

Pruniers et virus

Le maïs est la première plante génétiquement modifiée autorisée à la culture en France : c'est la preuve que les autorités ont accepté l'application du génie génétique pour l'amélioration des plantes. À Bordeaux, nous avons appliqué cette méthode à la lutte contre une maladie virale, la sharka.

Cette maladie, qui frappe surtout les arbres fruitiers à noyau (abricotiers, cerisiers, pêcheurs et pruniers), a été découverte en Bulgarie (en bulgare, son nom signifie «variole»), et elle s'est rapidement propagée dans tous les pays voisins. Les pays d'Europe centrale et les pays balkaniques en sont des foyers endémiques. La France a aujourd'hui une politique d'éradication très stricte : tout fruitier malade est arraché.

L'agent pathogène est un virus nommé plum pox virus (PPV). Les maladies à virus sont graves, parce que les plantes ne guérissent pas. Sélectionner des variétés résistantes semblait une démarche longue et incertaine, d'autant que l'on doutait de la nature monogénique ou polygénique des résistances. Entre temps, les arboriculteurs choisissaient des variétés fruitières tolérantes, dont la production fruitière n'est pas amoindrie par la maladie, mais qui propagent le virus.

Les progrès réalisés dans l'analyse du génome viral nous ont conduit à mettre en place une nouvelle stratégie de lutte, fondée sur la transgénèse, et qui consiste à intégrer le gène codant la protéine de capsid (l'«enveloppe») d'un virus, dans le génome d'une plante, afin de

produire des plantes résistantes. L'origine du travail est lié à l'identification de ce gène de capsid virale : nous avons découvert qu'une grosse protéine virale est traitée, après sa synthèse, par trois enzymes virales afin de former dix protéines, dont la protéine de capsid. C'est le gène qui code cette dernière qui nous intéressait. Nous l'avons identifié, puis intégré dans la bactérie *Agrobacterium tumefaciens*, en 1992.

Puis nous avons utilisé la bactérie transformée pour modifier la plante hôte herbacée *Nicotiana benthamiana*, au cycle végétatif court. Nous avons ainsi observé que le gène transféré conférait la résistance contre la sharka. Encouragés par ce succès, nous sommes passé aux plantes ligneuses : en collaboration avec Ralph Scorza, des services agronomiques américains, nous avons transformé des cellules de prunier avec les bactéries génétiquement modifiées. Des cals se sont développés sur un milieu de régénération, puis les cals se sont différenciés en plantules. L'inoculation des pruniers par les virus de la sharka a révélé leur résistance : le virus ne se réplique pas dans la plante, parce que les cellules de la plante rejettent le transgène et le virus envahisseur. Les pruniers résistants ont été plantés dans divers pays frappés par la sharka ; les résultats de ces essais devraient permettre de valider la résistance de ces plantes dans les conditions naturelles d'infection.

Michel RAVELONANDRO

Station de pathologie végétale INRA, Bordeaux

des sociétés américaines entreprennent la commercialisation de diverses plantes transgéniques. Par exemple, la Société *Calgene* a produit la première tomate à pourrissement retardé (la tomate *Flavr Savr*), et un soja résistant à l'herbicide *Roundup* est commercialisé depuis 1996. Enfin, un maïs résistant aux herbicides a récemment reçu une autorisation de mise sur le marché aux États-Unis et au Canada.

Les pays industrialisés seront sans doute les premiers à profiter des produits transgéniques, car les agriculteurs des pays en développement n'ont généralement pas les moyens d'utiliser des techniques qui imposent l'emploi d'herbicides coûteux. En revanche, les pays industrialisés comme les pays en développement accepteront sans doute mieux les graines transgéniques résistant aux maladies que les plantes transgéniques résistant aux herbicides ou produisant des insecticides (on craint que ces dernières ne favorisent rapidement l'apparition d'insectes résistant aux insecticides).

Les promesses commerciales des

cultures transgéniques résistant aux maladies soulèvent des questions de propriété. En 1996, l'Université de Davis a créé un fonds international pour reconnaître la contribution des pays en développement au succès des programmes de recherche tel le clonage de la séquence *Xa21*, breveté par l'université. Financé par les revenus tirés de la commercialisation des plantes transgéniques dans le Tiers-Monde, ce fonds subventionne les études dans les pays en développement et garantit que les planteurs de ces régions obtiendront des semences transgéniques au même prix que des semences classiques. Le fonds

permettra ainsi aux chercheurs de l'université de breveter leurs inventions et de les convertir en produits commerciaux, tout en reconnaissant la valeur des contributions du Tiers-Monde.

Les possibilités du génie génétique sont bien supérieures à la transmission de gènes de résistance aux maladies. Elles devraient permettre le clonage de nombreux gènes végétaux utiles, tel le gène de la tolérance au froid ou à la sécheresse. Les biologistes disposent d'une palette très large : en y puisant, ils permettront aux agriculteurs de récolter davantage à partir de ce qu'ils auront semé.

Pamela RONALD est professeur adjoint de biologie végétale à l'Université de Davis.

G. SCHUMANN, *Plant Diseases : Their Biology and Social Impact*, American Phytopathological Society, 1991.

Peter T. WHITE, *Rice, the Essential Harvest*, in *National Geographic*, vol. 185, n° 5, pp. 48-79, mai 1994.

B.J. STASKAWICZ et al., *Molecular Genetics of Plant Disease Resistance*, in *Science*, vol. 268, pp. 661-667, 5 mai 1995.

Wen-Yuan SONG et al., *A Receptor Kinase-like Protein Encoded by the Rice Disease Resistance Gene, Xa21*, in *Science*, vol. 270, pp. 1804-1806, 15 décembre 1995.

