque parfaite unit les dates relatives à la première génération de 2006, la G3 de 2007, 2008, 2009 et toutes les générations de 2010 et 2011. Dans 25% des moments, le décalage est inférieur à 10 jours. Pour le solde de 12,5%, la déviation est importante car elle excède 10 jours (environ 1/3 d'une génération). C'est le cas de la G2 en 2007 et G3 en 2013. Cet accollement d'un avantage pratique montre que la génération la plus longue est celle de printemps. Ce qui est attendu, en raison des températures nocturnes bien fraîches d'avril et mai et des étalements de sortie de diapause. Sous ces conditions son développement excède les 80 jours (Tableau 3).

DISCUSSION ET CONCLUSION

Par deux voies différentes, sans que l'une emprunte réellement quelque chose à l'autre, les captures au piège et les degrés-jours, nous avons cherché à superposer les images qu'elles produisent dans la configuration du cycle du Carpopapse. En toute hâte, celui-ci, manifestement instable dans le temps, paraît potentiellement organisé en 4 générations dont 2 complètes et 2, la 3^{ème} et accessoirement la 4^{ème}, rendues d'expression partielle par la diapause. L'inaccomplissement des deux dernières générations procède d'une équation spatio-temporelle dont les termes sont fixés par la trilogie photopériode-température-alimentation, facteurs que les études y afférentes reconnaissent comme essentiels dans la manifestation de cet état (Riedl et Croft, 1978; Sheldeshova, 1967; Brown et al., 1978). Et sur cette interaction que se fondent les différences observées dans la bionomie de l'insecte et éclaircissent par la même occasion son lien avec son milieu.

Dans ce genre d'étude, annonçons-le de suite, les problèmes majeurs rencontrés dans l'extraction et l'identification des générations à partir d'une masse abondante de données découlent du chevauchement occasionné par le multivoltinisme. Celles-ci ne sont pas disjointes mais forment comme un continuum dans lequel les individus

communiquent dans un mouvement ininterrompu. Et bien que des creux, indices de faible activité, puissent paraître ici et là, l'emboîtement et l'irrégularité ne permettent pas de déterminer aisément des périodes critiques.

Que la procédure des degrés-jours passe outre ces difficultés et soit plus simple à appliquer et franche dans ses apports ne fait aucun doute. Elle s'apparente à un simple expédient, applicable à tout, nécessitant un seuil thermique, une quantité d'énergie préétablie, une date jalon de la reprise d'activité de l'insecte et des relevés thermiques fiables et réguliers. Cela peut plus ou moins bien fonctionner chez les espèces homodynames, mais dès qu'il s'agit de polyvoltines, dotées de surcroît d'une diapause, le problème se complique. L'acquisition de connaissances plus précises et plus larges, incluant des constatations non seulement en éthologie mais aussi en écophysiologie, grâce à des observations d'accompagnement adaptées, devient alors patente. Sans quoi, l'interprétation est purement spéculative. Exemplairement, au-delà de début juin, un simple coup d'œil sur les courbes de vol nous amène à nous demander qui et qui est d'une telle ou telle génération? Cette difficulté est bien montrée par les courbes de tendance des vols. Celles-ci, gommant les singularités pour ne donner que des orientations, laissent voir parfaitement que la concordance n'est pas toujours simple à mettre en œuvre. Et, plus la saison progresse, plus on découvre l'inexactitude et l'arbitraire de la méthode. Une mesure confirmative de cette difficulté est la distance, en degrés-jours, entre les limites présumées de vols. Combinant à la fois les confusions des données de piégeage, en raison des multiples aléas les perturbant, et la simplicité des quantités d'énergie, elle souligne sensiblement les faiblesses des procédures. A titre d'exemple, en 2006, la quantité d'énergie entre les fins estimées de G1 (8/6) et G2 (2/8) est de 795 DJ. Ce qui est bien sûr autre que les 550 DJ fixés par la règle de la constante thermique.

Ces écarts, en plus ou en moins, se retrouvent en 2007, 2008, 2010 et 2011. Et, banalement, ce qui est perdu pour l'un des entre-pics est pris par l'autre de telle manière que le total énergétique est toujours plus ou moins constant (Tableau 3). C'est normal si l'on s'intéresse aux méthodes qui, par leur caractère artificiel, nous ont permis de fixer les arrêts. Une telle conception a des répercussions sur le découpage car nous ne disposons d'aucun ordre fixe pour classer dans la nature les individus en générations si ce n'est cette manière stochastique. Et l'excès de stochastique conduit à l'absurdité: celle d'oublier l'animal et son milieu, convertis en chiffres !

