Documents de travail du CIRAD-CA
N° 1-95

Projet CIRAD-INRA Guadeloupe

Synthèse des principaux résultats d'amélioration variétale du maïs pour la zone caraïbe, 1989-1993

D. Clavel, C. Welcker, I. Guinet

Centre de coopération internationale
en recherche agronomique pour le développement

Département des cultures annuelles
Documents de travail du CIRAD-CA
N° 1-95 - Janvier 1995

Projet CIRAD-INRA Guadeloupe

Synthèse des principaux résultats d'amélioration variétale du maïs pour la zone caraïbe, 1989-1993

D. Clavel, C. Welcker, I. Guinet

Centre de coopération internationale
en recherche agronomique pour le développement

SOMMAIRE

1 - CONTENU SCIENTIFIQUE 2

Recherche de variétés adaptées à la zone Caraïbe 2
Recherche de la résistance à deux noctuelles ravageuses du maïs :
Spodoptera frugiperda et Helicoverpa zea 2
Maintien d'une collection de ressources génétiques tropicales 2

2 - PRINCIPAUX RESULTATS 3

2-1 Recherche de variétés adaptées à la zone Caraïbe 3
Sources de productivité 3
Les interactions génotypes-milieux 3
Recherche de critères de tolérance à l'acidité 5

2-2 SELECTION POUR LA RESISTANCE A SPODOPTERA FRUGIPERDA 6

Méthodologie de selection 7
Sélection en infestation naturelle 7
Sélection en infestation artificielle 8
Description de l'expression de la résistance
et la relation résistance-production 8

Selection 8
Population "Guadeloupe" 8
Composite "Spodoptera" 9
Croisements "adapté-sensible" x "résistant" 9
CIMMYT / International Progenies Testing Trial 11

2-3 SELECTION POUR LA RESISTANCE A HELICOVERPA ZEA 11

Méthodologie de sélection 12
Recherche de critères antibiotiques de résistance 12

Selection 12
Criblages variétaux 12
Croisements 14

2-4 MAINTIEN D'UNE COLLECTION DE RESSOURCES GENETIQUES
TROPICALES 14

BIBLIOGRAPHIE 15

1- Contenu scientifique

Durant 5 ans, l'IRAT/CIRAD-CA est intervenu en Guadeloupe dans le cadre d'une collaboration avec l'INRA pour l'amélioration variétale du maïs. Le travail s'est exécuté à l'INRA Antilles-Guyane (Petit-Bourg) sur la station de Duclos (Basse-Terre) et la station de Godet (Grande-Terre).
Les grands axes de recherche ont été définis dans le cadre d'un Comité Scientifique de Suivi mixte CIRAD/INRA qui s'est réuni trois fois durant la durée du Projet en 1989, 1990 et 1992. Trois grandes orientations ont été retenues :

Recherche de variétés adaptées à la zone caraïbe

L'expérimentation variétale a exploité la diversité naturelle de la Guadeloupe, qui présente deux zones pédoclimatiques différenciées assez représentatives des principaux faciès de la zone caraïbe. La station de *Godet* en Grande-Terre est située en vertisol calcaire dans une région à saison sèche marquée (décembre à mai) et la station de *Duclos* en Basse-Terre est installée sur des sols de type ferallitique à acidité plus ou moins prononcée dans une zone plus fraîche et plus humide que la Grande-Terre. Cette activité devant s'appuyer sur un réseau de collaboration caraïbe, celui-ci a commencé à se mettre en place à partir de 1993. Par ailleurs, un travail spécifique sur la tolérance du maïs à la toxicité aluminique a démarré dans le cadre d'un projet de la CEE.

Recherche de la résistance à deux noctuelles, ravageuses du maïs, Spodoptera frugiperda et Helicoverpa zea

Spodoptera frugiperda est un défoliateur dont les ravages sont importants aux premiers stades du maïs; *Helicoverpa zea* est un foreur de l'épi qui entraine de graves déprédations directes et indirectes sur les épis. La répartition géographique des deux insectes est la même c'est à dire la zone américaine. L'abondance des populations naturelles de ces deux ravageurs en Guadeloupe, leur importance économique dans toute la zone américaine, et le fait que des travaux antérieurs de l'INRA avaient notamment révélé des ressources génétiques intéressantes pour la résistance, ont déterminé ce deuxième objectif.
En fait, l'accent a été mis d'emblée sur *S. frugiperda*, plus importante sur le plan mondial; les travaux sur *H. zea* n'ont véritablement commencé qu'à partir de 1992.

Maintien d'une collection de ressources génétiques tropicales

Ce travail n'est pas en relation directe avec le reste du projet de recherche. Cette activité était destinée à sauvegarder une grande partie de la collection maïs de l'IRAT/CIRAD-CA dont beaucoup de numéros n'avaient pas été reconduits depuis longtemps. La coordination de cette opération de réjuvénation entre les différents participants du CIRAD et surtout les opérations de reconduction elles-mêmes ont été très intensives durant les trois premières années du projet. Le rythme des multiplications a considérablement diminué à partir de 1992 alors qu'une grande partie de la collection avait été reconduite.

2 - Principaux résultats

2-1 Recherche de variétés adaptées à la zone caraïbe

Ce travail a reposé, pour l'essentiel, sur la participation au réseau international d'évaluation variétale du CIMMYT[1]. Sur les 5 années d'expérimentation, 14 essais variétaux ont été conduits dont 11 du CIMMYT. On a recherché des variétés bien adaptées et modérément sensibles aux noctuelles. Ces variétés sont, en outre, destinées à devenir le parent productif, mais sensible, dans des transferts de résistance par back-cross à partir d'un "donneur" de résistance à *Spodoptera frugiperda* sélectionné par ailleurs.

Sources de productivité

L'accent a été mis sur les variétés du CIMMYT, jaunes, tropicales de basse altitude, précoces ou tardives (ELVT[2] 18B, ELVT 18A, EVT[3] 13 et EVT 14) à priori les mieux adaptées pour les Antilles. Des variétés blanches tardives ont été également testées (EVT12), pour satisfaire une éventuelle demande pour ce type de maïs. L'EVT 16A, constitué de variétés précoces jaunes subtropicales a été mis en place en 1993 pour tester le comportement des variétés d' adaptation plus septentrionale pendant la période"fraîche", à Duclos. Enfin, un essai d'hybrides expérimentaux IRAT/RPA (Rhône Poulenc-Agrochimie) a été conduit en 1991 à Godet.

En dehors d'une bonne adaptation (bon comportement par rapport aux maladies foliaires en particulier) et d'une bonne productivité, une sensibilité modérée à *S. frugiperda* a été recherchée afin de permettre une diffusion rapide sous une protection insecticide "raisonnable". Les essais ont été conduits en conditions de fertilisation et d'irrigation optimales et en limitant le nombre de traitements insecticides (pyréthrénoïdes de synthèse) à deux ou trois au maximum.

