

Dossier

Les viroses de la striure, du stripe
et de la mosaïque sur le maïs
en région tropicale
(Afrique et îles
de l'océan Indien)



- L'impact des viroses et les recherches actuelles
- Les vecteurs et leur épidémiologie
- Le diagnostic des viroses et la variabilité du virus de la striure
- La résistance du maïs et la sélection variétale

L'impact des viroses et les recherches actuelles

Les régions

Trois viroses principales sont signalées sur les cultures de maïs en région tropicale : la virose causée par le *maize streak virus* (MSV) appelée striure et celles provoquées par le *maize stripe virus* (MStpV) et par le *maize mosaic virus* (MMV), appelées stripe et mosaïque.

Leur impact est très variable selon les pays (figures 1 et 2).

La striure du maïs est observée pour la première fois au début du siècle en Afrique du Sud et des viroses similaires sont décrites sur la canne à sucre et sur de nombreuses poacées sauvages. Ce virus est transmis par

des insectes homoptères du genre *Cicadulina* (*Homoptera*, *Cicadellidae*). Les attaques de striure sont observées dans de nombreux pays, avec une incidence variable. Dans tous les pays d'Afrique de l'Est, la présence du virus est endémique ainsi qu'à Madagascar, à la Réunion, et en Afrique centrale. Elle est erratique en Afrique de l'Ouest, notamment au Mali, au Togo, en Côte-d'Ivoire et au Sénégal. En Afrique de l'Ouest, en 1983 et en 1984, les cultures de maïs ont été fortement atteintes par la striure, provoquant parfois des pertes totales de récolte. Le MSV serait également présent en Inde et dans le Sud-Est asiatique. La striure est absente des zones tropicales sud-américaines.

La virose causée par le MStpV est plus rarement signalée. Le vecteur *Peregrinus maidis* (ASHMEAD) (*Homoptera*, *Delphacidae*) est présent dans de nombreux pays

d'Afrique (en Côte-d'Ivoire, au Zaïre, au Nigeria, au Burkina, au Cameroun). *P. maidis* avait déjà été signalé en Afrique de l'Est dès 1936, en Tanzanie, au Kenya, à Maurice, à la Réunion ; cependant les dégâts causés par le MStpV ne sont pas très importants. Le virus du MStpV a été identifié récemment en Afrique de l'Ouest (en Côte-d'Ivoire, au Togo, au Nigeria, au Burkina, au Cameroun). En revanche, son impact semble plus fort en Amérique latine, notamment au Venezuela et dans la Caraïbe. Il se manifeste aussi aux Philippines et en Australie.

La maladie causée par le MMV est transmise aussi par *P. maidis*. Cette virose est découverte en 1921 à Hawaï. Elle est détectée ensuite à Cuba, en Guadeloupe, au Surinam, au Venezuela, en Guyane, à Porto-Rico, au Burkina, en Côte-d'Ivoire, au Nigeria, au Mozambique, en Tanzanie, au Kenya, à la Réunion,

Evolution des complexes plante hôte, vecteur et virus

P. maidis et les virus qu'il transmet ont évolué ensemble sur un petit nombre d'espèces végétales. Le maïs est l'hôte privilégié de ce complexe vecteur et virus ; l'hôte d'origine serait le téosinte (*Zea mexicana* Schrad.) ou le sorgho. La relation très étroite entre la plante hôte et le vecteur assure la pérennité du complexe avec le virus malgré la faible gamme de plantes hôtes et d'espèces sensibles.

L'adaptation du MSV, transmis par *Cicadulina mbila* (NAUDE) au maïs, est différente : la cicadelle était déjà présente en Afrique et la culture de maïs a révélé ce virus, infectant des poacées spontanées, par l'intermédiaire d'un insecte vecteur à large spectre d'hôtes.

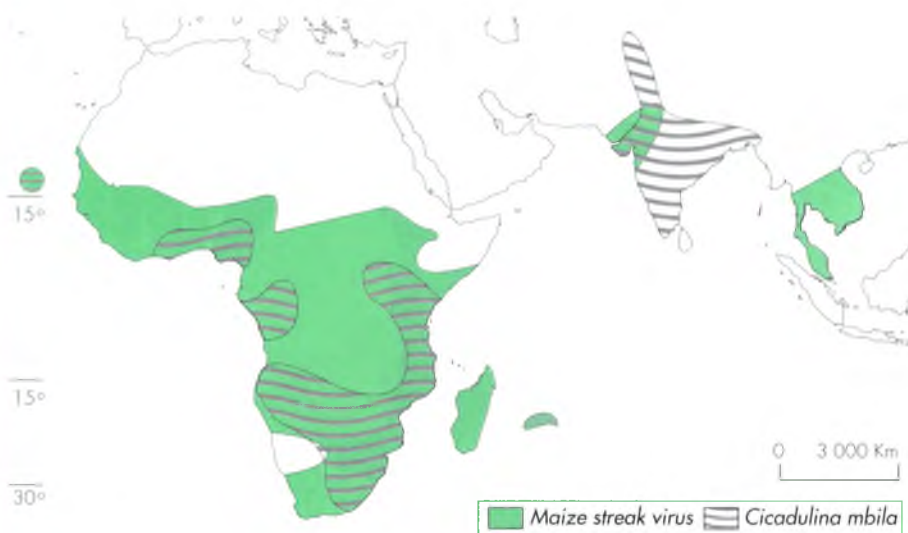


Figure 1. Répartition géographique du *maize streak virus* et de son vecteur principal *Cicadulina mbila* dans les régions tropicales.

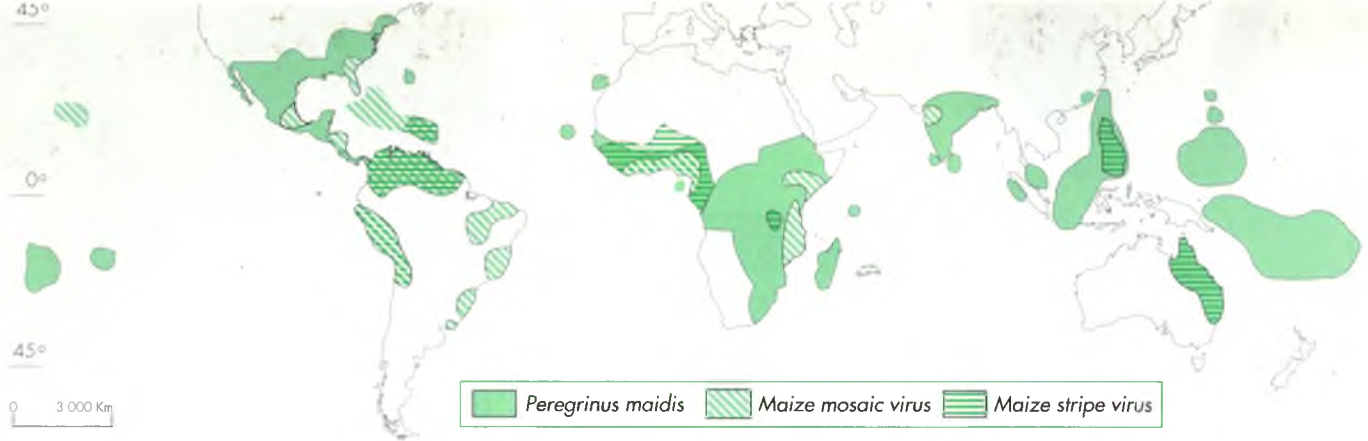


Figure 2. Répartition géographique du *Maize mosaic virus*, du *Maize stripe virus* et de leur vecteur *Peregrinus maidis*, dans les régions tropicales.

Les organismes concernés

CIMMYT, Centro Internacional de Mejoramiento de Maize y Trigo, Mexique
 CIRAD, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, France
 CORAF, Conférence des responsables de la recherche agronomique africains
 IRA, Institut de la recherche agronomique, Cameroun
 INCV, Institut national des cultures vivrières, Togo
 INERA, Institut national d'études rurales et agricoles, Burkina
 IITA, International Institute of Tropical Agriculture, Nigeria
 John Innes Institute, Norwich, Grande-Bretagne

à Maurice et en Inde. Dans ces pays, il semble que son incidence soit généralement faible. Néanmoins, dans certaines régions de pays maïsicoles, tels que les Etats-Unis (Hawaï, Floride), le Brésil et le Mexique, des épidémies importantes ont été signalées.

Les moyens de lutte

Les importants dégâts causés par les virus en région tropicale (Afrique, Amérique du Sud) et le manque d'efficacité des techniques de lutte agronomique et chimique montrent que les variétés de maïs résistantes aux viroses ont un intérêt

économique considérable. Elles contribuent à une production plus élevée et plus régulière.

Des travaux ont débuté dans les années 30 pour la résistance à la striure en Afrique de l'Est et en Afrique du Sud. Une épidémie de striure, déclarée en 1972 en Afrique de l'Ouest, a incité des organismes de recherche (IITA et CIMMYT) à mener des études dans ce but.

