

## **RESISTANCE DU CARPOCAPSE AU VIRUS DE LA GRANULOSE : quelques explications et leurs conséquences en Agriculture Biologique.**

Auteurs : Miguel LOPEZ-FERBER, Ecole des mines d'Alés.

Myriam SIEGWART, INRA Avignon.

Gilles LIBOUREL, RéfBioArbo PACA, GRAB.

Données scientifiques : Ecole des mines et INRA.

Le flou règne autour du virus de la granulose, des informations apparemment contradictoires circulent. Nous sommes habitués à voir les bio-agresseurs évoluer en fonction des molécules auxquelles nous les exposons, mais les choses se compliquent lorsque nous sommes confrontés à la co-évolution entre notre agent de lutte (en l'occurrence le virus de la granulose) et notre « cher » carpocapse des pommes. C'est pourquoi nous proposons ce point rapide sur l'état des connaissances dans ce domaine.

En 1974, par sélection, il avait été possible de diminuer la susceptibilité des larves d'une colonie de laboratoire allemande du carpocapse de 8 fois (Huber, J. 1974. Selektion einer Resistenz gegen perorale Infektion mit einem Granulosisvirus bei einem Laborstamm des Apfelwicklers, *Laspeyresia pomonella* L. These. Diss. Naturwiss. ETH Zürich, Nr. 5044, 0000). Par contre, d'autres essais ailleurs (notamment en France) n'ont pas abouti aux mêmes observations.

L'existence d'une variation dans la susceptibilité liée à de la plasticité phénotypique [ cf encadré pour la différence entre plasticité phénotypique et résistance] des populations d'insectes aux baculovirus est scientifiquement démontrée depuis 1981 ( Brieese, D.T. 1982. Genetic basis for resistance to a granulosis virus in the potato tuber moth, *Phthorimaea operculella*. J. invertebr. Pathol 39: 215-218.)

### *Encadré 1*

*[Il faut différencier : plasticité phénotypique ( capacité qu'a un organisme à s'adapter à son environnement indifféremment de son patrimoine génétique, par exemple deux « vrais » jumeaux ne sont pas exactement identiques) et résistance (qui est un phénomène lié à des mutations génétiques et donc est transmissible à la descendance). Dans le premier cas, on constate que tous les individus ne réagissent pas de la même façon, certains peuvent avoir des rapports de sensibilité pouvant aller jusqu'à 10. En général, dans le second cas, les ratios vont très au-delà.]*

Dans la majorité des cas, une résistance à un membre de la famille de ce virus a un coût pour l'insecte. Cela se traduit par une diminution progressive de la fréquence d'individus résistants au sein de populations mixtes au fil des générations en absence du virus. (Brieese, D. T. (1986). Insect resistance to baculoviruses. In: *The biology of baculoviruses*. (R.R. Granados & B. A. Federici, Eds.) Vol II. CRC Boca Raton, pp. 89-108.)

La première publication scientifique sur la résistance en champ du carpocapse du pommier à l'isolat mexicain (CpGV-M) du virus de la granulose a été faite en 2005, en Allemagne, sur des populations du sud-ouest du pays. ( Fritsch, E.; Undorf-Span, K.; Kienle, J.; Zebitz, C.P.W.; Huber, J. Codling moth

granulovirus: Variations in the susceptibility of local codling moth populations. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes* **2005**, 57, 29–34. ). C'est cet isolat qui était le principe actif de toutes les préparations commerciales en Europe à l'époque.

En France, parmi des populations collectées en 2004 (7 issues du sud-est et 1 de la Vallée de la Loire), une population (dite de St Andiol) présente un facteur de résistance de plus de 10000 à l'isolat d'origine Mexicaine, base des produits commerciaux ( CpGV-M ). C'est-à-dire qu'il faut 10 000 fois plus de virus pour tuer la même quantité d'insecte dans la population résistante par rapport à la sensible (Sauphanor, B.; Berling, M.; Toubon, J.F.; Reyes, M.; Delnatte, J.; Allemoz, P. Carpopapse des pommes: Cas de résistance au virus de la granulose en vergers biologiques. *Phytoma Def. Veg.* **2006**, 590, 24–27.)