La grande majorité de ces expérimentations a été conduite à Godet. Les résultats font apparaître que les populations jaunes intermédiaires ou tardives n° 24, 27 et 36 manifestent régulièrement un bon comportement: bonne productivité (de l'ordre de 6 tonnes/ha, en essai) et faible sensibilité à *S. frugiperda.* Parmi les blanches, la population n° 25 est celle qui se comporte le mieux. On note également une bonne productivité des obtentions récentes issues de la population n° 28 (essai 93) mais ce résultat est à confirmer car la population 28 est sensible à *S. frugiperda*. L'unique essai d'hybrides, conduit à Godet, a subi une forte attaque de *Peregrinus maïdis* et de Stripe *(M*StV) qui n'a pas permis de dégager de conclusion.
D'autre part, il semble que l'on puisse trouver du matériel intéressant pour Duclos, en semis précoce de saison fraîche (janvier-février), parmi les variétés précoces subtropicales de l'EVT16A.

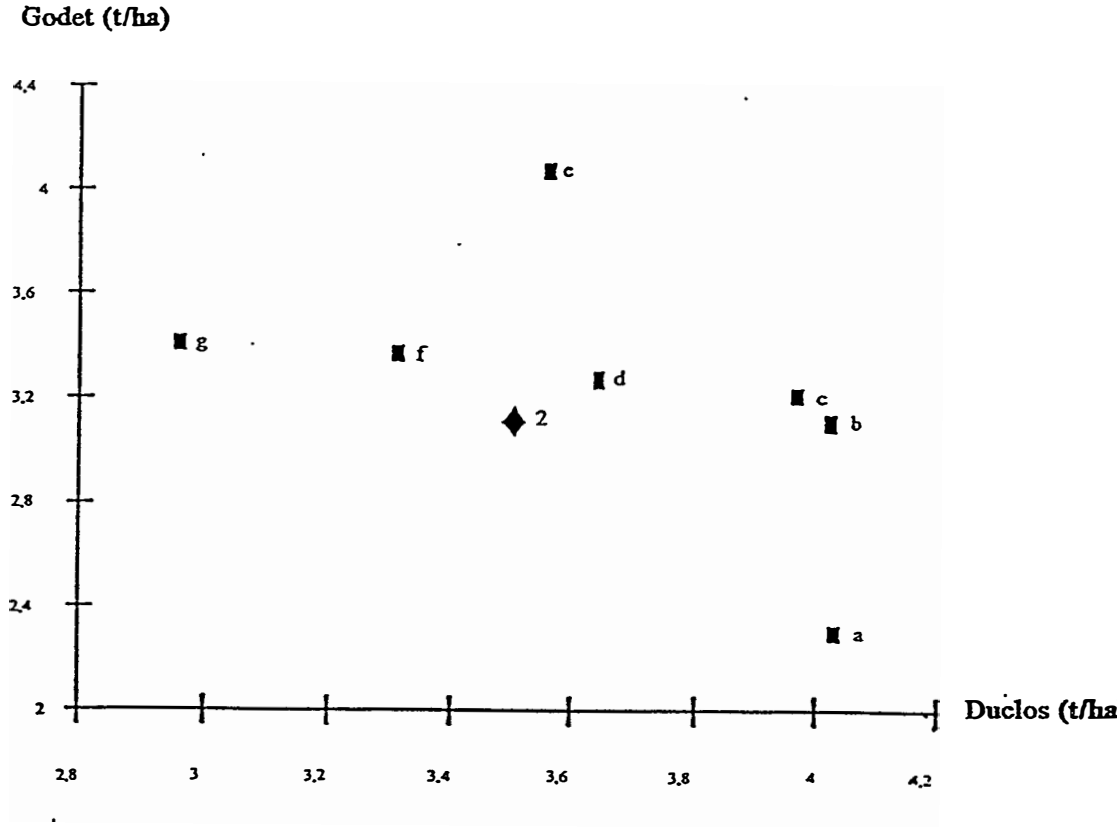
Les interactions génotypes-milieux

En 1990, un essai variétal constitué des mêmes génotypes a été mis en place à la fois à Godet et sur une parcelle "acide" (pH Kcl compris entre 4,3 et 4,5) de Duclos. L' essai contenait les 4 meilleures variétés repérées l'année précédente (pop. 24, 25, 27 et 36) plus 3 variétés brésiliennes plus ou moins tolérantes à l'acidité/ toxicité aluminique et le témoin Spectral (variété issue d'une sélection dans le "pool 24" du CIMMYT et possédant une certaine tolérance à *S. frugiperda*).

[1] Centro Internacional de Mejoramiento de Maiz y Trigo
[2] Elite Varieties Trial
[3] Experimental Varieties Trial

Les résultats de 1990 (Figure 1) montrent des réponses variétales liées au pH : des variétés qui ont des rendements comparables à Godet (calcaire) se montrent très différentes à Duclos (acide). CMS 36 (a), la variété-population brésilienne la plus résistante à la toxicité aluminique, donne le meilleur rendement à Duclos alors qu'elle donne le plus mauvais à Godet. Les populations 24 (c) et 27 (b) paraissent intéressantes pour les milieux acides alors que Palmira 8425 (g) ne montrent pas de tolérance. Le témoin local Spectral (2), ainsi que la variété Piura 8336 (e) et les variétés brésiliennes CMS 06 (d) et CMS 05 (f) ont un comportement intermédiaire.

Fig 1 : interactions génotypes - environnements



En 1993, l'EVT 13, constitué toujours des variétés issues des populations 24, 27, 28 et 36, et l'EVT 14 contenant des populations plus précoces, ont été installés dans les deux localités mais sur une parcelle au sol "normal" (pH Kcl entre 5 et 6) à Duclos. Les mêmes variétés ont été mises en collection testée, cette fois sur une parcelle "acide" (pH Kcl voisin de 4,2) de Duclos. Les résultats de ces expérimentations sont attendus.

Recherche de critères de tolérance à l'acidité

Cette recherche s'inscrit dans le cadre d'un projet STD3 intitulé "Adaptation to the acid soils of the Tropics". Les aspects concernant le redressement et les analyses des sols ont été réalisés en collaboration avec les services d'Agronomie de l'INRA/Guadeloupe et l'URA/CIRAD/Montpellier. L'objectif de ce projet, en ce qui concerne la partie conduite au champ en Guadeloupe, n'est pas de rechercher des variétés bien adaptées en condition de toxicité aluminique mais de mettre en évidence des critères, si possible précoces, utilisables pour cette sélection.

