

se propage dans tout le génome. Plus de la moitié de la progéniture hérite alors du transgène ; après quelques générations d'insectes seulement, donc après un temps relativement court, la majeure partie de la population exprime le nouveau caractère.

Ce type de dissémination de gène a été observé dans la nature : l'élément P lui-même est une adjonction récente au génome de *Drosophila melanogaster*, provenant probablement de *Drosophila willistoni*, il y a moins d'un siècle.

La technique de B. Beaty n'est pas une véritable transformation transgénique, car elle utilise des virus ayant un gène supplémentaire pour infecter un organisme individuel qui synthétisera ensuite le produit du gène inséré. La thérapie génique humaine, elle, utilise parfois des vecteurs dérivés de rétrovirus qui ne sont plus pathogènes, mais capables d'intégrer des gènes dans le génome d'un nouvel hôte. Ces vecteurs viraux dépouillés, nommés pseudorétrovirus pan-tropes, interagissent avec n'importe quelle cellule. Diverses équipes les ont utilisés pour créer des cellules transformées de moustiques en culture, ainsi que des poissons et des coquillages transgéniques.

La plupart des biologistes ont cherché à modifier le phénotype d'un insecte (l'expression extérieure de sa constitution génétique) en intégrant du matériel génétique étranger dans les chromosomes de l'insecte. À l'Université Yale, Frank Richards et ses collègues ont proposé de transformer plutôt les microbes – passifs locataires ou actifs colonisateurs – qu'hébergent les insectes. Les insectes porteurs de microbes modifiés par génie génétique sont nommés paratransgéniques, car leur génome reste inchangé.

F. Richards et son collègue Charles Beard ont produit des réduves (des punaises hématophages) paratransgéniques ne transmettant plus le

trypanosome responsable de la maladie de Chagas (laquelle affecte plus de 18 millions de Sud-Américains, provoquant des troubles cardio-vasculaires, gastro-intestinaux et neurologiques). Les deux biologistes ont isolé une bactérie hébergée par la réduve et l'ont modifiée génétiquement, afin qu'elle sécrète une protéine qui tue le trypanosome que l'insecte véhicule. Ils ont ensuite replacé la bactérie dans les insectes, qui ne servent alors plus d'hôtes au protozoaire responsable de la maladie. Les bactéries génétiquement modifiées se sont disséminées dans une population captive d'insectes, dont la capacité de véhiculer des maladies est supprimée.

Des alliés de l'agriculture

Nombre d'insectes sont bénéfiques, voire indispensables à l'agriculture. Par exemple, les abeilles assurent la pollinisation des plantes. D'autres espèces participent au recyclage des nutriments et contribuent au maintien d'une bonne qualité de sol. Toutefois, une petite minorité d'espèces ravagent les récoltes.

En 1940, Edward Knipling, du ministère américain de l'Agriculture, et le Russe Aleksandr Serebrovsky ont indépendamment proposé une méthode génétique de lutte contre ce fléau : ils préconisaient d'inonder une population de ravageurs d'individus stériles de la même espèce, de sorte que la majorité des accouplements soient stériles. Aujourd'hui, on met en œuvre cette « technique de l'insecte stérile » en stérilisant un grand nombre d'insectes, souvent à l'aide de radiations ionisantes. Des lâchers répétés de ces organismes stériles anéantissent parfois toute une population de ravageurs (voir la figure 8).

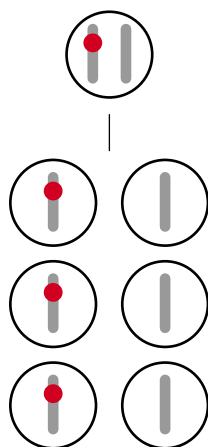
Dmitry Krasny, d'après Margaret Kohn et José Ribeiro

Ainsi, la technique de l'insecte stérile protège une partie de l'agriculture de nombreux pays, où elle participe à l'éradication des insectes ravageurs en évitant l'emploi de pesticides.

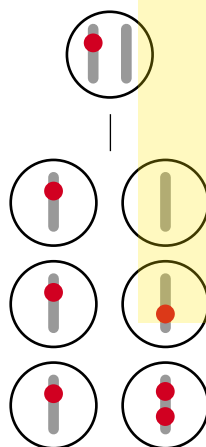
Dans les années 1970, la technique de l'insecte stérile a été à l'origine de l'éradication de la lucilie bouchère du Nouveau Monde, d'abord dans le Sud-Est des États-Unis, puis au Mexique. La lucilie bouchère pond, dans les plaies ouvertes du bétail, ses œufs, qui se développent en larves se nourrissant de la chair des animaux. Récemment, la technique a également été utilisée avec succès contre la mouche des fruits dans la région de Los Angeles.