Les fortes épidémies de viroses à la Réunion — les trois viroses et leurs vecteurs y sont présents — et l'existence de variétés locales résistantes ont incité le CIRAD à conduire des recherches sur ce thème au cours des années 70. Des partenaires africains et européens ont été associés à ces travaux.

Les recherches et les partenaires

Depuis les années 80, le CIRAD et ses partenaires se sont consacrés aux thèmes suivants :

- les insectes vecteurs et l'épidémiologie ;
- le diagnostic des viroses ;
- la sélection et l'étude du déterminisme génétique des résistances ainsi que leur transfert dans des génotypes sensibles.

Ces recherches aboutissent à la connaissance des vecteurs et des facteurs influant sur le déclenchement et la propagation des épidémies virales, et à l'identification des virus par des méthodes de diagnostic spécifiques. Les écotypes résistants repérés à la Réunion sont utilisés dans

des transferts de résistance pour créer des variétés plus performantes, destinées en particulier aux pays d'Afrique et de l'océan Indien. Les méthodes de diagnostic mises au point sont applicables dans de nombreux sites, sans équipement spécialisé, pour identifier les virus et évaluer la sensibilité des variétés.

Lors de son assemblée générale de Yaoundé (Cameroun) en 1987, la décision a été prise par le réseau « maïs » de la CORAF de lancer un projet de recherche sur la striure du maïs — sujet considéré comme prioritaire. Les variétés choisies pour les transferts ont été déterminées par les correspondants nationaux de la CORAF parmi des variétés largement vulgarisées ou destinées à l'être.

Ce projet pluridisciplinaire rassemble des virologues, des entomologistes et des généticiens-sélectionneurs :

- l'étude du virus par le John Innes Institute à Norwich (Grande-Bretagne) et le CIRAD à Montpellier (France) ;
- les interactions entre les isolats viraux et les génotypes résistants à la Réunion (CIRAD) et au Burkina (INERA) ;
- les insectes vecteurs à la Réunion (CIRAD), au Burkina (INERA) et au Cameroun (IRA) ;
- le devenir du virus dans la plante au laboratoire de phyto-virologie des régions chaudes (CIRAD) ;
- la génétique des résistances à la Réunion (MSV, MStpV, MMV) (CIRAD), au Togo (MSV) (INCV) ;
- la création de variétés résistantes à la Réunion, au Togo et au Cameroun. ■

Les symptômes



La striure causée par le MSV

La striure se traduit par des points chlorotiques sur les feuilles le long des nervures, qui forment des stries discontinues d'épaisseur variable. Les jeunes plants atteints présentent un fort nanisme.

Symptômes foliaires de striure.

Nanisme sur jeune plant.



La virose causée par le MMV

Elle se manifeste par des lignes chlorotiques continues, régulières et parallèles aux nervures sur toute la surface du limbe. Les symptômes sont distingués en fonction de l'épaisseur des stries, de leur espacement et de leur aspect discontinu.

Lignes chlorotiques continues causées par le MMV.

Croissance limitée des plants atteints.



La virose causée par le MStpV

Elle peut se rencontrer sous deux formes. La première, dénommée *stripe sensu stricto* provoque l'apparition de bandes chlorotiques plus ou moins larges, ainsi qu'une courbure caractéristique de l'apex de la plante. La deuxième forme est la *chlorotic stripe* : des stries chlorotiques se forment et évoluent vers une chlorose totale avec une réapparition des stries vertes, épaisses et discontinues. Les plants infectés précocement présentent un nanisme très important, se dessèchent et meurent.

Nanisme et dessèchement des plants.

Stries chlorotiques sur les feuilles, dues au MStpV.



Clichés P. Baudin

Les vecteurs et leur épidémiologie

Dès 1973, l'existence d'épidémies importantes dues à plusieurs virus est mise en évidence à la Réunion.

En 1985, trois virus sont identifiés par des tests sérologiques : le MSV, le MStpV et le MMV. Ils sont obligatoirement transmis par des insectes.

Le virus de la striure est transmis par huit espèces du genre *Cicadulina*.

Les virus du MStpV et du MMV sont transmis par *Peregrinus maidis*.

Jusqu'à présent, les recherches concernent principalement la région soudano-sahélienne (en particulier le Burkina) et l'île de la Réunion.

Les insectes vecteurs

A la Réunion, *Cicadulina mbila* est l'espèce vectrice principale de la striure bien qu'elle soit présente en quantité relativement faible sur le maïs, hôte secondaire de cet insecte. C'est un vecteur efficace, très actif et inféodé aux poacées. *C. storeyi* est la seconde espèce vectrice identifiée à la Réunion.

Au Burkina, dans toutes les zones écologiques, cinq espèces de *Cicadulina* sont identifiées : *C. mbila*, *C. similis*, *C. arachidis*, *C. triangula* et, très rarement, *C. hartmansii*. Les capacités de transmission du virus varient selon les espèces de cicadelles. La plus efficace est *C. mbila* ; la capacité de transmission la plus faible est celle de *C. arachidis*.

P. maidis est un vecteur sédentaire, assez étroitement inféodé au maïs et au sorgho, où ses niveaux de population peuvent être élevés. Il est intrinsèquement peu efficace dans la transmission du virus.

Les plantes hôtes du MSV et l'épidémiologie des vecteurs en région soudano-sahélienne

Dès 1984, une étude précise a débuté au Burkina, représentant bien les régions soudano-sahéliennes.

Des cultivars de maïs très sensibles au MSV (Safita II et Jaune flint de Saria) ont été utilisés pour tous les tests de transmission du virus par la cicadelle *C. triangula* à partir des échantillons collectés. La méthode sérologique ELISA (*Enzyme-linked immunosorbent assay*) a été utilisée pour rechercher le MSV dans les échantillons prélevés.

Les plantes réservoirs

Une vaste campagne de prospection dans la flore herbacée du Burkina, à différentes périodes de l'année, pendant trois ans (de 1988 à 1990), a permis de collecter 41 espèces de

poacées portant des symptômes de la striure du maïs. Avec le test ELISA, le virus a été détecté chez 25 espèces.

L'étude de la répartition spatio-temporelle des réservoirs (plantes hôtes) aboutit à trois résultats : les réservoirs sont plus importants dans la zone de maïsiculture ; l'incidence de la maladie dans les champs de maïs est proportionnelle à l'abondance des réservoirs ; le nombre de réservoirs infectieux est très faible en mai, puis il augmente environ 3 à 4 semaines après le début de la saison des pluies et atteint un maximum en août. Au Burkina, l'incidence du MSV n'excède pas 6 % de plants de maïs présentant des symptômes en moyenne. Dans les années de fortes épidémies, elle atteint 30 à 40 %.

Dans les régions soudano-sahéliennes, la réalisation de semis précoces (de mi-mai à mi-juin), pendant que la source d'inoculum est relativement faible, devrait minimiser l'effet de la maladie en réduisant les risques d'infections précoces, qui sont les plus redoutables. Cependant, le calendrier de travail du cotonnier et du riz ne permet pas toujours de respecter ces recommandations.

Le rôle des facteurs climatiques

Au Burkina, dix ans d'enquêtes agroclimatiques ont démontré les effets du climat sur les populations d'insectes (donc sur l'incidence de la striure), par ordre d'importance : l'humidité relative en février ; l'humidité relative en janvier et les températures du mois de mai.

En effet, en janvier, au début de la saison sèche, la population d'insectes est élevée et la disparition des plantes hôtes oblige les insectes à migrer vers des refuges (points d'eau permanents, cultures irriguées). L'humidité relative de l'air diminue en janvier et plus encore en février, ce qui affecte la survie et la multiplication des insectes et peut provoquer une forte mortalité. La taille de la population résiduelle



Cicadulina mbila, larve et adulte.

Peregrinus maidis ailés.

Clichés B. Reynaud



conditionne la disponibilité en vecteurs pour la saison des pluies suivante, et se répercute donc sur le développement de la striure. L'importance des pluies au cours du mois de mai s'est révélée prépondérante dans les épidémies de striure de 1983 et de 1984. Au Zimbabwe, c'est également l'importance des pluies de mars à juin qui conditionne la densité de population de *Cicadulina* spp. de juillet à septembre et donc des épidémies de striure. De plus, au Zimbabwe comme à la Réunion, l'augmentation de la température pendant l'été austral favorise le développement des populations de vecteurs.

L'impact des trois viroses à la Réunion

A la Réunion, l'étude de la dynamique des populations d'insectes vecteurs a été réalisée en effectuant des semis échelonnés de maïs à une fréquence bimestrielle de 1983 à 1985, puis hebdomadaire de 1985 à 1988.

Les notations de symptômes viraux et les captures de vecteurs, réalisées en basse altitude à la Réunion, montrent que ces trois maladies virales ont des caractères épidémiques variables par leur localisation, leur importance et leur aspect saisonnier.

En basse altitude, le MSV provoque des pertes très élevées — voire totales. La striure est la maladie virale la plus fréquente en saison chaude. Cette épidémie correspond à la période où la température est optimale pour *C. mbila* et où les précipitations sont favorables au développement de poacées hôtes. Lors des fortes chaleurs, les risques de striure sont supérieurs à ceux de la virose causée par le MStpV, puis s'inversent en fin de saison chaude. A cette période plus fraîche, *P. maidis* est favorisé en comparaison de *C. mbila*.

