

Comme la croissance des lépidoptères résulte de l'action du système endocrinien, j'ai voulu examiner comment la concentration d'une hormone indispensable au bon déroulement de la métamorphose est perturbée lorsque la chenille du tabac est parasitée par *Cotesia congregata*. La concentration en hormone juvénile augmente notablement chez les chenilles parasitées et ne redescend jamais à la valeur adaptée à la métamorphose. Cette concentration excessive en hormone juvénile résulte sans doute d'une réduction d'une autre hormone, l'enzyme estérase juvénile, qui dégrade l'hormone juvénile. Le parasitisme semble réduire durablement les concentrations en estérase, de sorte que la métamorphose n'a pas lieu, même après le départ des guêpes.

L'arrêt de la croissance semble imputable aux virus à ADN multiple, bien que la présence de la guêpe elle-même soit indispensable pour que l'arrêt soit total : quand nous injectons de faibles doses de virus à ADN multiple dans des chenilles non parasitées, la métamorphose ne se déroule pas normalement. La quantité de virus nécessaire pour retarder la croissance semble être inférieure à celle qui inhibe les réactions immunitaires. En fait, des œufs qui sont lavés avant d'être injectés gardent des traces de particules ou de protéines virales, mais celles-ci sont insuffisantes pour empêcher les cellules immunitaires de détruire les œufs ; en revanche, elles sont suffisantes pour interrompre la croissance normale de l'hôte. Les virus à ADN multiple perturbent la croissance, même après le départ des guêpes : le virus semble rester dans la chenille, à l'état latent, inhibant la croissance.

Ainsi, les virus à ADN multiple perturbent de plusieurs façons la croissance et les réactions immunitaires des chenilles hôtes : ils sont indispensables au succès du parasitisme. Cette relation entre les guêpes parasitoïdes et les virus à ADN multiple apparaît encore plus étroite quand on compare les patrimoines génétiques des deux partenaires.

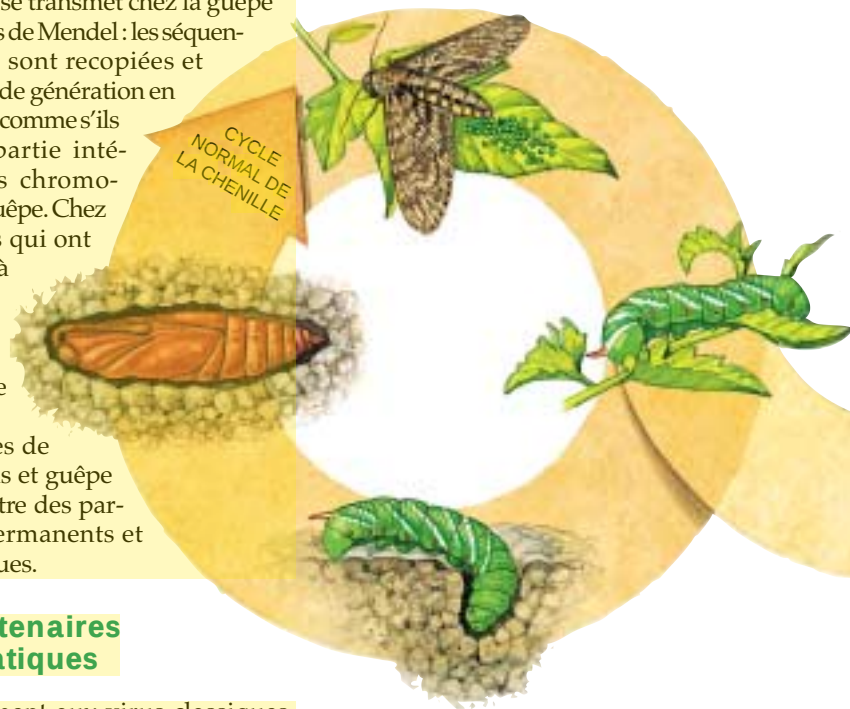
Les virus à ADN multiple ont un génome plus grand et plus complexe que les autres virus à ADN : chaque particule virale contient jusqu'à 28 boucles d'ADN. Or, ce génome viral complexe est intégré dans le génome des guêpes mâles et femelles. L'ADN viral semble

dispersé dans les chromosomes de guêpe, et il se transmet chez la guêpe selon les lois de Mendel : les séquences virales sont recopiées et transmises de génération en génération, comme s'ils faisaient partie intégrante des chromosomes de guêpe. Chez les espèces qui ont des virus à ADN multiple, on n'a jamais trouvé de guêpes dépourvues de virus : virus et guêpe semblent être des partenaires permanents et systématiques.