Pour des besoins pratiques, on se focalise trop sur les générations, qui sont loin d'être normées, homogènes et régulières. Nous nous efforçons de ranger les individus dans des cases, oubliant que le monde vivant est un continuum dans chacun de ses aspects. Or chez les espèces nuisibles aux cultures, il est possible d'aménager les stratégies de lutte et d'en augmenter l'efficacité sans nécessairement connaître en détail ces générations dans la mesure où la période de risque suffit. Pour le carpocapse, elle s'étend de la nouaison à la récolte. Et dans chacune de ses générations évoluant sur cette période, les dispersions individuelles peuvent prendre autant de distances interindividuelles que les diversités entre générations. Pour traduire cet échelonnement, il nous faut pénétrer plus en avant dans les subtilités de la diapause.

Lorsqu'on considère dans le détail le réveil des populations, il n'est pas exceptionnel qu'un mâle d'une G2 avérée puisse s'accoupler avec une femelle retardataire de G1 et une très précoce de G3, ou inversement. La nature de notre exemple est un peu simpliste et lapidaire, mais de tels appariements sont fréquents. Certains mâles et femelles peuvent être impliqués à la fois dans les activités d'une génération et d'une autre dans une même période de temps. Dès lors, nous comprenons la difficulté de poser avec précision des dates frontières entre générations, et même lorsqu'on y arrive ce n'est que d'une manière stochastique, répétons-le. Les prises aux pièges, soumises à de multiples influences discrètes ou importantes, ne renseignent forcément pas avec justesse sur ces démarcations. Cela tend à dire que la dynamique des facteurs qui rendent difficiles ces bornages s'appuie sur trois points de nature fluctuants: l'entrée en diapause, la sortie de diapause et le piégeage sexuel.

Dans la description des populations, l'effectif et la diapause sont les deux inconnues dont l'appréciation est fondamentale. Ces deux modalités sont à tout moment influencées par le climat, les disponibilités alimentaires et les multiples interventions anthropiques volontairement omises dans ce travail. D'une année à l'autre, il est essentiel de comprendre que le développement qui engage

l'insecte dans une évolution à 3 ou 4 générations n'est ni rigide ni fixe. Il est le plus souvent le résultat d'un équilibre engendré par les circonstances du moment. Or, justement, dans la région d'Azrou, située à 33°43' de latitude nord, les facteurs d'induction de la diapause s'exacerbent ou s'effondrent à partir d'août et avec eux, c'est logique, le ratio diapausants - non diapausants, élément majeur qui serre ou desserre le vol d'août et septembre. Dans ce contexte, les travaux de Riedl et Croft (1978) conduits sur 16 populations nord américaines de carpocapse, étalées sur des latitudes comprises entre 43°50'N et 33°25'N apportent une synthèse intéressante quant à l'effet de la latitude sur les seuils photopériodiques critiques d'induction de diapause. La latitude d'Azrou étant comprise dans la gamme testée; dans ce lieu, selon la formule de Riedl et Croft, les photopériodes critiques pour obtenir 50% et 90% d'entrée en diapause seraient respectivement: $CPhP50 = 10,242 + 0,1226 \times 33^{\circ}43'$ soit 14 h 18 mn et $CPhP90 = 9,962 + 0,1211 \times 33^{\circ}43'$ soit 13 h 57 mn. Traduits en dates, les seuils de 14 h 18 mn et 13 h 57 mn coïncident respectivement dans notre environnement avec 10 juillet et 5 août.

Dans l'absolu, la rationalité de cette démarche prédit une entrée en diapause beaucoup plus précoce que ce qui est reconnu. Inopinément, une fraction de la population, difficile à évaluer, rentrerait alors dans le cercle vicieux d'une sortie de diapause pour en subir les effets d'une autre. Elle serait monovoltine, au pire partiellement bivoltine, bien que les conditions thermiques soient apparemment fortement inhibitrices de diapause. En effet, la réponse à la photopériode est complémentaiement modelée par les conditions thermiques. Celles-ci consolident ou défavorisent l'action primordiale de la photopériode. Sous l'action de douces températures le ralentissement de la vitesse de développement permet aux larves de rester plus longtemps photosensibles afin d'atteindre le nombre de cycles lumineux favorables à l'induction de la diapause.