Douze génotypes, choisis en fonction de leur niveau avéré de tolérance à la toxicité aluminique, ont été placés au champ dans un milieu où l'on avait préalablement créé un gradient de toxicité aluminique. Le champ a été divisé en trois parcelles : sur deux d'entre-elles, on apporté du $CaCO_3$ en quantités différentes, un mois avant le semis et l'on est pas intervenu sur la troisième. La quantité de $CaCO_3$ apportée a été calculée en fonction de la relation connue pour les sols de Duclos, entre le pH Kcl du sol, le taux de matière organique et le taux de saturation aluminique (rapport de Kamprath). Trois niveaux ont été créés : niveau 0 (toxicité aluminique initiale, supposée se situer entre 30% et 40%), niveau 1 (toxicité aluminique intermédiaire) et niveau 2 (pas de toxicité aluminique). En fait, les analyses de sols réalisées en cours de culture ont révélé une toxicité aluminique de l'ordre de 20% seulement dans le niveau 0 et des taux de saturations aluminiques non toxiques pour le maïs dans le niveau 1. Les résultats de l'expérimentation ont donc été obtenus dans des conditions de faible toxicité aluminique pour le maïs.

Différentes observations de la partie aérienne et de la partie racinaire ont été réalisées au stade 5/6 feuilles et au stade adulte du maïs ainsi que les observations classiques de dates de floraisons, de hauteurs de plantes et d'épis et de rendements en grains.

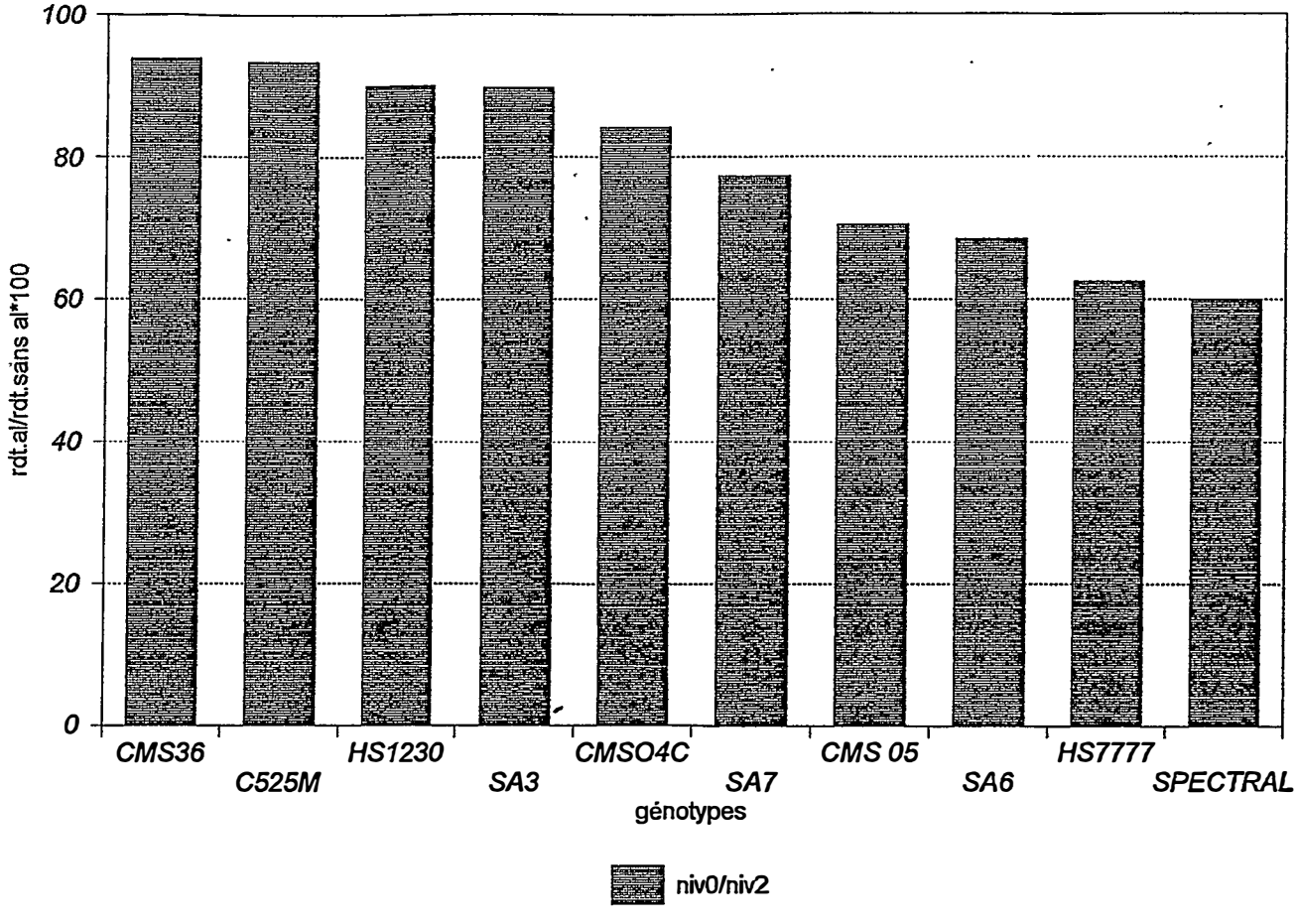
Au stade plantule, seules les mesures de longueur totale des parties racinaires (LPR) et aériennes (LPA) et les matières sèches racinaires (MSR) permettent de différencier statistiquement les génotypes et les niveaux. C'est à dire de classer les génotypes et de regrouper les observations réalisées en trois ensembles homogènes correspondant aux trois niveaux de redressement. Parmi ces trois observations, c'est la LPR qui discrimine le mieux les 3 niveaux, c'est donc une observation intéressante car elle est précoce et très liée au niveau de toxicité aluminique. Cependant aucune intéraction génotype/niveau n'a été mise en évidence dans l'expérimentation. Ce résultat doit donc être confirmé en améliorant les conditions expérimentales : limitation du nombre de génotypes, amélioration de la précision des mesures, mise en place d'un essai en pot (pour mieux contrôler le milieu) etc.

La plupart des observations racinaires réalisées au stade 15 jours après la floraison femelle n'est pas interprétable, exceptée LPR, probablement du fait de la difficulté technique qu'il y a à effectuer correctement des prélèvements racinaires sur des plantes adultes.
Concernant les observations plus classiques de végétation, on observe que le retard des floraisons et la diminution de hauteurs des plantes et des épis attendus en condition de toxicité aluminique sont en général confirmés sur tous les génotypes sans qu'il soit observé d'interaction génotype/niveau ici non plus.