Des partenaires systématiques

Contrairement aux virus classiques, qui usurpent le système de réplication des organismes infectés pour se reproduire, le succès de la reproduction des virus à ADN multiple nécessite la survie de toutes les guêpes : un nouveau type de chromosome viral est produit à chaque fois qu'une guêpe naît (la guêpe porte dans toutes ses cellules une copie de ce chromosome, mais toutes les copies sont identiques). Cette étroite association des génomes de la guêpe et du virus explique le rôle apparemment bénéfique du virus dans le parasitisme des guêpes. La multiplication des virus à ADN multiple dépend de la reproduction des guêpes, laquelle repose sur l'efficacité de la relation entre la guêpe et les chenilles qu'elle parasite. Tout ce qui favorise la reproduction du parasite assure la production d'une nouvelle génération de virus.

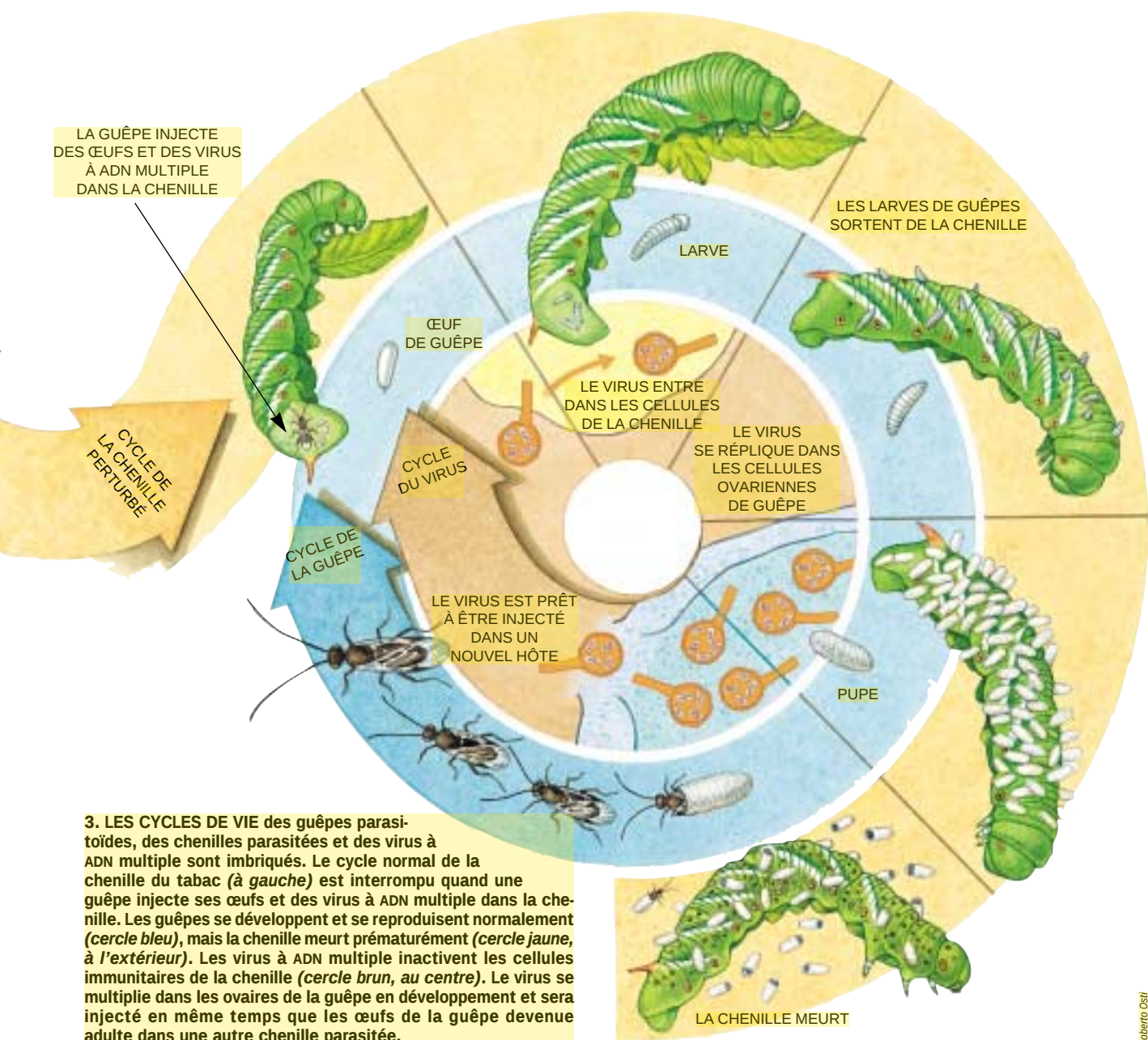
Puisque le transfert des virus entre guêpes se fait par la transmission héréditaire d'un virus intégré dans les chromosomes, pourquoi tant de virus sont-ils produits dans les ovaires de la guêpe ? Les virus ainsi produits ne se répliquent pas, mais ils se dispersent, pénètrent dans les cellules de l'hôte et en perturbent le fonctionnement. Au cours de l'évolution, la production des protéines virales utiles semble s'être adaptée aux cellules de la chenille et, grâce à elle, les guêpes modulent la biologie des animaux qu'elles parasitent.