Outre l'aspect génétique de cette expression, déjà souligné par Sheldeskova (1965) et Riedl et Croft (1978),

Tableau 3: Intervalle en degrés-jours entre pics de vol

Années	Dates intervalles entre pics de vol		Quantité DJ	Somme	Ecart
2006	8/6	2/8	795	1210	+245
	3/8	30/8	415		-135
2007	20/6	17/7	398	1107	-152
	18/7	1/9	709		+159
2008	15/6	2/8	735	1207	+185
	3/8	30/8	472		-78
2009	18/6	5/8	440	1175	-110
	6/8	2/9	735		+185
2010	17/6	28/7	623	1193	+73
	29/7	2/9	570		+20
2011	20/6	4/8	640	1176	+90
	5/8	8/9	536		-14
2012	21/6	2/8	668	1203	+118
	3/8	2/9	535		-15
2013	1/7	10/8	564	916	+14
	11/8	5/9	352		-198

une question induite par la confluence des travaux de ces chercheurs et nos observations surgit: la durée d'éclairement étant propice à la dormance, quel est l'impact de la quantité d'énergie cumulée entre le 10 juillet et le 5 août sur l'entrée en diapause de nos populations ? En rapport avec l'amplitude du cumul énergétique de cette période, on peut regrouper en trois catégories le type de réponse qu'il provoquerait (Tableau 4).

Tableau 4: Occurrence de diapause entre 10 juillet et 5 août selon les degrés-jours cumulés

Années	DJ cumulés entre 10 juillet et 5 août	Remarques
2011	339	Développement larvaire lent, propice à l'action de la photopériode: entrée en diapause améliorée, développement à 2 générations et une 3 ^{ème} partielle
2013	386	
2006	468	Développement larvaire assez rapide: modérément avantageux pour l'entrée en diapause, développement hétérogène à 2, 3 et 4 générations
2007	435	
2008	453	
2009	466	
2012	447	
2010	539	Développement larvaire hâtif, peu favorable à l'induction de la diapause par la photopériode: 4 ^{ème} génération bien justifiée

Pour la simulation, nous avons fixé, en considération de certains travaux références en la matière, arbitrairement, le biofix au 1^{er} avril. Or, si l'on se réfère aux conditions de la levée de dormance, Townsend (1926), Sheldeskova (1967), Peterson et Hamner (1968), pour ne citer que les pionniers, insistent tous sur un refroidissement des larves du carpocapse à des températures comprises entre 4 et 10°C.

Le séjour obligatoire au froid pour lever leur diapause dépend des températures hivernales des lieux. Il varie de 20 jours au moins à 4-5°C à plus de 50 jours à 4-7°C. Plus exactement, Peterson et Hammer obtiennent 50% de nymphose après un séjour de 480 heures à 4,5°C et 90% après 1680 heures. Ce grand écart, le collant aux exigences en froid de son hôte principal, montre combien la durée de la diapause et corollairement la reprise de l'activité sont variables.

Cette plasticité indispensable au maintien de la souplesse adaptative de l'insecte, rend l'interprétation des données capricieuse pour un usage pratique. Ainsi, l'utilisation tout à fait artificielle d'une date précise implique des résultats fondamentalement aléatoires. D'ailleurs, les interférences des autres éléments du milieu, variables dans le temps et dans l'espace, font certainement intervenir des modulations des réactions dont la conséquence directe est de faire réagir selon le moment, le lieu, les populations, une part plus ou moins importante des individus d'un espace

déterminé. Ce phénomène se retrouve intégralement dans la floraison du pommier. Le carpocapse et son principal hôte le pommier présentent les mêmes exigences écologiques.

Ces remarques, aux répercussions agronomiques importantes, étant formulées, il aurait fallu peut-être mieux prendre le 1^{er} mars comme base de cumul des températures effectives au-dessus du seuil de 10°C. Les différences entre les 2 choix, probablement ténues sous certaines latitudes en raison de la rigueur du climat, peuvent être bien visibles dans d'autres régions. Citons pour cela, ce que l'un de nous a observé dans un verger de la région d'Oulmès.

Dans cette contrée isolée, les premiers mâles ont été pris le 22 février 1995, après un cumul de 98 degrés-jours. Les prises suivantes ont eu lieu le 22 mars suite à un cumul de 177 degrés-jours (Hmimina *et al.*, 1999). Ces appréciations rejoignent celles établies sur la base du 1^{er} janvier pour des populations du nord de Californie à 38°12'N (136 DJ) et de Michigan 42°55'N (139 DJ) par Riedl et Croft (1978). Cela signifie que tout n'est pas au point pour l'insecte et que la rigueur avec laquelle nous traitons les données demeure très réductrice. Mais il est bien évident que nous ne pouvons prendre en compte tous les cas autorisés par la diversité des réactions de l'insecte.