B. BAKER et al., *Signaling in Plant-Microbe Interactions*, in *Science*, vol. 276, pp. 726-733, 2 mai 1997.

Zimbabwe, cité africaine

WEBBER NDORO

Du XII^e au XVII^e siècle, la cité de Zimbabwe fut le principal centre commercial d'Afrique australe. Les colons européens, niant le passé de l'Afrique, en ont effacé de nombreuses traces.



Le plus beau et le plus grand site archéologique de l'Afrique subsaharienne est à la limite Sud du plateau du Zimbabwe, dans la zone de partage des eaux entre les fleuves Limpopo et Zambèze : une haute tour conique, de longs murs circulaires en pierre et des objets provenant d'Asie témoignent de la prospérité ancienne de la ville qui domina le commerce et la vie culturelle du Sud de l'Afrique entre le XII^e et le XVII^e siècle. La civilisation qui s'est développée à Zimbabwe a produit une architecture et des sculptures caractéristiques, tels ces énigmatiques oiseaux, taillés dans la stéatite, que l'on ne retrouve nulle part ailleurs. C'est en mémoire de ce passé prestigieux que le nom de Zim-

babwe a été donné à l'ex-Rhodésie, lors de l'accession à l'indépendance de cette colonie britannique, en 1980.

Zimbabwe est entré dans la légende. Au XVI^e siècle, des marchands portugais qui reviennent de leur visite des comptoirs fondés en Angola et au Mozambique mentionnent un royaume à l'intérieur de l'Afrique : s'agit-il d'Ophir où, selon la Bible, le roi Salomon avait envoyé ses vaisseaux s'approvisionner en or ? En 1667, dans son *Paradis perdu*, le poète anglais John Milton place d'ailleurs Ophir quelque part entre le Congo et l'Angola. Cette légende tenace, qui attribuait la construction de Zimbabwe à des populations sémites, a longtemps gêné l'étude archéologique de la cité ; puis le colo-

nialisme a empêché de reconnaître que la ville avait été créée par la culture shona, à l'Âge du fer africain.

Le contrôle de l'or

Construit entre 1100 et 1600, Zimbabwe ne semble pas avoir eu de plan directeur : la cité s'est adaptée aux évolutions de ses activités et de sa population. Beaucoup plus grand que les autres sites de la région, tels Danamombe, Khami, Naletale ou Domboshava, au Nord du Botswana, Manikweni, au Mozambique, ou Thulamela, au Nord de l'Afrique du Sud, Zimbabwe était une capitale économique et politique, sur la route la plus directe entre les gisements d'or du Nord, où les orpailleurs tamisaient

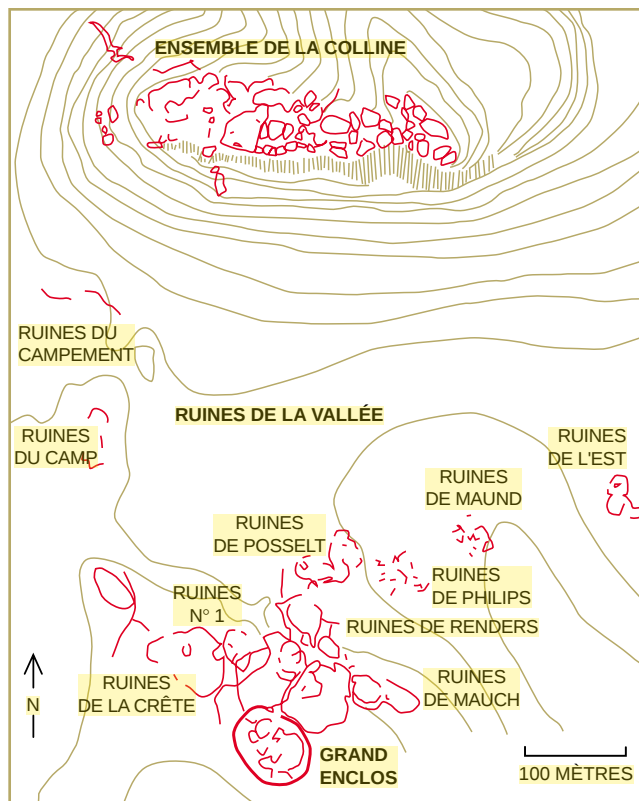
1. LES RUINES DE ZIMBABWE, sur le plateau de Zimbabwe, témoignent d'une civilisation et d'une culture florissante entre le XII^e et le XVII^e siècle. Les constructions les plus imposantes sont le Grand Enclos (au centre) et les ruines de la colline (en haut à gauche).

les rivières, et l'océan Indien. Ses dirigeants contrôlaient ainsi le florissant commerce de métal précieux.

Avec une superficie de 7,2 kilomètres carrés, Zimbabwe comprenait

trois principaux ensembles de constructions : l'ensemble de la colline, le Grand Enclos et les ruines de la vallée. L'ensemble de la colline, surnommé l'Acropole, est la partie la plus

ancienne du site : elle a été occupée, au moins depuis le V^e siècle, par des paysans et par des chasseurs. Perchés à près de 80 mètres au-dessus de la vallée, ses occupants apercevaient de



2. LE ZIMBABWE, au Sud-Est de l'Afrique, contient 35 000 sites archéologiques répertoriés. Celui de Zimbabwe (à gauche) est le plus important : les ruines couvrent plus de sept kilomètres carrés.



Charles et Josette Lénars, Corbis



Robert Holmes



David Reed, Corbis

3. LES MURS DE PIERRE ont donné son nom à Zimbabwe (*dzimbabwe* signifie « maison de pierre » en langue shona). Les éléments les plus caractéristiques de l'architecture de cette cité sont la tour conique (a), des escaliers aux marches circulaires (b) et (c), les