Une visualisation graphique des rendements relatifs entre les niveaux de correction 0 et 2 des différents génotypes (Figure 2) fait apparaitre un classement des variétés en bonne correspondance avec leur niveau de tolérance initialement observé : CMS 36 (97%), C525M (97%), SA3 (89%) et SA7 (77%), théoriquement les plus tolérantes, ont des rendements relatifs parmi les meilleurs alors que HS 7777 (témoin de sensibilité) est à 62%. Par ailleurs, on retrouve dans ce classement les niveaux de tolérance observés en 1990 pour CMS 36, le meilleur en 1990 et 1993 et CMS 05, intermédiaire en 90 et 70% en 93, mais pas pour Spectral qui est ici le moins bien classé avec 60% alors qu'il était intermédiaire en 1990. Ceci ne signifie pas que les génotypes les mieux

classés sont utilisables en tant que cultivars tolérants en milieu acide, C 525 M par exemple est un parent d'hybride commercial au potentiel de rendement faible, mais apporte une confirmation de leur niveau de tolérance en dehors de leur lieu de création.

Fig 2 : rendements relatifs classés en ordre décroissant



2-2 Sélection pour la résistance à *Spodoptera frugiperda*

S. frugiperda est un défoliateur polyphage qui affectionne particulièrement les jeunes feuilles du maïs. Les pontes ont lieu sous les feuilles et les jeunes larves se réfugient rapidement dans le cornet du maïs, au "coeur" de la plantule en développement dont elles se nourrissent. Une attaque importante et précoce sur du matériel sensible peut anéantir la production par la destruction des cornets. Les dégâts classiquement observés sont des perforations plus ou moins étendues des

limbes avec, en cas de forte attaque, destruction des cornets. L'impact sur le rendement est difficile à quantifier car il dépend de la précocité et de l'intensité de l'attaque, de la vitesse de développement de la plante et bien sûr de la nature et du niveau de résistance de cette dernière. Les notations de dégâts sont qualitatives (échelle 1-9) et sont réalisées avant le 40e jour après semis (1 ou 2 notations) car, après ce stade, les différences entre génotypes se voient mal.
Les travaux les plus importants sont conduits au CIMMYT et à l'USDA/Mississipi.

En Guadeloupe, la phase initiale de collecte dans l'archipel Guadeloupe (Grande-Terre, Basse-Terre, Marie Galante, Les Saintes et Désirade) en 1938-84, puis, à partir de 1989, l'introduction et l'évaluation de nombreuses ressources génétiques potentiellement intéressantes pour la résistance, ont permis la constitution de deux populations de départ : PopG et composite "Spodo". Des croisements entre variétés productives et variétés résistantes ont été réalisés et des sélections récurrentes ont commencé à partir de ces matériels et de deux populations introduites du CIMMYT (IPTT[4]). Parallèlement à ce travail de sélection, on a mis au point et amélioré la méthode de sélection en infestation naturelle et en infestation artificielle. Une étude de la relation dégâts-productivité et la description des principales sources de résistance a été initiée.

* Méthodologie de sélection

Les populations naturelles de *S. frugiperda* sont abondantes en Guadeloupe en particulier en Grande-Terre (Godet) mais elles varient tout au long de l'année notamment en fonction des conditions pluviométriques. Sans négliger la mise au point des infestations artificielles, on a aussi cherché à optimiser les conditions de sélection en infestation naturelle.

Sélection en infestation naturelle

Les semis échelonnés tous les deux mois de variétés choisies dans une gamme de résistance/ sensibilité à *S. frugiperda* ont permis de définir les conditions nécessaires au criblage de la résistance au champ en Grande-Terre en conditions d' infestation naturelle. Elles ont été améliorées par la suite au fur et à mesure des expérimentations. Ces conditions sont les suivantes :
- semis en *mars* car les populations naturelles sont très préjudiciables au maïs en *avril* (au milieu de la saison sèche) alors que le maïs irrigué est quasiment la seule culture "verte" disponible;
- bordures "infestantes" semées avec une variété sensible quelques jours avant l'essai lui-même, autour de la culture et en tenant compte du sens du vent ;
- irrigation au goutte à goutte pour limiter les noyades de jeunes chenilles dans les cornets;
- témoins de résistance et de sensibilité régulièrement intercalés pour faciliter les lectures de dégâts;
- trois ou quatre notations de dégâts échelonnées dans le temps entre le 20e et le 50e jour de la culture.

Plus de 500 lignées réparties en trois expérimentations ont été criblées en utilisant cette méthode entre 1989 et 1991. Certaines années, notamment en 90 et 91, ces conditions d'infestation ont permis d'obtenir des notes de dégâts comparables à celles obtenues au CIMMYT en infestation artificielle sur le même matériel. Cependant il est certain qu'en infestation naturelle, la lecture des dégâts pose davantage de problèmes car on ne contrôle pas le début de l'infestation. Des Analyses en Composantes Principales sur les notations réalisées ont permis de constater que les dégâts les plus importants et le maximum de différences entre les génotypes étaient observés entre le 30e et le 40e jour du maïs dans les 3 expérimentations citées plus haut. C'est à ce stade que les notations sont les plus pertinentes et les plus discriminantes. On peut donc se limiter à deux notations, une à 20 jours l'autre entre le 30e et le 40e en accordant plus de poids à la deuxième notation. Toutefois, lorsque l'attaque est relativement faible, le poids à accorder aux deux notations est équivalent.

[4] International Progenies Testing Trial

Sélection en infestation artificielle

L'infestation artificielle est généralement considérée comme un outil indispensable à un programme de sélection pour la résistance aux insectes. Elle permet de contrôler le début de l'infestation et son homogéneité. L'impossibilté (pour des raisons pratiques) de réaliser un élevage de masse sur place nous a conduit à imaginer une méthode permettant d'importer des chrysalides issues d'un élevage réalisé au Laboratoire d'Entomologie Appliquée du CIRAD-CA/Montpellier. Dans ces conditions, l'infestation artificielle n'a été envisagée qu'en complément à l'infestation naturelle pour la période de l'année où les populations d'insectes sont faibles (novembre-février).
La principale difficulté posée par un élevage à distance réside dans le fait que la réussite de l'infestation est conditionnée par le respect de délais très courts entre la ponte et l'épandage des larves. En effet, les infestations ont lieu avec de très jeunes larves néonates, quatre ou cinq jours maximum (à 25°C) après la ponte. Les accouplements et les pontes des papillons du dernier cycle de multiplication ont donc été organisés en Guadeloupe de manière à disposer des néonates dès leur éclosion. Plus de 2 000 nymphes en 92, et plus 4 000 en 93, ont été ainsi importées par une technicienne du CIRAD-CA. Mais les naissances de néonates ont été très perturbées : en 92, du fait du mauvais taux de fécondité des femelles et en 93 à cause des températures trop basses dans la salle d'élevage qui n'était pas équipée d'enceinte climatique. L'infestation a donc été fortement réduite en surface et en intensité ("dose" de néonates par plante).
Cet échec nous a conduit à imaginer un moyen d'importation différent : directement sous forme d'oeufs, par chronopost, avec un inoculum en provenance de l'Unité de Lutte Biologique du Magneraud/INRA. Cette méthode a permis de réaliser en juin 93, des infestations artificielles dans de bonnes conditions sur la totalité des plantes prévues avec 25 néonates par plante ce qui est proche de l'optimum généralement estimé à 30 néonates par plante. Cependant, sa réussite repose sur une coordination parfaite avec les services du chronopost et n'a été testée qu'une seule saison, la saison chaude en France métropolitaine et aux Antilles qui est celle qui présente le moins de risque pour faire "voyager" les oeufs.