On ne pourrait gérer toutes les activités d'une population naturelle de l'insecte comme on le fait en laboratoire. La réalité n'est pas conforme aux prédictions. Cette remarque nous semble si juste que les sorties précoces, preuves du caractère élastique des réponses de l'insecte, ne connaissent certainement aucun succès. Elles font partie de ses réserves. Et selon l'expression consacrée «voler de ses propres ailes» ne suffit pas aux exigences d'une vie que la réalité ne manquera pas de soulever face à ces prématurés.

Au sujet de l'étalement des émergences des papillons issus des larves hivernantes métamorphosées en nymphes, les observations conduites entre 2006 et 2008 (Hmimina, données non publiées) montrent que 5% des éruptions ont lieu avant le 5 avril, 50% avant fin mai et 100% avant 20 juin. Étant donné cette lente maturation, on n'échappe donc pas à l'engrenage du chevauchement et au panachage des générations et par conséquent à leur brouillage.

Revenons aux captures sur lesquelles nous avons fondé la prédiction des générations. L'arbitrage convenu met en jeu d'importantes différences numériques dans leur contribution au vol annuel. La première, bien que souvent tronquée par le retard pris par la mise en œuvre du piégeage, est la plus opulente (Tableau 1). A l'opposé, la plus efflanquée est la G3. Trois raisons, dont deux semblent manifestes, sont à l'origine de son affaissement.

La première, la plus abrupte, est l'entrée en diapause qui bloque le développement de l'insecte au stade larvaire. La seconde est la lutte chimique. Cœur du problème pour les producteurs, cette pratique refrène tant les populations larvaires qu'adultes. Certains insecticides, les organophosphorés notamment, ont une action remarquable sur les vols (Hmimina, 2014). La dernière, plus subtile, est que les femelles de fin été, comme celles

d'ailleurs issues d'hivernants, ont une faible fécondité (Deseö, 1973). Nous manquons d'éléments pour mettre l'accent sur cette assertion qui, paradoxalement, nous laisse perplexe face au poids que représente la G1 dans nos estimations. En définitive, si les constatations de Deseö fonctionnent assez bien dans un cas et mal dans l'autre, c'est vraisemblablement davantage en raison de l'étalement des sorties de diapause et du brassage générationnel qui en résulte.

En conclusion, les résultats présentés alimentent un flux abondant de réflexions sur la diapause, le voltinisme, les possibilités de modélisation du développement du ravageur dans les vergers où les besoins réels d'allègement de la lutte sont pressants. Pour résumer cette urgence, un petit retour en arrière nous semble édifiant. Dans nos conditions, nous sommes passés en une quinzaine d'années de 6 traitements fondés sur des produits pourtant durs à 12, parfois sans grand réconfort. Les désordres entraînés par cette défensive nécessaire et permanente sont déjà connus pour en discuter ici. Toutefois, évoquons-en deux, les plus fâcheux : la résistance et les problèmes d'acariens phytophages révélés par l'intensité de cette lutte anticarpocapse. La destruction, espérée comme définitive, de ces prédateurs n'est donc pas envisageable par les seuls moyens classiques.

Au sujet de la prévision par modélisation, nous ne pouvons croire à cette recette qui peut toutefois avoir les bénéfices escomptés dans les environnements à une et deux générations. Pour nous en tenir à l'objet et au lieu de notre étude, l'offre bioclimatique d'Azrou permet sans ambages le développement potentiel de 4 générations. Nous pensons que la difficulté pour l'insecte n'est certainement pas d'ordre thermique mais alimentaire, facteur selon lequel le cycle peut s'achever plus tôt ou plus tard selon la maturité et les récoltes.

Avant 2010, le ravageur habitait des vergers compris entre quelques centaines de mètres carrés et des dizaines d'hectares complantés de variétés peu diversifiées, donc à récolte quasiment groupée: Red delicious et Golden delicious pour le pommier, Guyot et Passe Crassane pour le poirier. Depuis, la décimation du poirier par le feu bactérien (2009-2012) et l'extension tant en variétés que superficies du verger pommier, prunier, pêcher, cerisier, etc. (Plan Maroc Vert), de tels changements rénovateurs qui font passer notre production fruitière de l'enfance à l'âge adulte, ne resteront certainement pas sans incidence sur les prédateurs, car parmi les critères qui ont orienté l'implantation de nouvelles variétés, les problèmes de lutte contre les ravageurs ne sont guère pris en considération.