Plusieurs années plus tard, il a été démontré que le gène de résistance est le même pour les 2 zones géographiques (Allemagne et France).

Cette résistance, liée à un gène majeur dominant, est portée par le chromosome sexuel Z. ( Asser-Kaiser, S., E. Fritsch, K. Undorf-Spahn, J. Kienzle, K. E. Eberle, N. A.Gund, A. Reineke, C. P. Zebitz, D. G. Heckel, J. Huber, and J. A. Jehle. 2007.) Rapid emergence of baculovirus resistance in codling moth due to dominant sex-linked inheritance. *Science* 317:1916–1918.)

Chez les lépidoptères, les mâles sont ZZ et les femelles WZ. Ainsi, les femelles ne transmettent la résistance qu'à des mâles, tandis que les mâles peuvent la transmettre aux deux sexes. L'allèle de résistance étant dominant une seule copie suffit à conférer la résistance.

Des nouveaux isolats, capables de contrôler les populations résistantes ont été sélectionnés en France et en Allemagne. Ils sont actuellement disponibles sur le marché français, sous les appellations commerciales Carpovirusine Evo2 (NPP) ou Madex Pro (Andermatt Biocontrol). Ces isolats sont efficaces aussi bien sur les populations résistantes que sur les populations sensibles.

Jusqu'à présent, il n'a pas été possible de mettre en évidence chez les carpocapses résistants une baisse de l'efficacité biologique (traduite en performances de reproduction), contrairement à d'autres résistances chez le carpocapse ou chez d'autres espèces ( Undorf-Spahn, K.; Fritsch, E.; Huber, J.; Kienzle, J.; Zebitz, C.P.W.; Jehle, J.A. High stability and no fitness costs of the resistance of codling moth to *Cydia pomonella* granulovirus (CpGV-M). *J. Invertebr. Pathol.* **2012**, 111, 136–142.) . Par contre, le fait que la résistance ne se généralise pas suggère qu'il y aurait un désavantage en champ, mais cela n'a pu être reproduit en laboratoire, et il semble bien difficile de prendre en compte cet hypothétique désavantage. Donc seule une dilution du gène par le croisement avec des populations sensibles peut faire diminuer la **proportion** d'individus résistants, et ce, évidemment, en l'absence de pression de sélection par le virus. Et seule l'utilisation d'autres substances et méthodes (à privilégier en AB) peut faire diminuer le **nombre** d'individus (résistants et non résistants)

Il n'a pas été possible de trouver non plus un coût biologique pour le virus du fait de contourner cette résistance (en comparant Carpovirusine Evo2 (CpGV-R5) avec Carpovirusine 2000 (CpGV-M). Nous semblons être dans une situation dans laquelle ni la résistance pour l'hôte, ni le contournement pour le virus ne demandent un compromis évolutif important. Une conséquence majeure de ces observations est le rôle potentiel de la diversité génétique dans les populations virales pour le succès et la pérennité de cette méthode de contrôle des ravageurs.

En vue d'explorer le potentiel de cette diversité génétique, des mélanges d'isolats ont été faits. Comme l'isolat CpGV-M n'est pas actif sur les carpocapses résistants, il était attendu que le mélange à 50% entre les deux isolats soit 2 fois moins performant que CpGV-R5 seul pour la même quantité totale de virus. Ceci n'est pas le cas. En laboratoire, ce mélange est 1,3 fois plus actif qu'attendu (mais moins que 100% de CpGV-R5). Cet effet synergiste est observé dans des proportions plus importantes lorsque CpGV-M est majoritaire dans le mélange (jusqu'à 90%).

Une hypothèse pour l'expliquer serait qu'une fois le processus de la résistance brisé par le CpGV-R5, CpGV-M peut se multiplier dans les cellules de l'hôte. Cet effet synergique en laboratoire, fondamentalement intéressant, n'est à ce jour pas exploitable sur le terrain.