Description de l'expression de la résistance et relation résistance- production

Les notes de dégâts ne peuvent pas, du fait de leur caractère statique, expliquer à elles-seules une chute de rendement donnée. Pour une même note de dégât, on observe parfois une sorte de "récupération" de la plante qui sur une autre plante n'a pas lieu ce qui rend complexe la prédiction des pertes de rendement. Par ailleurs, de telles notations sont difficiles à réaliser lorsque le maïs est trop développé. Afin de mieux comprendre la dynamique de la croissance de la plante sensible et résistante jusqu'à la production finale, sous une pression homogène de ravageurs, on a tenté de décrire les manifestations de la résistance sur une gamme de génotypes (lignées et populations) déjà bien connus quant à leur niveau de résistance/ sensibilité en Guadeloupe. L'objectif est de mettre en évidence les critères et méthodes d'évaluation les plus pertinents possibles compte-tenu de la perte de rendement observée.
L' essai mis en place en 93, mettait en jeu 6 génotypes témoins, lignées et populations, dans un dispositif contenant des parcelles protégées chimiquement et des parcelles sous infestation artificielle. Deux lectures de dégâts ont été réalisées, les composantes de l'élaboration du rendement (surfaces foliaires et matières sèches) ont été mesurées durant tout le cycle végétatif ainsi que le rendement lui-même. La comparaison de ces observations entre les parcelles infestées et les parcelles protégées permettra d'appréhender les principales manifestations de la résistance/sensibilité et l'impact de l'attaque sur le rendement final.

* Sélection

Population "Guadeloupe" (PopG)

Cette population locale résulte du brassage des neuf écotypes les plus tolérants à *S. frugiperda*

et *H. zea* choisis à l'intérieur d'une prospection d'écotypes locaux réalisées en 83/84. L'objectif est, dans un premier temps, d'améliorer son niveau de résistance durant au moins deux cycles. La population étant naturellement bien adaptée et sa valeur agronomique paraissant bonne, cette dernière sera améliorée dans un deuxième temps par sélection intra ou inter-population afin de valoriser cette population *per se* ou comme parent d'hybride complexe.
Après trois brassages et un cycle de pollinisation libre, l'amélioration de la résistance de cette population à *S. frugiperda* a pu commencer à partir de 1990. Le caractère de résistance étant polygénique avec une composante additive importante, on a choisi une sélection récurrente par test S1. Les deux premiers cycles de sélection ont été réalisés en infestation naturelle. Trois cycles de sélection sont actuellement disponibles (CO, C1 et C2) pour un test de progrès génétique qui sera réalisé en 1994.
Par ailleurs, une centaine de familles issues du premier cycle de sélection de la PopG a été testée sous infestation artificielle au CIMMYT(Mexique) et à l'USDA (Mississipi), en 1990. Cette évaluation a permis de conclure que la PopG constitue bien une source de résistance intéressante pour la résistance à *S. frugiperda*.
Les résultats de l'évaluation de cette population en 1993, à Cuba et en République dominicaine sont attendus.

Composite "Spodoptera" (Composite "Spodo")