P. maidis peut se développer à des températures plus modérées et des épidémies sont possibles en altitude. Le maïs étant la principale plante hôte de *P. maidis* et du MStpV, cette virose est une maladie grave surtout dans les zones à forte concentration maïsicole.

Le taux d'infection du maïs par le MMV reste faible en zone irriguée de basse altitude.

Cependant, il faut remarquer que la méthode de notation des plantes virosées en fonction des symptômes sous-estime l'incidence du MMV, en particulier dans les cas de surinfections avec le MSV et le MStpV, car ces viroses masquent les symptômes de MMV.

L'efficacité des transmissions virales à l'insecte vecteur

La capacité intrinsèque de transmission est l'expression de la spécificité des relations entre l'agent infectieux et le vecteur.

Dans le cas de virus persistants, le cycle de transmission du virus à l'insecte comprend les étapes suivantes :

- la période d'acquisition, phase au cours de laquelle l'insecte acquiert le virus en s'alimentant sur une plante malade ;
- la période de latence dans l'insecte, ou durée nécessaire au passage du virus dans le corps de l'insecte avant que ce dernier ne devienne infectieux ;
- la période d'inoculation, phase de contamination de la plante par une piqûre infectieuse de l'insecte.

En outre, on observe une période de rétention dans l'insecte, pendant laquelle le vecteur demeure infectieux.

Le cycle de transmission du MSV au vecteur est court, il ne dépasse pas 24 heures. Ceux du MStpV et du MMV sont d'environ 15 jours.

L'étude des transmissions montre que le MSV, le MStpV et le MMV présentent les caractéristiques de virus de type circulant avec une période de latence dans l'insecte, le maintien du pouvoir infectieux au cours des mues, la présence du virus

dans l'insecte et l'inoculation à la plante par la salive (figure 3). La période de latence dans l'insecte est mal connue, elle représenterait la durée du transit dans le corps de l'insecte et son accumulation dans les glandes salivaires jusqu'à une concentration seuil.

Pour évaluer l'efficacité de transmission d'un vecteur, on dénombre les pourcentages d'insectes infectieux dans une population. Les captures et les tests de différentes populations montrent que (en moyenne) 50 % des individus d'une population de *C. mbila* transmettent le MSV, et 20 % des individus de *P. maidis* le MStpV et le MMV.

La transmission du MSV par *C. mbila*

À la Réunion, *C. mbila* est un excellent vecteur du MSV, sa capacité intrinsèque de transmission est élevée : plus de 50 %. Ce taux correspond à celui obtenu aussi pour une population d'Afrique du Sud et du Burkina.

L'absence de multiplication du MSV dans l'insecte a été démontrée, car après une période d'acquisition alimentaire de courte durée, on observe une baisse générale des taux de transmission et des concentrations virales. L'efficacité de cet insecte vecteur réside dans la rapidité d'accumulation du virus lors de son

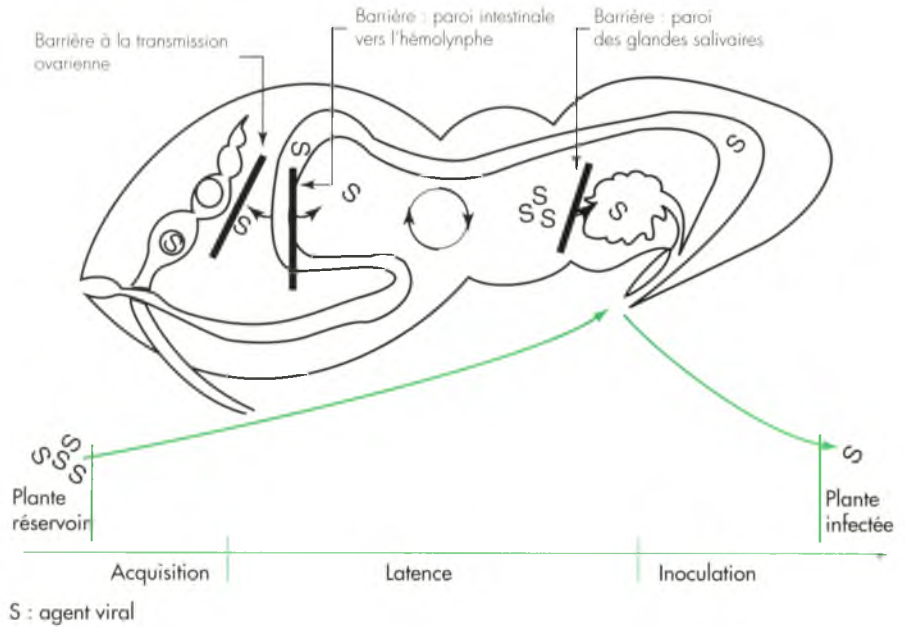


Figure 3. Schéma général du processus infectieux chez un insecte vecteur (d'après REYNAUD, 1988).
S : agent viral
L'acquisition est suivie d'une éventuelle période de latence puis de l'inoculation. Selon les virus et les insectes vecteurs, différentes barrières à la transmission ont été identifiées. Ainsi, dans différents organes de l'insecte, certaines membranes cellulaires agiraient soit comme des barrières, soit comme des lieux de passage liés à un mécanisme de reconnaissance spécifique du virus.

Figure 3. Schéma général du processus infectieux chez un insecte vecteur (d'après REYNAUD, 1988).

acquisition et dans les faibles concentrations nécessaires lors de l'inoculation. En revanche, la disparition du virus dans l'insecte est très lente, ce qui explique l'excellente persistance de son pouvoir infectieux.

Le MSV peut être considéré comme un virus circulant, persistant, non multipliant.

La transmission du MStpV par *P. maidis*

Les populations de *P. maidis* présentent une capacité de transmission du MStpV relativement faible : de l'ordre de 20 % à la Réunion, homogène et comparable à celle observée dans d'autres régions.

La transmission du MStpV à *P. maidis* montre une relative inefficacité. Des barrières à la transmission sont mises en évidence : la première agit lors de l'acquisition alimentaire par le blocage de la pénétration du virus au niveau de la paroi intestinale, la seconde vraisemblablement au

niveau de la paroi des glandes salivaires. Une partie des femelles peut transmettre le virus à leur descendance par voie ovarienne. Le virus peut se multiplier dans la plupart des insectes, dès le stade œuf.

Dès à présent, en vue des infestations artificielles (pour les tests de criblage variétal pour la résistance), il est possible de sélectionner sur la capacité d'acquisition alimentaire et ovarienne. On obtient, en un nombre limité de générations, des populations de vecteurs à capacité intrinsèque de transmission élevée.

La transmission du MMV par *P. maidis*

La capacité intrinsèque de transmission du MMV par *P. maidis*, observée à la Réunion, est faible : de l'ordre de 20 % d'insectes infectieux. Deux barrières à la transmission ont été mises en évidence, du même type que celles observées pour la transmission du MStpV. ■



Mode circulant : le virus circule dans le corps de l'insecte.

Mode persistant : le virus reste dans l'insecte pendant sa durée de vie.

Mode non multipliant : le virus ne se multiplie pas dans l'insecte.

Geminivirus : famille de virus, composés de deux particules accolées.

Le diagnostic des viroses et la variabilité du virus de la striure

Le diagnostic d'une virose par simple observation des symptômes est souvent imprécis et mérite d'être confirmé par divers tests sérologiques ou par la microscopie électronique. Ceci s'applique tout particulièrement dans le cas des stades précoces d'infection, sur des variétés ou des lignées en cours de sélection, où un diagnostic risque d'être erroné s'il n'est pas confirmé par une technique fiable telle que la méthode sérologique. Le diagnostic par la technique ELISA (*Enzyme-linked immunosorbent assay*) a été appliqué aux viroses présentes à la Réunion dans les parcelles de sélection pour en garantir l'identification. Les symptômes, causés par le MSV, le MStpV ou le MMV, peuvent être caractéristiques à un stade plus ou moins avancé de la maladie, mais ils se présentent parfois sous différents faciès, en particulier pour le MMV. De plus, des surinfections par plusieurs virus sont possibles.

La purification des virus et la méthode de diagnostic

Les trois virus (MSV, MStpV et MMV) ont été purifiés. A partir de ces extraits injectés à des lapins, des immunoglobines spécifiques ont été produites.

Les tests immunoenzymatiques ELISA ont été mis au point pour le diagnostic des virus. Par leur rapidité et leur simplicité, ces tests s'adaptent bien au diagnostic de routine des viroses.

Le MSV a été ainsi mis en évidence dans huit pays africains. La présence

de MStpV et de MMV est, en revanche, rarement évoquée en Afrique. Cependant, ces virus ont été détectés récemment, en Côte-d'Ivoire, au Mali et au Burkina. Le test ELISA classique ne peut être effectué qu'au laboratoire. Une des variantes de ce test, utilisant des membranes de nitrocellulose (mise au point au CIRAD, Montpellier), permet de tester la présence des trois virus en l'absence d'équipement de laboratoire — avec une révélation des membranes au laboratoire dans un délai de quelques semaines. Ce procédé facilitera l'étude de la répartition géographique des virus et l'identification des besoins en variétés résistantes (figure 4).