Pour le moment, nous n'avons rien de mieux à souligner, sans pouvoir l'expliquer, que le cas positif -vraie *felix culpa* !- de la variété Gala. Notre propos immédiat est d'affirmer que ses infestations rarissimes par *Cydia* (suivi sur 5 ans) contrastent avec le péril auquel sont exposées les deux traditionnelles variétés (Golden delicious et Red delicious) placées à côté. Le négatif, en revanche, est l'apparition des premières manifestations du carpocapse sur prunes japonaises. Cette culture, en extension régulière, sera assurément exposée à tous les troubles.

Pour l'occasion, quelques conseils ne sont donc pas superflus. Dans le verger, toutes espèces confondues, c'est l'usage dévoyé des pesticides qu'il nous faut mettre dès à présent en cause et non ces outils eux-mêmes, par ailleurs constamment soumis à correction. Une fois cette gestion intégrée -faut-il rappeler à ce propos que les techniques employées en lutte intégrée sont conçues pour être appliquées dans une arboriculture moderne- mise en pratique, chose possible car les bienfaits en sont connus, les bioagresseurs pourront être naturellement «ramenés à la raison». Et cela avec la bonne conscience que procure le respect de l'environnement et la beauté technique d'une lutte propre.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Brown G. C., Berryman A. A., Bogyo, T. P. (1978). Simulating codling moth population dynamics: model development, validation, and sensitivity. *Environ. Ent.* 7: 219-227.
- Charmillot J. P., Baggiolini M., Murbach R., Arn H (1975). Comparaison de différents pièges à attractif sexuel synthétique pour le contrôle du vol du carpocapse (*Laspeyresia pomonella* L.) *La Recherche Agron. Suisse* 14: 57-69.
- Deseö K. V. (1973). Reproductive activity of codling moth (*Laspeyresia pomonella* L. (Lepidopt. ; Tortr.) exposed to short photophase during preimaginal state. *Acta Phytopath. Acad. Sci. Hung.* 8:193-206.
- Hmimina M. (1986). Stratégies d'occupation des cultures et d'hivernation chez *Helicoverpa armigera* Hb (Lepidoptera, *Noctuidae*): essais de modélisation prévisionnelle. Thèse Doct. Es Sciences, Univ. Aix Marseille, 183p.
- Hmimina M, Aziz A., Ayello M. (1999). Origine des hausses des populations du Carpocapse (*Cydia pomonella* L.) au domaine Arbor-Oulmès: suspicion d'une résistance au diflubenzuron et phosalone. *Actes Inst. Agron. Vet. (Maroc)* 19: 167-175.
- 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* 5: 31-40.
- Peterson D. M., Hamner W. M., 1968. Photoperiodic control of diapause in the codling moth. *J. Insect. Physiol.* 14: 519-528.
- Riedl H., Croft B. A. (1978). The effects of photoperiod and effective temperatures on the seasonal phenology of the codling moth (Lepidoptera : Tortricidae). *Can. Entomol.* 110: 455-470.
- Riedl H. (1980). The importance of pheromone trap density and trap maintenance for the development of standardized monitoring procedures for the codling moth (Lepidoptera : Tortricidae). *Can. Entomol.* 112: 529-544.

- Sevacherian V., Stern V. M., Mueller A. J. (1977). Heat accumulation for timing *Lygus* control measures in a safflower-cotton complex. *J. econ. Entomol.* 7: 399-402.
- Sheldeskova C. G. (1965). Geographical variability on the photoperiodic reaction and seasonal development of the codling moth, *Laspeyresia pomonella* L. (Lepidoptera, Tortricidae). *Trudy Zool. Inst., Leningrad* 36: 5-25.
- Sheldeskova C. G. (1967). Ecological factors determining distribution of the codling moth, *Laspeyresia pomonella* L. (Lepidoptera, Tortricidae) in northern and southern hemispheres. *Ent. Rev.* 46: 349-361
- Townsend M. T. (1926). The breaking-up of hibernation in the codling moth larva. *Ann. Ent. Soc. Am.* 19: 429-439.
- Wildbolz T. (1965). Ueber die Bedeutung der temperaturesumme und anderer Witterungstadien bei der Apfelwicklerprognose. *Schweiz. Z. Obst- u. Weinb.* 101: 572-579.