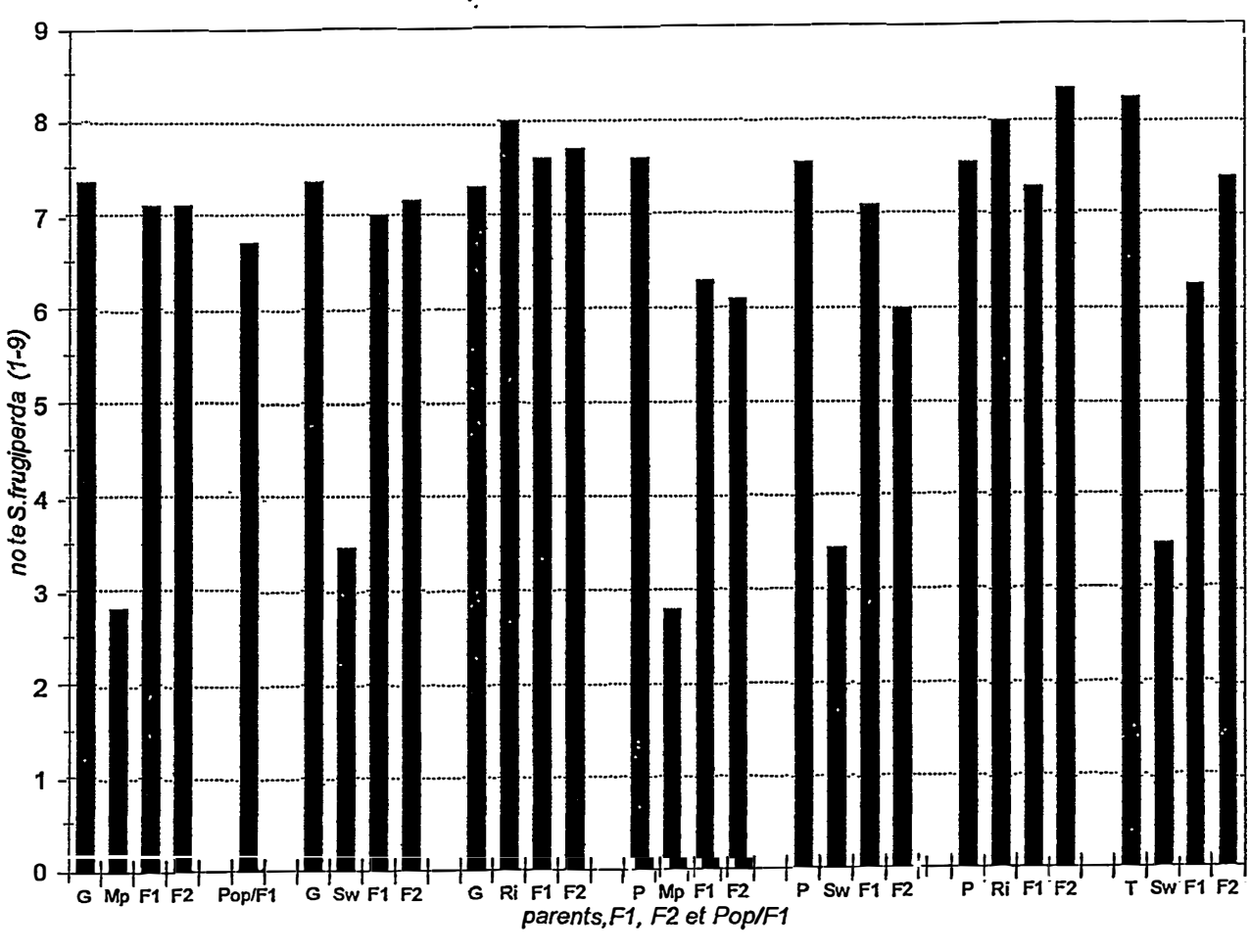
Le rassemblement des meilleures sources de résistance à *S. frugiperda* dans un composite de résistance, appelé "Spodo", par brassage génétique, vise à créer un "donneur" de résistance. La première étape de la création du composite"Spodo" a été l'identification et la recombinaison des entrées résistantes constitutives, son "enrichissement" par de nouvelles entrées résistantes pouvant intervenir au cours des étapes du brassage. Ensuite le niveau de résistance sera amélioré par sélection récurrente. Le donneur de résistance sera utilisé *in fine* dans des transferts de résistance à l'intérieur de variétés productives mais relativement sensibles (voir 2-1).
Les lignées-sources potentielles de résistance, évaluées en 89, 90 et 91, ont été principalement introduites du CIMMYT. On a évalué plus de 500 lignées créées par le CIMMYT à partir de matériel végétal originaire essentiellement de Antigua (petite île caraïbe voisine de la Guadeloupe). Ces lignées provenaient également d'autofécondations réalisées par le CIMMYT dans leurs populations MBR (Mutiple Borer Resistant) et MIRT (Multiple Borer Resistant Tropical), elles-même constituées par beaucoup de matériel de Antigua. Ce travail d'évaluation réalisé en infestation naturelle a permis de conserver par autofécondations, 92 d'entre-elles sur la base de leur résistance à *S. frugiperda*. Il a, en outre, montré qu'il était possible de sélectionner de bonnes sources de résistance à *S. frugiperda* dans du matériel d' Antigua déjà très sélectionné (S4) pour la résistance à *Diatreae grandiosella* et que la population MIRT est un meilleur matériel que la population MBR tant pour la résistance que pour l'adaptation en Guadeloupe. Ces lignées, ainsi qu'une dizaine de lignées S2 de la PopG sélectionnées au CIMMYT en 1990, ont fait l'objet de deux brassages séparés en 91 et 92.
Par ailleurs, une soixantaine d'écotypes originaires de différentes parties de la Région caraïbe ont été également criblés mais seuls trois d'entre-eux se sont avérés résistants. Il est prévu d'incorporer ce matériel de type population dans le composite "Spodo", dans un deuxième temps, une fois que toutes les lignées seront brassées au moins une fois entre-elles.

Croisements "adapté-sensible" X "résistant"

Ces croisements concernent notamment deux variétés adaptées et productives repérées lors des évaluations variétales et deux géniteurs résistants. Ils ont plusieurs objectifs exploratoires :
- évaluer les possibilités de la transmission de la résistance;
- explorer une voie de sélection rapide consistant à effectuer un cycle de sélection récurrente sur ces croisements soit en F1 soit en F2 pour brasser ensuite les familles créées dans une nouvelle population,
- éventuellement, exploiter les hybrides eux-mêmes.

Les deux variétés productives, Guarare 8427 (G) et Piura 8336 (P) , ont été croisées avec la lignée Mp 705 (Mp) et la population MpSWCB-4 (Sw) toutes deux originaires de l'USDA/Mississipi et qui sont utilisées comme témoins de résistance en Guadeloupe. Les quatre croisements ont été amenés en F2 et l'un d'entre-eux, Guarare 8427xMp705 a subi un cycle de sélection récurrente par test S1, en F1 et en F2, sous une pression faible d'infestation artificielle (création de 100 S1) et une pression modérée d'infestation naturelle (test S1 et sélection de 10/100 d'entre-elles).
Les parents, F1, et F2 ainsi que la population issue de la sélection en F1 (POP/F1) ont été comparés en 1993 sous une pression normale d'infestation artificielle.
La figure 3 présentent les résultats obtenus sur les niveaux de résistance des parents et des croisements cités plus haut. Ils concernent aussi deux croisements réalisés avec un génotype tolérant à *H. zea*, GTRI4 (Ri) et le croisement Tuxpeno (T) x MpSWCB-4. Les valeurs agronomiques, à priori bonnes, ne sont pas encore disponibles mais les gains de résistance obtenus dans certains cas sont encourageants : au moins 1,2 point (sur une échelle 1-9) pour le croisement Piura 8336 x Mp705 sans sélection en F1 et en F2 et 1,6 point pour POP/F1 sélectionnée à partir de Guarare 8427 X Mp705 en F1. Sachant qu'un cycle complet de sélection récurrente peut être réalisé en Guadeloupe en 1 an, ce premier résultat permet d'envisager des sorties rapides de matériels de type population avec un niveau de résistance significativement amélioré. On observe par ailleurs une chute de sensibilité de 2 points dans l'hybride intervariétal en F1, T x Sw par rapport au parent sensible. Ce résultat est d'autant plus intéressant que l'on sait que les groupes Antigua (Sw) et Tuxpeno (T) combinent bien pour le rendement.

Fig 3: niveaux de résistance parents-descendants (infestation artificielle)



CIMMYT/International Progenies Testing Trial (IPTT)

La participation à ce programme de sélection multilocale du CIMMYT permet un accès aisé aux populations du CIMMYT en cours de sélection.
L'IPTT réalisé en 91 sur la population thématique MIRT (Multiple Insect Resistant Tropical), peu diffusé, a permis de sélectionner, en conditions d'infestation naturelle forte, 20 lignées S1 d'un bon niveau de résistance (< 4, sur une échelle 1-9), sachant que le meilleur témoin du CIMMYT se situe entre 2 et 3 en Guadeloupe.