La variabilité du virus de la striure

L'étude de la variabilité de la striure a conduit à des résultats qui n'ont pas cessé d'évoluer en raison des progrès des techniques mises en œuvre pour l'analyser. En quelques décennies, la caractérisation des virus, provoquant des stries sur diverses graminées a progressé : fondée d'abord sur des tests biologiques, sur des techniques sérologiques (avec des anticorps monoclonaux) et de microscopie électronique, la classification en souches est passée à une classification en virus différents pour certains d'entre eux grâce à l'analyse des séquences nucléotidiques des génomes viraux.

En 1986, des études sérologiques conduites au CIRAD sur des viroses à stries de graminées aboutissaient à la distinction de trois sérotypes, permettant de différencier des isolats provenant de canne à sucre, de digitale et de séttaire par rapport aux divers isolats de maïs et de certaines poacées regroupés dans un même sérotype.

Les séquences génomiques obtenues par ailleurs ont confirmé ces distinctions sur d'autres isolats, au point de considérer les isolats de canne à sucre et de digitale comme des virus distincts du MSV et appelés respectivement *Sugarcane streak virus* (SSV) et *Digitaria streak virus* (DSV). Des isolats de *Panicum* sp. ont été reclassés de la même manière : de l'identification de l'isolat de MSV à un virus distinct, le *Panicum streak virus*. De telles distinctions sont à prévoir dans

Avantages des anticorps monoclonaux

Un antisérum préparé contre un virus donné contient, de par sa nature, un ensemble d'anticorps qui reconnaissent plusieurs sites de la protéine de capsid de la particule virale. Au contraire, un anticorps monoclonal ne reconnaît qu'un site de la protéine de capsid et permet donc de mettre en évidence d'infimes variations de celle-ci. Un anticorps monoclonal est le produit de la fusion d'une cellule lymphocytaire et d'une cellule myéломateuse. Cette cellule hybride, appelée hybridome, a acquis le caractère de pérennité de la cellule myéломateuse et la capacité de produire un seul anticorps de la cellule lymphocytaire. Cinq anticorps monoclonaux, reconnaissant le MSV, ont été obtenus par le CIRAD en collaboration avec l'Institut de biologie moléculaire et cellulaire de Strasbourg (France).

Le kit de diagnostic des viroses

Un kit de diagnostic sérologique sur membrane de nitrocellulose a été mis au point pour tester la présence des virus sur le terrain. Il est maintenant disponible à la vente (au CIRAD) pour toute personne désireuse de confirmer un diagnostic visuel par une technique sérologique.

Le kit présente une grande souplesse d'utilisation :

- le coffret contient tout ce qui est nécessaire au test ;
- il a un faible encombrement ;
- le test peut être interrompu après le dépôt des extraits de plante par simple séchage de la membrane. Sous cette forme, il peut être achevé ultérieurement dans un délai de 20 jours ;
- les membranes non révélées peuvent être envoyées par courrier dans une simple enveloppe pour révélation.

Par exemple, dans le cas d'une personne qui ne souhaite pas consacrer trop de temps à un test sérologique, il est possible

de ne faire que les dépôts des extraits de plante à tester sur les membranes et de les envoyer à un correspondant pour les révéler. Au contraire, si l'utilisateur souhaite réaliser complètement le test, il trouvera dans le kit des membranes de contrôle non révélées avec des témoins, positif et négatif, qu'il inclura dans le test pour faciliter l'interprétation des résultats.

Pour valider l'utilisation du kit sur le terrain, des échantillons provenant du Zimbabwe et de la Réunion ont été testés de plusieurs manières :

- test effectué entièrement sur le lieu de prélèvement ;
- dépôt des extraits sur le lieu de prélèvement et révélation des membranes dans un autre lieu ;
- test entièrement réalisé au CIRAD à Montpellier, à partir de feuilles envoyées de la Réunion et du Zimbabwe.

Les résultats ont montré la grande fiabilité et la robustesse du kit.

l'avenir sur d'autres isolats. L'isolat testé sur sétaire n'a pas été analysé plus en détail, seul un test sérologique a pu être effectué.

En résumé, les techniques sérologiques utilisées à la Réunion n'ont permis de différencier des sérotypes au sein des isolats de MSV, ni parmi les isolats provenant de maïs — pourtant originaires de 11 pays différents —, ni parmi les isolats provenant de poacées sauvages dont certains pourtant manifestent des différences d'agressivité quand ils sont testés sur le maïs. La technique sérologique s'est montrée insuffisante — dans plusieurs lieux, notamment à la Réunion — pour distinguer des isolats qui diffèrent par leur pouvoir pathogène.

Les études menées en zone soudanohélienne confirment la prédominance d'un sérotype sur le maïs en montrant que sur plus de 300 isolats de maïs analysés, 99 % présentent un profil sérologique caractéristique

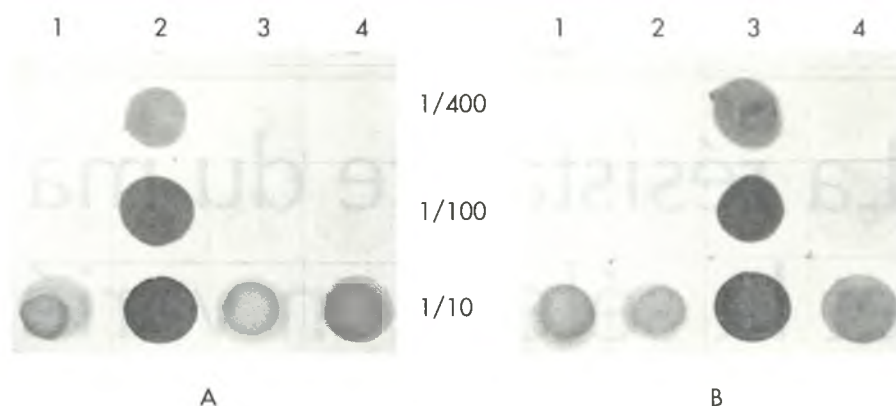


Figure 4. Détection immunoenzymatique du MMV (A) et du MSpV (B) par ELISA sur quatre extraits bruts de maïs de la Réunion, infectés par le MSV (1), le MMV (2), le MSpV (3) et non infectés (4). Chaque extrait de plante est testé aux dilutions 1/10, 1/100, 1/400 (poids de feuille sur le volume de tampon).

Cliché : M. Peterschmitt

du maïs, précédemment déterminé par le CIRAD. Cependant, il a été démontré sur une centaine d'isolats que la moitié contenait non seulement le sérotype du maïs, mais également un sérotype qui avait été identifié sur des poacées sauvages. Ces résultats nuancent les conclusions précédentes, en précisant que

le sérotype majoritaire sur maïs peut être présent en association avec d'autres souches dont le profil sérologique et le pouvoir pathogène sont masqués par le sérotype maïs. Comme en d'autres lieux, il est probable qu'en région soudanohélienne, où deux sérotypes ont été identifiés en plus de celui du

maïs, les analyses moléculaires aboutissent à la caractérisation de virus à stries de graminées distincts du MSV.

Les mécanismes de résistance du maïs à la striure

La résistance d'une plante à un virus peut s'opérer selon divers mécanismes. Ceux-ci sont étudiés sur la variété résistante IRAT 297 par rapport à la variété sensible INRA 508.

Localisation du MSV dans le plant de maïs

La recherche du virus (les antigènes de capside du MSV) dans les différentes parties de la plante à l'aide de la technique ELISA permet de comprendre le processus de colonisation de la plante par le virus.

Après introduction du virus dans une feuille par *C. mbila*, il migrerait par

les canaux de phloème jusqu'à la tige. Le MSV envahirait les feuilles à partir des jeunes cellules qui sont en division et dans lesquelles l'ADN viral peut se répliquer. L'accumulation de virus n'est détectée que dans les tissus qui se sont développés après l'infection.

Il résulte de ce mode d'infestation, que plus la plante est jeune au moment de l'inoculation, plus le pourcentage de tissus infectés est élevé et les pertes de rendement importantes. Comme le virus migre depuis le point d'inoculation en moins de deux heures, aucune multiplication préalable ne semble nécessaire. Des tests de transmission du virus par les cicadelles ont montré que le virus ne peut être acquis que dans les feuilles présentant des symptômes.

Le mécanisme de résistance

L'étude de la répartition du virus dans les plantes de maïs montre qu'elle est identique chez une variété

sensible (INRA 508) et chez une variété résistante (IRAT 297). En revanche, grâce à un dosage des nucléoprotéines du virus par la technique ELISA, une différence de concentration virale est détectée entre les variétés ; les nucléoprotéines étant 10 à 90 fois plus concentrées chez INRA 508 que chez IRAT 297.

La résistance de la variété IRAT 297 ne se manifeste donc pas par un blocage de la migration du virus mais plutôt par une résistance à la multiplication virale.