Quelle est l'origine de ces virus à ADN multiple qui intègrent leur génome dans les chromosomes des guêpes ? On pourrait supposer que les virus ont d'abord été des agents pathogènes indépendants des chenilles, voire des guêpes elles-mêmes, et qu'ils se seraient ultérieurement intégrés à l'ADN des guêpes. Toutefois, l'association de l'ADN viral et de l'ADN de guêpe est si systématique et exclusive qu'on peut aussi penser qu'il n'y eut jamais d'entité virale distincte. Peut-être les guêpes ont-elles acquies la faculté de recopier un groupe de gènes utiles, pour l'introduire dans les cellules de chenille ?

Des travaux sur le venin des guêpes semblent l'indiquer : certains gènes codant des protéines qui figurent dans le venin de guêpe sont identiques à certains gènes des virus à ADN multiple. De plus, des anticorps dirigés contre ce venin reconnaissent également des protéines virales qui adaptent la biologie des chenilles au profit des guêpes. Ainsi les gènes du venin de guêpe et les gènes viraux auraient une parenté évolutive, résultat d'autant plus intéressant que certaines protéines de venin de guêpe jouent un rôle dans les modifications de la physiologie des chenilles.

Une possibilité serait que, au cours de l'évolution, les virus à ADN multiple, d'abord autonomes, aient prélevé dans le génome des guêpes des



3. LES CYCLES DE VIE des guêpes parasitoïdes, des chenilles parasitées et des virus à ADN multiple sont imbriqués. Le cycle normal de la chenille du tabac (à gauche) est interrompu quand une guêpe injecte ses œufs et des virus à ADN multiple dans la chenille. Les guêpes se développent et se reproduisent normalement (cercle bleu), mais la chenille meurt prématurément (cercle jaune, à l'extérieur). Les virus à ADN multiple inactivent les cellules immunitaires de la chenille (cercle brun, au centre). Le virus se multiplie dans les ovaires de la guêpe en développement et sera injecté en même temps que les œufs de la guêpe devenue adulte dans une autre chenille parasitée.

gènes de venin qui leur auraient été utiles. Selon une autre hypothèse, les guêpes auraient trouvé un moyen efficace d'utiliser leurs propres protéines de venin en recopiant leurs gènes, en les regroupant et en les transférant dans les cellules de chenille où elles continuent à agir. Dans les deux cas, la synergie entre les guêpes et les virus augmente, et l'origine de la caractéristique est effacée.

Quelle que soit l'origine des virus à ADN multiple, leur association avec les guêpes et les chenilles permet aux biologistes de préciser les mécanismes de l'évolution. La redoutable tactique des guêpes parasitoïdes et de leurs complices viraux contredit l'hypothèse selon laquelle les parasites les plus évolués sont peu virulents vis-

à-vis de leurs hôtes : les guêpes parasitoïdes tuent tous leurs hôtes sans exception, en suivant un scénario bien réglé où elles gagnent toujours. À l'inverse, les guêpes et les virus à ADN multiple entretiennent une association mutuellement bénéfique si étroite

que les frontières génétiques entre ces deux espèces s'estompent. Pourquoi la chenille ne devient-elle pas un papillon ? La question reste ouverte et continue d'intriguer les biologistes de l'évolution, les entomologistes et les endocrinologues.

Nancy BECKAGE est professeur d'entomologie à l'Université de Riverside.

Jo-Ann G.W. FLEMING, *Polydnnaviruses : Mutualists and Pathogens*, in *Annual Review of Entomology*, vol. 37, pp. 401-426, 1992.

James H. TUMLINSON, W. Joe LEWIS et Louise E.M. VET, *Comment certaines guêpes détectent leurs hôtes*, in *Pour la Science*, mai 1993.

M.D. LAVINE et N.E. BECKAGE, *Polydnnaviruses : Potent Mediators of Host Insect Immune Dysfunction*, in *Parasitology Today*, vol. 11, n° 10, pp. 368-378, 1995.

Donald L.J. QUICKE, *Parasitic Wasps*, Chapman & Hall, 1997.

J. van BAAREN, G. BOIVIN et J.-P. NÉNON, *Guêpes et apprentissage*, in *Pour la Science*, août 1997.