L'IPTT sur la population 24, population qui a prouvé sa bonne adaptation en Guadeloupe, a été réalisé dans l'objectif de créer une variété expérimentale dont la résistance à *S. frugiperda* sera améliorée par un cycle de sélection récurrente. Huit familles ont été sélectionnées en 93, en infestation naturelle. Elles seront brassées en population en 94 et il pourra être intéressant alors de comparer cette population aux meilleures obtentions réalisées à partir de la population 24.

2-3 Sélection pour la résistance à *Helicoverpa zea*

La résistance variétale à cette noctuelle, dont les dégâts sont généralement considérés comme économiquement moins préjudiciables que ceux de *S. frugiperda* sur le plan mondial, serait particulièrement intéressante car la chenille est peu accessible aux molécules insecticides et aux prédateurs. En effet, les oeufs sont pondus sur les soies fraîches du maïs et les jeunes larves pénètrent très rapidement à l'intérieur des épis où elles sont protégées et dont elles se nourrissent .
Les dégâts les plus importants ont lieu sur les maïs doux et les maïs tendres des plateaux d'Amérique Centrale mais tous les types de maïs sont touchés. Une attaque de *H. zea* est aussi la cause de dégâts indirects sur les épis en cours de maturation et en conservation comme des attaques de fusarioses, moisissures et insectes et qui ne sont pas quantifiables.

Par rapport au cas de *S. frugiperda*, la sélection pose des problèmes différents : les sources connues de matériels résistants sont difficilement utilisables du fait d'une faible valeur agronomique; en revanche, un mécanisme de résistance antibiotique est identifié (présence d'un composé inhibiteur du développement des larves appelé "maysine"). Les notations de dégâts généralement pratiquées consistent à mesurer l'étendue des dégâts (en cm) due à la pénétration et à l'alimentation de la larve dans l'épi. Les premières sélections utilisaient ce critère associé à des mesures évaluant le niveau de resserrement et la longueur des spathes pour sélectionner la résistance. Plus récemment, des sélections sur la concentration de la maysine dans les soies ont démarré mais aucun matériel ainsi créé n'est disponible à ce jour.

Les principales recherches sont conduites à l'USDA/Géorgie et dans une moindre mesure au Brésil et au CIMMYT mais ce dernier a beaucoup diminué son activité sur cette noctuelle ces dernières années sans avoir pu fournir de bons matériels même partiellement résistants.

En Guadeloupe, du fait de la moindre importance accordée à ces travaux, de l'intensité généralement importante et de la régularité dans l'année de la pression du ravageur, on n'a pas cherché à mettre au point d'infestation artificielle. En ce qui concerne l'infestation naturelle, alors que l'on peut dégager un pic d'infestation de *S. frugiperda* en Grande-Terre, de telles fluctuations de populations sont difficiles à mettre en évidence pour *H. zea* qui semble présente à peu près toute l'année partout et notamment en Basse-Terre (Duclos).
Ainsi, on a choisi de conduire les travaux sur *H.zea* à Duclos. Le rassemblement et l'étude de la variabilité génétique existante a commencé à partir de 1990, la méthologie de sélection a également été abordée en 1992 par la recherche de critères de sélection.

* Methodologie de sélection

Recherche de critères antibiotiques de résistance

En l'absence d'infestation artificielle, nous avons tenté d'utiliser des méthodes quantitatives de mesure représentatives du niveau de résistance.
Une de ces méthodes, assez facile à mettre en oeuvre, consiste à mesurer le pH des soies fraîches. Cette technique expérimentée en 92 et 93 n'apparait pas suffisamment discriminante des différents génotypes testés..

La deuxième méthode, mise au point et utilisée par l'équipe de Géorgie, consiste en un dosage en HPLC[5] de la maysine présente dans les soies. La présence d'une forte concentration en maysine est généralement considérée comme le meilleur indicateur actuellement disponible de la résistance antibiotique et de la résistance en général. Les concentrations trouvées en HPLC sont bien corrélées avec les niveaux de résistance au champ sous infestation artificielle. La plus forte concentration de maysine a été observée à l'intérieur des soies du génotype témoin ZC 2451. Nous avons, élargissant un peu l'investigation à la recherche de ce composé à l'intérieur d'autres organes (jeunes feuilles en développement) dosé la maysine à l'intérieur d'une gamme de génotypes contenant aussi des témoins de résistance à *S. frugiperda* et des variétés locales. Ces dosages ont été réalisés par le laboratoire de biologie INSA/INRA de Villeurbanne. Les résultats sont attendus.

* Selection

Criblages variétaux

En 1990 et 1991, la plupart des obtentions de l'USDA/Georgie ainsi que des variétés de Pop Corn de la "J. Eldredge Collection", réputées très résistantes, ont été introduites et reconduites. La mauvaise adaptation ainsi que la faible et parfois exécrable valeur agronomique de ces matériels n'a permis de retenir que deux populations de Géorgie, GTRI4 et GTRI9.