La technique de l'insecte stérile utilise de la génétique classique : on doit obtenir la reproduction des insectes avant de

PRODUCTION CLASSIQUE DE GAMÈTES



PRODUCTION DE GAMÈTES AVEC DES TRANSPOSONS



5. LA TRANSMISSION DE l'information génétique portée par les transposons n'est pas mendélienne. Au cours de la production normale des gamètes (à gauche), un gène non associé à un transposon apparaît dans la moitié des gamètes et est transmis en moyenne à la moitié de la descendance. En revanche, les transposons (points rouges) se multiplient et migrent vers d'autres chromosomes (à droite). Un gène associé se retrouve dans plus de la moitié des gamètes et, donc, dans plus de la moitié des individus de la génération suivante.



6. LES ASTICOTS DE LA MOUCHE DES FRUITS (on en extrait un d'une papaye) détruisent de précieuses récoltes. La pulpe comestible de la papaye a été endommagée (à droite des graines noires) par les larves de l'insecte qui s'en nourrit.

USDA/Agricultural Research Service

les stériliser. Par exemple, on a créé une souche de mouche des fruits dont tous les embryons femelles meurent, après un temps très bref à une température élevée. Cette souche permet de produire en masse, de stériliser et de lâcher uniquement des mâles. En éliminant les femelles, la technique de l'insecte stérile devient encore plus efficace.

Les généticiens espèrent créer par transgenèse des souches d'insectes où seules les femelles portent des gènes létaux. Ces segments mortels d'ADN seraient exprimés dans des conditions particulières, tel un traitement à haute température utilisé dans l'approche

classique. Plus généralement, les biologistes se tournent vers les insectes transgéniques pour la prochaine génération d'armes contre les ravageurs. On réduira ainsi l'usage des pesticides, on ralentira l'apparition de résistances aux produits utilisés, et l'on évitera l'accumulation de produits chimiques et de leurs métabolites toxiques dans nos aliments, dans l'eau, le sol et les textiles.

En outre, les insecticides ne sont pas sélectifs : ils tuent de nombreuses espèces bénéfiques, anéantissant d'utiles prédateurs et parasites, ce qui donne ainsi à des espèces secondaires

de ravageurs une chance d'émerger. Par exemple, les araignées rouges (des acariens microscopiques) attaquent les amandiers de Californie. Les agriculteurs luttent contre elles soit en utilisant un insecticide, soit en lâchant une espèce prédatrice qui les tue. Cependant, les arbres sont également victimes de coléoptères et de papillons ; il faut donc les traiter par d'autres insecticides spécifiques de ces insectes, mais l'un d'entre eux tue l'insecte prédateur qui débarrasserait les arbres des araignées rouges ravageuses. Un prédateur transgénique rendu résistant aux insecticides dirigés contre les coléoptères et les papillons permettrait dans ce cas une réduction de l'épandage de pesticides.

Brian Croft et ses collègues de l'Université de Californie ont sélectionné des insectes prédateurs résistant aux insecticides et les ont introduits avec succès dans des vergers de Californie du Sud. Par ailleurs, Marjorie Hoy et ses collègues de l'Université de Floride ont sélectionné une araignée prédatrice résistante aux insecticides, qui a participé au traitement des amandiers mentionnés précédemment.

Toutefois, ces sélections nécessitent souvent plusieurs générations d'insectes, et le croisement des descendants résistants conduit à une diminution de la diversité génétique dans les colonies de laboratoire. Cette perte de diversité génétique réduit l'adaptabilité des animaux lors de leur libération en champ. Ce problème a limité l'application de la sélection artificielle de résistances dans l'effort d'amélioration de la lutte biologique en agriculture. Le génie génétique évite cet écueil. Il procure rapidement, et à un coût moindre, des espèces résistantes, réduisant le recours aux traitements chimiques.

Considérations écologiques

D'autres applications du génie génétique aux insectes sont étudiées, notamment la résistance aux agents pathogènes, une meilleure adaptation à l'environnement, une augmentation de la fécondité, une amélioration de la capacité à trouver des hôtes et, même, l'amélioration des matériaux et des produits fournis par les insectes, telle la soie. Des programmes d'élevage ont créé des souches de vers à soie qui sécrètent une soie en plus grande quantité et de meilleure qualité. Toutefois,



USDA/Agricultural Research Service

7. CES ÉNORMES CAGES renferment des centaines de milliers de mouches des fruits, que nécessite la mise en œuvre des stratégies de lutte génétique.



Marjorie A. Hoy, University of Florida

8. LA LUTTE BIOLOGIQUE, sous forme d'insectes prédateurs des araignées rouges, a sauvé les amandiers à gauche de la route. Les arbres non protégés (à droite) ont été détruits par les araignées rouges.