Ces résultats renforcent l'idée de l'importance de la diversité génétique dans les populations virales pour garantir le contrôle de populations d'insectes, elles aussi génétiquement diverses. Par contre, ces résultats ne doivent pas être généralisés sans précautions : une plus grande capacité de la population virale à traiter des insectes génétiquement différents peut avoir comme conséquence une plus faible virulence sur un insecte donné. Il s'agit de trouver le meilleur équilibre.

Les entreprises commercialisant du CpGV homologués en France proposent l'alternance (cf encadré pour plus de précisions) d'isolats viraux comme moyen d'éviter une sélection d'insectes résistants. Cependant, nous ne sommes, et nous ne serons jamais à l'abri de l'apparition d'un nouveau type d'insectes résistants qui ne serait pas contrôlé par les isolats actuellement commercialisés. Ainsi, une nouvelle population résistante aux isolats récents de virus aurait été détectée en Allemagne en 2014. (Sauer, A., Frisch, E. Undorf-Spahn, K., Jehle, J.A. 2014. A novel mode of resistance of codling moth against *Cydia pomonella granulovirus* ., *47th Annual Meeting of the Society for Invertebrate Pathology*. Mainz, Allemagne. 4-7 août 2014)

Nouvelle preuve, s'il en était besoin, de la coévolution du carpocapse et de son virus. Un inconvénient de l'utilisation du vivant ? plutôt une chance à saisir, car nous pouvons non seulement freiner l'apparition de populations de carpocapse résistants par des bonnes pratiques (cf. encadré), mais en plus favoriser par des processus de veille, la détection précoce des résistances et la mise en production de souches adaptées du virus de la granulose. Car contrairement à une molécule chimique ou un extrait de plante le virus est un organisme que l'on peut faire évoluer au rythme des changements de son hôte. Cependant pour cela une participation active de l'ensemble de la « filière CpGV » est indispensable, du (des) producteur(s) de virus aux utilisateurs en passant par les acteurs de la recherche et du développement.

## ENCADRE 2

La question est cruciale pour les producteurs bios : comment utiliser au mieux les 4 produits commerciaux disponibles en France contenant du CpGV, Carpovirusine 2000 et evo2, Madex twin et pro.

En l'absence de populations de carpocapses résistants :

- M twin (CpGV-V22) et C 2000 (CpGV-M) appartiennent toutes deux au groupe mexicain, une alternance entre ces 2 spécialités est inutile.
- M pro (CpGV-V15) et C evo2 (CpGV-R5) ayant été sélectionnées sur des populations de carpocapse porteuses du même gène de résistance, il est plus prudent, en l'état actuel de nos connaissances, de considérer que leur

différence génétique est limitée ainsi que l'intérêt d'une alternance entre ces 2 spécialités.

- l'alternance entre le groupe Mtwinn-C2000 et le groupe Mpro-Cevo2 est fortement conseillée.

*Dans les vergers bio où la résistance est déjà établie, il est nécessaire de n'utiliser que les nouveaux isolats (C. evo2, M. pro). L'alternance d'isolats ne serait utile que si la proportion d'individus susceptibles est suffisamment élevée. L'utilisation des isolats mexicains même en alternance ne ferait que maintenir une pression de sélection sur les individus résistants déjà présents.*

*En cas d'utilisation d'un seul groupe d'isolat, la situation dans le long terme revient à celle que nous avons connue, et la possibilité d'apparition d'une nouvelle résistance est très fortement majorée.*

*Une solution pertinente est alors bien souvent l'utilisation du système de filet Alt'carpo.*

### ENCADRE 3

comment freiner l'apparition de populations de carpocapse résistantes au virus de la granulose.

La réduction de la densité des populations de carpocapse adultes est le meilleur moyen non seulement de diminuer les dommages, mais aussi de limiter l'apparition de résistances. Pour cela, des mesures de prophylaxie doivent être combinées aux traitements sur les fruits.

1) pratiquer une prophylaxie systématique :

- destruction des fruits piqués à l'éclaircissage manuel, à la récolte, voire par un passage spécifique.
- éclaircissage à 1 fruit par corymbe.
- ne laisser aucun fruit sur les arbres après le dernier passage de récolte.
- en station, s'assurer de la mortalité des larves dans les déchets de tri et dans les contenants et emballages.
- si nécessaire poser des bandes pièges cartonnées sur tous les arbres ou tout au moins dans les zones problématiques.