La plus faible multiplication virale dans IRAT 297 réduit la sévérité de la première infection, non seulement par des symptômes moins sévères mais aussi par un délai d'apparition des symptômes plus long que dans la variété sensible (5 jours au lieu de 3 jours, respectivement dans un test comparatif). Il en résulte une diminution de la sévérité des infections secondaires car les plantes résistantes constituent une source pauvre en inoculum. ■

La résistance du maïs et la sélection variétale

L'objectif final des recherches menées à la Réunion, est le transfert des résistances aux trois virus (MSV, MStpV et MMV), présentes dans les variétés locales, dans des variétés d'un bon intérêt agronomique, mais actuellement sensibles aux viroses.

Le transfert de la résistance au MSV est également en cours de réalisation au Togo et plus récemment au Cameroun.

Ce travail de sélection, sur des variétés vulgarisées ou en fin de sélection et prometteuses, intéresse de nombreux pays africains, membres de la CORAF, et également les pays d'Amérique latine et de la Caraïbe.

Au total, plus de 800 variétés des régions tropicales et tempérées ont été criblées à la Réunion en conditions d'infestations virales naturelles. Aucune de ces variétés, à l'exception des écotypes de l'île de Rodrigues, génétiquement proches de ceux de la Réunion, ne montre une résistance suffisante pour pouvoir être cultivée à la Réunion. L'amélioration des variétés locales, pour le rendement et les qualités agronomiques, est une des possibilités d'amélioration à long terme ; mais ces variétés ont des potentialités de rendement réduites et des précocités très proches. Elles ont un faible

Les sources de résistance découvertes à la Réunion

A la Réunion, on a découvert des résistances dans le matériel local, notamment parmi les variétés côtières. Elles ont acquis ce caractère par sélection naturelle. La variété réunionnaise « Révolution » a été reconnue comme résistante à la striure en 1974 au Bénin. Ceci a été confirmé dans plusieurs pays : au Kenya en 1976, aux Etats-Unis en 1983, au Nigeria en 1982.

Une prospection, réalisée à la Réunion et à Rodrigues en 1979-1980, a permis de collecter une centaine d'écotypes. Après un test en conditions d'infestation naturelle d'un mélange de MSV, de MStpV et de MMV, 41 d'entre eux ont été retenus sur le seul critère de résistance aux viroses. Un test ultérieur sous infestation artificielle a confirmé leur résistance.

Ces écotypes ont été brassés pour former le « Composite viroses résistant » (CVR), amélioré ensuite au cours de trois cycles de sélection massale utilisés depuis comme donneur de résistance dans le schéma de transfert.

potentiel d'amélioration, étant donné la base génétique étroite qu'elles représentent. Il a semblé plus rapide et surtout plus efficace de réaliser des transferts de résistance, car ils permettent de créer une large gamme de variétés résistantes à partir de matériel déjà amélioré de bonne valeur agronomique.

Les travaux préliminaires

Pour pouvoir transférer par rétro-croisement des résistances à ces trois virus, quatre conditions importantes ont dû être satisfaites :

- trouver des résistances dans des variétés locales des îles de l'océan

- conduire des élevages de masse des insectes vecteurs pour réaliser les inoculations. L'espèce *C. mbila*, présente à la Réunion, est considérée comme la principale espèce vectrice de la striure, et a été retenue comme vecteur pour ce programme d'amélioration variétale. *P. maidis* est le seul vecteur connu du MStpV et du MMV, également présent à la Réunion ;

- mettre au point un crible pour trier les plants sur le critère de la résistance, avec les techniques d'infestations artificielles, opérationnelles pour *C. mbila* et en cours de mise au point pour *P. maidis*. Une échelle de notation est définie ;

- des tests sérologiques ont été établis pour vérifier, si nécessaire, que le virus transmis est bien celui souhaité.

Les premières études ont montré que les résistances au MSV des écotypes réunionnais se révélaient fortes dans de nombreux pays, et que la souche réunionnaise de MSV était particulièrement agressive.

Les recherches sur la résistance au MSV

L'élevage de *C. mbila* est aisé, et les infestations artificielles sont faciles à réaliser. C'est pourquoi les travaux sur le MSV sont plus avancés que ceux sur le MMV et le MStpV à la Réunion.

Par ailleurs, ce virus est essentiellement africain. Ceci explique le développement des programmes de transferts de résistance au MSV au Togo et, plus récemment, au Cameroun.

L'amélioration du « Composite viroses résistant »

Les premiers essais exprimant une variabilité interne importante de la

résistance, l'amélioration du CVR a été entreprise par sélection récurrente tout d'abord sous pression virale naturelle de MSV (cycle 1, CVR-C1), puis sous infestation artificielle (cycles 2 et 3, CVR-C3). Le niveau de résistance au MSV du CVR a ainsi été fortement amélioré.

La variété CVR-C1 a été inscrite en 1986 sous le nom de IRAT 297 auprès de la Crop Science Society of America. Sa valeur pour la résistance au MSV a été vérifiée en comparant des variétés sensibles et des descendances de croisements avec IRAT 297.

Le déterminisme génétique de la résistance au MSV

A partir de la forme améliorée CVR-C3, 500 familles S1 ont été produites par autofécondation, puis testées sous infestation artificielle de MSV. La très faible proportion de plants indemnes de tous symptômes, l'hétérogénéité des notes symptomatologiques obtenues dans chaque famille et la distribution « en cloche » au sein de l'ensemble des familles montrent que le déterminisme de cette résistance est vraisemblablement contrôlé par un système polygénique.

Cependant, en poursuivant les autofécondations pendant quatre générations supplémentaires, quelques lignées S5, de niveau de résistance très élevé (voire total, pour l'une d'entre elles), ont pu être obtenues. L'analyse génétique sur ce matériel a permis, pour l'instant, de mettre en évidence un système majeur de résistance totale, à dominance incomplète positive qui ferait intervenir deux ou trois gènes. Par ailleurs, une résistance partielle a pu être observée dans certaines lignées sans que l'on puisse, pour l'instant, attribuer celle-ci à un système distinct (probablement polygénique) ou à une expression partielle du système majeur.

Les notations

La notation des symptômes est effectuée visuellement, selon une échelle semi-quantitative de 0 à 5, prenant en compte la gravité des symptômes.

Echelle de notation des plants :

0, le plant ne présente aucun symptôme ;

1, le plant présente quelques points chlorotiques visibles au cours d'une inspection très détaillée ;

2, le plant présente une striure facilement visible mais légère ;

3, le plant présente une striure modérée ;

4, le plant présente une striure importante avec nanisme ;

5, le plant est entièrement virosé de façon très grave avec un nanisme très important.

Les symptômes n'évoluent plus au delà de 35 jours après l'infestation. C'est donc entre ce stade et la floraison que les notations et le choix des plants à conserver dans les transferts sont effectués.

A partir de ces notes par plant, une note globale peut être calculée pour une famille ou une variété. Par exemple, pour les essais réalisés à La Réunion, on estime qu'un plant ayant une note inférieure ou égale à 2 ne subira pas de baisse de rendement à cause de la présence du virus, ce qui ne sera pas le cas pour les plants notés 3, 4 ou 5.

La note globale tient compte de ce seuil. Une variété n'ayant aucun plant noté 3 ou plus recevra la note globale 0 et sera donc une variété résistante.

Au contraire, une variété dont tous les plants sont notés 5 est très sensible et obtient une note de 500. La formule de calcul de la note globale est la suivante : $100 \times (3 \times N_3 + 4 \times N_4 + 5 \times N_5) / \sum N_i$ (0 à 5) avec N_i = nombre de plants présentant la note i (1, 2, 3, 4, 5).

Les infestations artificielles

Les infestations artificielles sont indispensables pour effectuer les criblages, car les trois virus sont présents en proportions variables au cours de l'année : la pression virale naturelle n'est donc ni suffisamment homogène, ni suffisamment constante pour permettre des tris précis. Elles nécessitent un élevage de masse à forte productivité et des vecteurs efficaces pour limiter le nombre d'insectes à produire.

Le pourcentage d'insectes efficaces est accru en augmentant la durée d'acquisition sur des plantes virosées et en sélectionnant les populations d'élevage pour leur aptitude à la transmission.

Les insectes utilisés au cours des transferts pour la résistance au MSV proviennent d'une population sélectionnée de *C. mbila* dont 100 % des individus transmettent le virus. Ceux-ci ont été placés auparavant en acquisition pendant trois jours sur des plants présentant des symptômes très sévères. Les insectes, anesthésiés au dioxyde de carbone, sont déposés dans le cornet de chaque plant. La sensibilité d'un plant diminuant avec l'âge, une infestation aussi précoce que possible est nécessaire. Pour des raisons pratiques (développement suffisant du plant pour y déposer les insectes), les infestations ont lieu 10 jours après semis.

La qualité des infestations est primordiale pour avoir l'assurance que tous les plants sont infestés. L'expérience montre que avec le dépôt de trois cicadelles efficaces par plant, la réussite des infestations est quasi totale.



Infestation artificielle au champs avec *C. mbila*.

Cliché B. Reynaud

Les spécificités de la recherche de résistance au MSV en Afrique par l'IITA

En 1972, la résistance au MSV a été mise en évidence par l'IITA dans la variété « Tropical Zea Yellow » (TZY). Une sélection a été réalisée, puis des transferts dans des variétés plus productives. La lignée améliorée IB 32 (obtenue en 1979) exprimait un haut niveau de résistance partielle. Elle a été utilisée comme donneur de résistance. La sélection a été conduite avec la particularité de ne pas retenir les plants totalement indemnes de striure ; de nombreuses variétés ont été produites et diffusées en Afrique.

Les méthodes de sélection

Les particularités de la biologie florale du maïs — plante allogame, autofécondations possibles — sont à l'origine des trois principales méthodes de sélection.

La sélection généalogique. La sélection généalogique consiste à autoféconder un certain nombre de plants. On obtient ainsi des familles S1. Après le choix des familles jugées intéressantes selon différents critères, des plants sont à nouveau autofécondés dans les familles retenues. On obtient ainsi des familles S2, puis en poursuivant les autofécondations et le choix, des familles S3, S4... On arrête ce processus généralement en S6 ou S8, et l'on obtient ainsi des lignées homozygotes, de faible vigueur, mais utilisables pour créer des hybrides grâce au phénomène de l'hétérosis.

La sélection récurrente. La sélection récurrente consiste à choisir dans une variété ou dans un composite un certain nombre de plants. Les graines de ces épis seront semées par exemple en « épis-ligne », un épi donnant une ligne de semis. Un choix est alors réalisé selon un ou plusieurs critères et les familles retenues sont brassées pour redonner une variété. En répétant ces cycles de choix et de brassage, la variété est progressivement améliorée.

Le rétrocroisement. Le rétrocroisement sert à transférer un caractère dans une variété intéressante qui ne le possède pas. La descendance (F1) entre la variété receveuse et la variété donnant le caractère est soumise à un crible pour choisir les plants possédant ce caractère. Les plants retenus sont recroisés avec la variété receveuse : c'est le rétrocroisement ou croisement de retour. Après plusieurs rétrocroisements, on tend vers la variété de départ avec le caractère recherché.

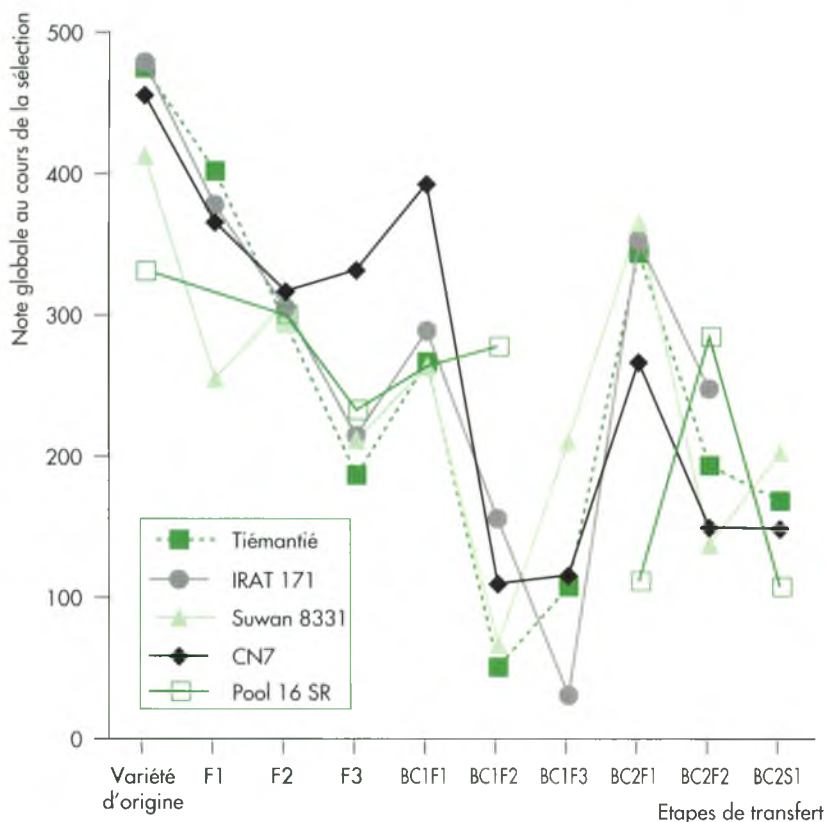


Figure 5. Efficacité du transfert de la résistance au MSV : évolution de la note globale de sensibilité au cours des différentes étapes.

Origine des variétés converties.

Origine	Mali	Burkina	Bénin	CIMMYT	CIMMYT	Côte-d'Ivoire	IITA-Nigeria
Variété	Tiémantié	IRAT 171	CN7	Suwan 8331	Tuxpeño	CPJ	Pool 16 SR

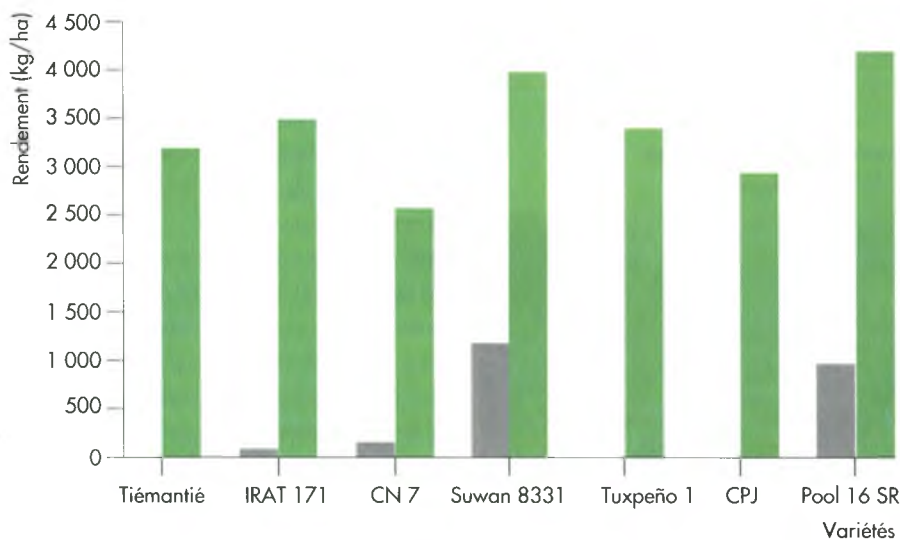


Figure 6. Efficacité des transferts. Rendement en grain des variétés converties comparé au rendement en grain des variétés de maïs d'origine en kilogramme par hectare.

Les transferts

Les transferts de résistance au MSV se font par la méthode classique des rétrocroisements successifs.

A la Réunion, pour chaque criblage, 5 000 plants de F1 sont semés et infestés 10 jours après le semis par le dépôt dans le cornet de chaque plant de trois cicadelles ayant acquis préalablement le virus. Le choix des plants à conserver sur le critère de la résistance a lieu avant la floraison, par élimination des plants sensibles. Les plants retenus, 250 à 300 seulement, s'interfécondent entre eux. Ce crible est appliqué en F1 et en F2 de chaque cycle.

Le même schéma est réalisé dans les recherches conduites au Togo, mais l'infestation artificielle est réalisée de manière différente. Le maïs est semé en pots. Dès la levée du maïs, ces pots sont placés dans des cages contenant des cicadelles infectées. Les plants sont ensuite repiqués au champ. Les plants retenus sont autofécondés, puis rebrassés.

Les criblages sont très efficaces. Le gain de résistance se maintient au moins partiellement, après le premier rétrocroisement (figures 5 et 6). Il est intéressant de réaliser un criblage dès la F1, de façon à éliminer dès le départ un maximum de gènes récessifs.

Le schéma de transfert est limité à un croisement de départ avec le donneur puis à deux rétrocroisements. La variété finale possède donc la résistance et près de 90 % des gènes de la variété receveuse.

Pour récupérer les caractères de couleur et de type de grain de la variété receveuse — lorsqu'elle est différente de CVR —, le recours à l'autofécondation est nécessaire. Dans les essais réalisés au Togo, ce processus est conduit pour chaque criblage. A la Réunion, il a lieu à partir du second rétrocroisement.

Les résultats actuels

Aujourd'hui, cinq variétés du schéma de rétrocroisement de la

Réunion — CN7, Tiémantié, Pool 16 SR, IRAT 171, Suwan 8331 — sont considérées comme converties, après deux rétrocroisements, suivis de trois générations d'autofécondation.

Elles présentent, à la Réunion, une excellente résistance. La majorité des plants ne montre aucun symptôme en conditions sévères d'infestation artificielle avec l'isolat très agressif utilisé.

Concernant les sélections effectuées au Togo, cinq variétés — Violet de Katiola, ZL 2BD, Pool 16 DR, Blanc 2 précoce, AB 21 — sont au stade du second rétrocroisement et sont donc converties. Les différents types de sélection sont en cours d'évaluation pour la résistance au MSV et pour la conservation des caractères de texture du grain et de recouvrement de l'épi par les spathes, ces caractères ayant été pris en compte au cours de la sélection.