2) alterner les principes actifs par génération (utilisation indispensable d'une source d'information technique pour suivre l'avancement des générations) :

- sur la 1ère génération, utiliser une souche de virus appartenant à un groupe non utilisé sur les 2ème et 3ème générations de la saison précédente.
- sur la 2ème et la 3ème génération, très imbriquées donc pratiquement non distinguables. Utiliser une souche de virus appartenant à un groupe non utilisé en 1ère génération.

Le Spinosad peut également être utilisé dans la limite de 2 applications par an et par verger, tous ravageurs confondus.

- en automne, si les conditions favorables peuvent être réunies utiliser les nématodes entomopathogènes.

3) préférer les applications de virus sans mélange avec d'autres produits.

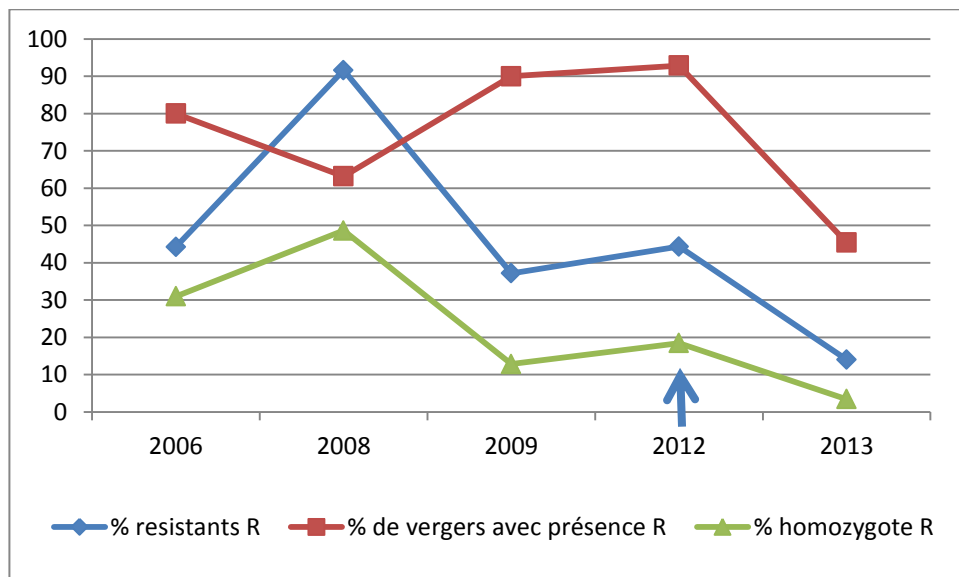
Si un mélange doit être effectué respecter les préconisations de l'étiquette.

Le mélange *Bacillus thuringiensis* (BT) / virus de la granulose est totalement déconseillé car le BT gêne l'action du virus en détruisant les cellules de l'intestin qui servent de porte d'entrée au virus. De

même, respecter un délai d'au moins 4-5 jours pour l'application successive de l'un et de l'autre. Par contre, en cas de résistance au CpGV, il n'y a pas de résistance croisée avec le BT. Les spécialités commerciales contenant du BT ont cependant une efficacité limitée sur carpocapse des pommes sur le terrain.

4) Respecter les doses préconisées : une dose inférieure peut permettre la survie d'individus ayant une susceptibilité réduite, et conduire à l'apparition ou au renforcement d'une résistance. Par ailleurs, l'utilisation des techniques de pulvérisation en volume réduit est déconseillée contre le carpocapse.

5) Utiliser dans la mesure du possible la confusion sexuelle pour le carpocapse des pommes. Cette technique est très efficace quand elle est appliquée sur des surfaces importantes et que les populations initiales ne sont pas trop denses. La présence additionnelle de pièges sur la parcelle et le suivi des dégâts permettent de déterminer lorsque le contrôle n'est plus suffisant pour contenir les populations de ravageur et qu'il faut compléter avec des traitements ou intensifier la prophylaxie.



Courbes d'évolution de la résistance du carpocapse aux CpGVM  
(les années correspondent à la pose des bandes pièges)