Les résistances au MStpV et au MMV

La comparaison en conditions naturelles du comportement du composite IRAT 297 avec celui de l'hybride sensible INRA 508 a mis en évidence le bon niveau de résistance à ces deux virus dans le composite local, qui se traduit par une résistance complète dans plus de 80 % des plantes. Malgré la présence de ces virus dans les mêmes zones géographiques et leur transmission par la même espèce vectrice, les déterminismes génétiques de ces résistances semblent différents. La variété IRAT 297 est actuellement la seule source connue de résistance au MStpV.

Si nous disposons de la résistance au virus de la mosaïque (MMV), une résistance à la transmission de l'insecte à la plante a également été mise en évidence dans des lignées issues de IRAT 297. Cette résistance est à l'étude. Ces deux niveaux de résistance, au virus et à la transmission, doivent être pris en compte simultanément pour obtenir une résistance plus durable.

Les perspectives

A court terme, il est important de comparer dans différents pays, sous infestation artificielle de MSV, les niveaux de résistance obtenus dans les variétés rendues résistantes au MSV à la Réunion (formes finales obtenues à partir des brassages des lignées S3, issues du deuxième rétrocroisement) et au Togo. Cet essai est en cours au Cameroun, au Togo, au Zimbabwe avec le CIMMYT et à la Réunion. Une même étude sera ensuite réalisée en conditions d'infestation naturelle dans un plus grand nombre de pays. Elle permettra de vérifier le degré de similitude — sur le plan du rendement des caractères agronomiques, du type de grain, des résistances autres qu'au MSV — entre les formes résistantes et les formes sensibles des différentes variétés.

A plus long terme, il s'agit de fixer les résistances au MStpV et au MMV principalement dans des variétés à pollinisation libre et des variétés hybrides qui pourraient donner lieu à une large diffusion dans la zone tropicale. Des travaux de recherche sont en cours, sur la transmission par *P. maidis* et leur transfert dans des lignées élites, ainsi que sur la génétique des résistances à ces deux virus. Les premiers résultats obtenus sont encourageants.■

Maïs atteint par la striure.
Cliché B. Reynaud



Résumé... Abstract... Resumen

MARCHAND J.-L., PETERSCHMITT M., REYNAUD B.
— **Les viroses de la striure, du stripe et de la mosaïque sur le maïs en région tropicale (Afrique et îles de l'océan Indien).**

L'impact des viroses et les recherches actuelles ; les vecteurs et leur épidémiologie ; le diagnostic des viroses et la variabilité du virus de la striure ; la résistance du maïs et la sélection variétale.

Ces trois viroses, connues depuis le début du siècle et répandues dans toutes les régions tropicales ont été plus précisément étudiées en Afrique et à la Réunion. Des recherches en virologie, en épidémiologie et en génétique sont conduites par le CIRAD en collaboration avec plusieurs organismes africains (CORAF, INCV, INERA, IRA), internationaux (CIMMYT, IITA) et le John Innes Institute de Grande-Bretagne.

La striure est causée par le *maize streak virus* (MSV), le *stripe* est provoqué par le *maize stripe virus* (MStpV) et la mosaïque par le *maize mosaic virus* (MMV). Ces virus sont obligatoirement transmis par des insectes, du genre *Cicadulina* pour le MSV (de nombreuses espèces sont identifiées) et par *Peregrinus maidis* pour le MStpV et le MMV. Ces insectes ont été identifiés sur le continent africain. Les épidémies de striure provoquent des dégâts importants (à la Réunion et certaines années en Afrique) ; l'impact des viroses causées par le MStpV et le MMV est encore mal connu. L'efficacité des transmissions virales par l'insecte vecteur est élevée pour le MSV et *C. mbila* (50 % des insectes infectieux), et plus faible pour le MStpV et le MMV par *P. maidis* (20 % d'insectes infectieux). Les symptômes des trois virus sont décrits, et l'épidémiologie est étudiée au Burkina et à la Réunion.

Les virus sont identifiés à l'aide des tests immunoenzymatiques ELISA (*Enzyme-linked Immunosorbent assay*). La méthode sérologique est la seule méthode fiable. Un kit de diagnostic a été mis au point pour tester la présence de ces trois virus, sans nécessiter un équipement de laboratoire. D'autres techniques (isolats monoclonaux, gamme d'hôtes, séquençage du génome) ont permis de distinguer des souches différentes de MSV. La recherche du virus dans la plante par la technique ELISA a permis de comprendre le mécanisme de résistance de la plante au MSV, qui se traduirait par une résistance à la multiplication virale.

Les sélections variétales, ont eu pour objectif de transférer des résistances dans des variétés d'un

bon intérêt agronomique, à la Réunion et au Togo. A partir de variétés locales, un « Composite viroses résistant » a été constitué, puis amélioré. Les travaux sur le MSV sont plus avancés que ceux sur le MStpV et le MMV. L'analyse génétique de la résistance au MSV montre qu'il existe une résistance partielle polygénique et une résistance totale due à deux ou trois gènes. Des transferts sont réalisés sur des variétés africaines ou introduites à la Réunion et au Togo. A la Réunion, les travaux de sélection sont conduits sur les trois virus, cinq variétés sont converties. Au Togo, des transferts sont réalisés pour la résistance au MSV et cinq variétés sont converties. Un essai multilocal est en place dans différents pays (Cameroun, Togo, Zimbabwe, la Réunion).

Mots-clés : maïs, striure, stripe, mosaïque, virus, insecte, *Cicadulina mbila*, *Peregrinus maidis*, variété, résistance, technique ELISA, région tropicale, Afrique, la Réunion.

MARCHAND J.-L., PETERSCHMITT M., REYNAUD B.
— **Maize streak virus, maize stripe virus and maize mosaic virus in the tropics (Africa and islands in the Indian Ocean).**

The impact of the virus diseases and present research; vectors and their epidemiology; diagnosis of the viruses and variability of streak; resistance of maize and varietal selection.

The three virus diseases have been known since the beginning of the century and are found in the tropics. They were studied in Africa and Reunion. Research in virology, epidemiology and genetics is carried out by CIRAD in collaboration with several African institutions (CORAF, INCV, INERA and IRA), international institutions (CIMMYT and IITA) and the John Innes Institute in Great Britain. Maize streak virus (MSV), maize stripe virus (MStpV) and maize mosaic virus (MMV) are always spread by insects. MSV is spread by members of the genus *Cicadulina* (numerous species have been identified). MStpV and MMV are spread by *Peregrinus maidis*. These insects have been identified in Africa. Streak epidemics cause serious crop damage (in Reunion and in Africa in certain years) but the impact of strike and mosaic is still not well known. The effectiveness of virus transmission to the insect vector was high for MSV and *C. mbila* (50% of insects were infectious) and lower for MStpV and MMV and *P. maidis* (20% of insects were infectious). The viruses were identified by enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA). The serological method was the most reliable. A

diagnosis kit was developed to test the presence of the three viruses without special equipment. With the new techniques (monoclonal isolates, range of hosts and genome sequencing) used, MSV serotypes were identified. Detection of the virus in plants using ELISA made it possible to understand the mechanism of resistance to MSV. Varietal resistance appeared to be caused by resistance to multiplications of the virus.

The varietal selection work carried out in Reunion and in Togo was aimed at transferring resistance (found in local varieties) to varieties of clear agronomic interest. A "Composite viroses resistant" was formed from local varieties and then improved. The work on MSV is more advanced than that on MStpV and MMV. Genetic analysis of resistance to MSV revealed partial polygenic resistance and total resistance by virtue of two or three genes. Research has been developed on the three viruses resistance in Reunion, five varieties have been completed. Transfers have been carried out for the MSV resistance in Togo, five varieties have been formed. Trials are in progress in several countries (Cameroon, Togo, Zimbabwe and Reunion) to compare the levels of resistance achieved and the agronomic conformity of the resistant varieties.

Key words: maize, streak, stripe, mosaic, virus, insect, *Cicadulina mbila*, *Peregrinus maidis*, varieties, resistance, ELISA, tropics, Africa, Reunion.

MARCHAND J.-L., PETERSCHMITT M., REYNAUD B.
— **Las virosis del estriado, del stripe y del mosaico en el maíz en región tropical (Africa y las islas del Océano Índico).**

El impacto de las virosis y las investigaciones actuales; los vectores y su epidemiología; el diagnóstico de las virosis y la variabilidad del virus MSV; la resistencia del maíz y la selección varietal.

Estos tres virosis, conocidas desde comienzos del siglo y difundidas en todas las regiones tropicales, han sido estudiadas más precisamente en Africa y la isla de la Reunión. El CIRAD ha llevado a cabo investigaciones de virología, epidemiología y genética, en colaboración con varios organismos africanos (CORAF, INCV, INERA, IRA), internacionales (CIMMYT, IITA) y el John Innes Institute de Gran Bretaña. El estriado es transmitido por el *maize streak virus* (MSV), el *stripe* es transmitido por el *maize stripe virus* (MStpV) y el mosaico por el *maize mosaic virus*

(MMV). Los tres virus son transmitidos obligatoriamente por insectos, del género *Cicadulina* para el MSV (se han identificado numerosas especies) y por *Peregrinus maidis* para el MStpV y el MMV. Dichos insectos se han identificado en el continente africano. Las epidemias de estriado provocan grandes daños (en la Reunión y, algunos años, en Africa), mientras que el impacto de las virosis provocado por el MStpV y el MMV todavía se conoce mal. La eficacia de las transmisiones virales al insecto vector es elevada para el MSV y *C. mbila* (50% de los insectos infecciosos) y más baja para el MStpV y el MMV y *P. maidis* (20% de los insectos infecciosos). Los síntomas de los tres virus están descritos, y la epidemiología está estudiada en Burkina y en la Reunión. Los virus son identificados mediante pruebas inmunoenzimáticas ELISA (Enzyme-linked immunosorbent assay). El método serológico es más seguro que sólo la descripción de los síntomas. Se ha elaborado un kit de diagnóstico para probar la presencia de estos tres virus sin necesitar un equipo de laboratorio. Otras técnicas utilizadas (girmenes aislados monoclonales, numerosos huéspedes, secuenciación del genoma), se han distinguido serotipos de MSV. La investigación de virus en la planta mediante la técnica ELISA ha permitido comprender el mecanismo de resistencia al MSV. La resistencia varietal al virus se manifiesta aparentemente por una resistencia a la multiplicación viral. Las investigaciones en selección varietal, tuvieron como objetivo realizar transferencias de las resistencias, presentes en variedades locales, a variedades de buen interés agronómico, en la Reunión y en Togo. A partir de variedades locales resistentes, se constituyó, y mejoró, un "Composite viroses résistant". Los trabajos relativos al MSV están más avanzados que los relativos al MStpV y al MMV. El análisis genético de la resistencia al MSV demuestra que existe una resistencia parcial poligénica y una resistencia total debida a dos o tres genes. Se están realizando transferencias en variedades africanas y efectuando investigaciones en la Reunión y en Togo. Se han efectuado las investigaciones en los tres virus en la Reunión, cinco variedades se han terminado. Se han realizado transferencias para la resistencia al MSV en Togo, y se han constituido cinco variedades. También se están haciendo pruebas en diferentes países (Camerún, Togo, Zimbabwe, la Reunión).

Palabras clave: maíz, estriado, stripe, mosaico, virus, insecto, *Cicadulina mbila*, *Peregrinus maidis*, variedad, resistencia, técnica ELISA, región tropical, Africa, Reunión.

AUTREY L.J.C., 1983. Studies of maize mosaic virus and other maize mosaic virus disease in the islands of the Western Indian Ocean. *In* D.T. GORDON, J.K. KNOKE, L.R. NAULT, R.M. RITTER. Proceedings International Maize Virus Disease Colloquium and Workshop, August 2-6 1983. Ohio State University, Ohio Agric. Res. and Dev. Center, Wooster, USA. p. 167-181.

BOCK K.R., 1980. Maize viruses. *In* Crop virology research project July 1973-July 1980. Final report. Kenya agricultural research institute, Muguga. p.1-6.

BRIDDON R.W., LUNNESS P., CHAMBERLIN L.C.L., PINNER M.S., BRUNDISCH H., MARKHAM P.G., 1992. The nucleotide sequence of an infectious insect-transmissible clone of the geminivirus *Panicum* streak virus. *Journal of General Virology*, 73: 1041-1047.

DAMSTGEET V.D., 1983. Maize streak virus: I. Host range and vulnerability of maize germplasm. *Plant disease*, 67: 734-737.

DELPUÉCH I., BONFILS J., LECLANT F., 1986. Contribution à l'étude des virus du maïs transmis par homoptères auchenorrhynques à l'île de la Réunion. *Agronomie*, 6 (6) : 549-554.

DINTINGER J., RODIER A., REYNAUD B., CLERGET B., MARCHAND J.-L., *sous presse*. Breeding maize for MSV resistance in Reunion Island. *In* 11th South Africa Maize Breeding Symposium, Cerada, 15-17 March 1994. *Sous presse*.

DONSON J., ACCOTTO G.P., BOULTON M.I., MULLINEAUX P.M., DAVIES J.W., 1987. The Nucleotide Sequence of a Geminivirus from *Digitaria sanguinalis*. *Virology*, 161: 160-169.

ETIENNE J., RAT B., 1973. Le stripe : une maladie importante du maïs à la Réunion. *L'Agronomie tropicale*, 28 : 11-17.

FULLER C., 1901. Mealie variegation. *In* 1st Report of the government entomologist. Natal, 1899-1900, South Africa. p. 17-19.

GRAHAM C.L., 1979. Inability of certain vectors in North America to transmit maize streak. *Environment Entomology*, 8: 228-230.

HAINZELIN E., MARCHAND J.-L., 1986. Registration of IRAT 297 maize germplasm. *Crop Science*, 26: 839-840.

KONATE G., TRAORE O., 1992. Les hôtes réservoirs de la striure du maïs (MSV) en zone soudano-sahélienne : identification spatio-temporelle. *Phytoprotection*, 73 (3) : 111-117.

KONATE G., TRAORE O., *sous presse*. Variabilité et adaptation d'hôte du virus de la striure du maïs en zone soudano-sahélienne. *Phytoprotection*, 75, *sous presse*.

KULKARNI H.Y., 1973. Comparison and characterisation of maize stripe and maize lines virus. *Annals Applied Biology*, 75 (2): 205-216.

LE CONTE, 1974. La virose du maïs au Dahomey. *L'Agronomie Tropicale*, XXIX (4) : 831-832.

PETERSCHMITT M., 1988. Identification sérologique et dynamique du *maize streak virus* dans le maïs et dans le vecteur *Cicadulina mbila*. Thèse de docteur en sciences, Université de Paris-Sud, Orsay, France. 179 p.

PETERSCHMITT M., REYNAUD B., SOMMERMEYER G., BAUDIN P., 1991. Characterization of maize streak virus isolates using monoclonal and polyclonal antibodies and by transmission to a few hosts. *Plant Disease*, 75 (1): 27-32.

PETERSCHMITT M., QUIOT J.-B., REYNAUD B., BAUDIN P., 1992. Detection of maize streak virus antigens overtime in different parts of maize plants of a sensitive and so-called tolerant cultivar by Elisa. *Annals Applied Biology*, 121: 641-653.

REYNAUD B., 1988. Transmission des virus de la striure, du stripe et de la mosaïque par leurs vecteurs *Cicadulina mbila* (Naude, 1924) et *Peregrinus maidis* (Asmead, 1890) (*Homoptera*). Thèse de docteur en sciences, université des sciences et techniques du Languedoc, Montpellier, France. 173 p.

REYNAUD B., PETERSCHMITT M., 1992. Study of the mode of transmission of maize streak virus by *Cicadulina mbila* (Naude). *Annals Applied Biology*, 121: 85-94.

RODIER A., *sous presse*. Breeding maize lines for complete and partial resistance to maize streak virus (MSV). *Euphytica*, *sous presse*.

SOTO P.E., BUDDENHAGEN I.W., ASNANI V.L., 1982. Development of streak-resistant maize populations through improved challenge and selection methods. *Annals Applied Biology*, 100: 539-546.

STOREY H.H., 1936. Virus Disease of East African plants. IV. A survey of the viruses attacking the gramineae. *East African Agricultural Journal*, 1: 333-337.

STOREY H.H., HOWLAND A.K., 1967 a. Inheritance of resistance in maize to the virus of streak disease in East Africa. *Annals Applied Biology*, 59 (3): 429-436.

STOREY H.H., HOWLAND A.K., 1967 b. Transfer of resistance to the streak virus into East African maize. *East African Horticultural and Forestry Journal*, 33: 131-135.

VON WECHMAR M.B., HUGHES F.L., 1982. A rapid technique for typing streak virus isolates using a pannel of differential hosts. *In* Proceedings of 9th South Africa Maize Symposium, Petermaritzburg, 1990. p 115-119.

WEBB M.D., 1987. Species recognition in *Cicadulina* leafhoppers (*Hemiptera* : *Cicadellidae*) vectors of pathogens of *Graminea*. *Bulletin of Entomology Research*, 77: 683-712.



Dossier préparé par

C. JOURDAN-RUF, J.-L. MARCHAND, M. PETERSCHMITT
CIRAD-CA, BP 5035,
34032 Montpellier Cedex 1, France

B. REYNAUD,

CIRAD-CA, station de ligne Paradis,
97410 Saint-Pierre, la Réunion, France

Les principaux chercheurs ayant collaboré à ces études sont :

G. KONATE, O. TRAORE et S. TRAORE (Burkina) ;
M. ESSEH-YOVO (Togo) ; C. THE (Cameroun) ;
P. MARKHAM (Grande-Bretagne),
C. BUDUCA, B. CLERGET, J. DINTINGER
et A. RODIER (la Réunion, France).

Crédit photographique page 1 :
Ensachage de l'inflorance de maïs.
Champs de maïs au Burkina.
Clichés D. Debert