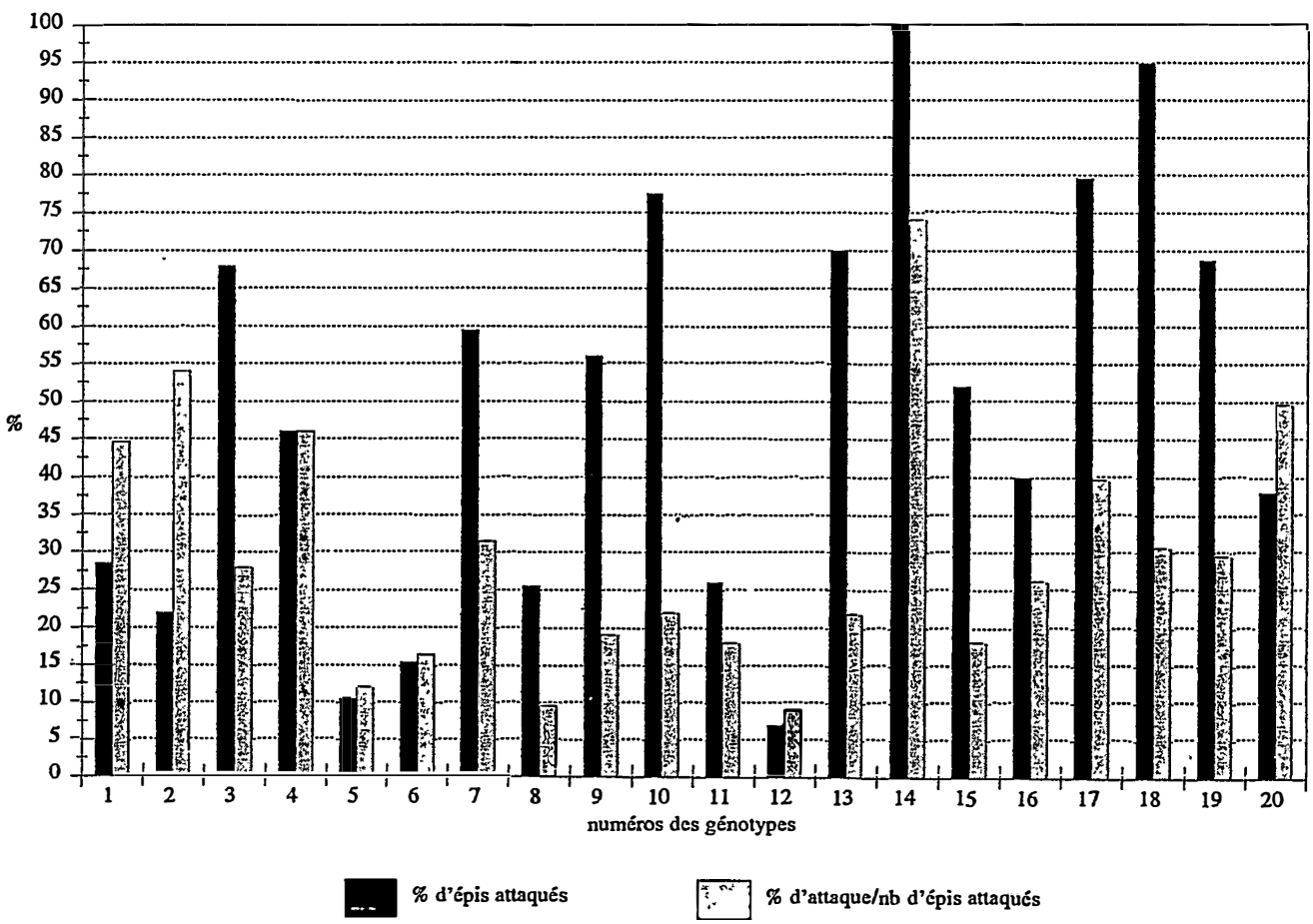
D'autre part, certains maïs de la race mexicaine "Zapalote" (Z. Chico et Z. Grande) présentent l'intérêt de bien résister à *H. zea*. C'est d'ailleurs dans les soies des épis de l'un de ces maïs que la maysine à été découverte et est la plus abondante. Le témoin pour la résistance et la concentration en maysine, ZC 2451, en est issu.
Plus de 400 lignées sélectionnées par le CIMMYT à partir de ce type de matériel ont été introduites puis testées en 1992 et 1993. La difficulté dans la sélection réside dans le fait que les choix se font sur des critères qui ne peuvent être "lus" qu'à la récolte. Donc, pour éviter que les sélections ne prennent trop de temps, il faut faire les reconductions en même temps c'est à dire systématiquement autoféconder quelques épis de chaque lignée même si celles-ci ne doivent pas être retenues.
Ces criblages ont permis d'observer une variabilité génétique importante tant au niveau agronomique qu'au niveau de la résistance mais aussi de confirmer la médiocre valeur agronomique générale de ces matériels interdisant toute utilisation directe en sélection.
Sur les 365 lignées issues des "Zapalote Chico" et des "Zapalote Grande"qui ont été testées deux années de suite, 50 lignées ont été conservées par autofécondations sur leur niveau de résistance en 1992. Celles-ci doivent être triées sur la note de dégâts qu'elles ont obtenu en 1993 par rapport aux témoins ZC 2451 et PopG. Une autre série de lignées n'a fait l'objet que d'une année de test, en 1993, qui a permis de sélectionner 38 lignées dont la résistance doit être confirmée.

[5] High Performance Liquid Chromatography

Sur le plan opérationnel, la stabilité des notes obtenue par les deux témoins (ZC 2451 et PopG) intercalés toutes les dix lignes permet de conclure à une infestation importante et homogène. Cependant le niveau de résistance du témoin ZC 2451 est souvent, dans ces criblages, inférieur à celui de PopG. Ceci pose une question à laquelle il faut répondre : la PopG est-elle particulièrement résistante ou le niveau de résistance de ZC 2451 en Guadeloupe est-il modéré par rapport à celui qui est observé en Géorgie ou au Mexique?

La Figure 4 présente les résultats des notations de dégâts de *H. zea* réalisées en 1993 lors d' une expérimentation destinée aussi à doser la maysine (voir le chapitre "méthologie de sélection" ci-dessus). Les pourcentages d'épis attaqués vont de 7 à 100% selon les génotypes et l'intensité moyenne de l'attaque représenté par le pourcentage d'attaque (= étendue des dégâts/ longueur totale de l'épi * 100 / nb d'épis)est comprise entre 9 et 74% , ce qui témoigne d'une infestation naturelle importante.
Les génotypes 5 "Sure sweet" (maïs doux), 6 "Maïa XXIX"(introduction brésilienne) 8 "PopG", 11 "Spectral", et surtout 12 "TZBR Eldana 3" (introduction de l'IITA/Nigéria, résistante à *Eldana saccharina)* apparaissent très intéressants. Ce résultat est surprenant pour "Sure sweet" car les maïs doux sont réputés très sensibles. Les variétés 1 "ZC 2451" et 2 "Zapalote Grande", numéros témoins actuels de résistance en Géorgie et au CIMMYT, se comportent moins bien que les précédentes, ce qui confirme certaines observations réalisées lors des criblages. Les variétés 3 "GTDDSA" et 4 "GTRI4" qui sont des variétés "anciennes" de Géorgie sélectionnées sur le recouvrement de l'épi par les spathes, sont peu résistantes. On peut considérer que toutes les autres variétés testées (écotypes locaux et les témoins de résistance à *S. frugiperda*) sont sensibles.

Fig 4 : notations H.zea sur une gamme de génotypes



Croisements

Des croisements ont été réalisés entre les deux variétés productives utilisées pour les croisements "Spodoptera" et la variété GTRI4. Testés uniquement par rapport à la résistance à *S. frugiperda* pour laquelle ils ne présentent apparemment aucun intérêt (Figure 3), ces croisements n'ont pas encore été valorisés par rapport à une éventuelle résistance à *H. zea*.

2-4 Maintien d'une collection de ressources génétiques tropicales

Cette activité a fait l'objet d'une synthèse diffusée lors du Comité de Suivi de 1992 et d'une note manuscrite pour les opérations postérieures, auxquelles on pourra se référer.

Documents consultés

Congrès et ateliers de travail

CLAVEL D., GUINET I., WELCKER C., 1993. Evaluación de Germoplasma de Maíz para la Resistencia a *Spodoptera frugiperda* (Gusano Cogollero) en Guadalupe (Antillas francesas). Communication présentée au 39ième Congrés du PCCMCA, Guatemala, 29 mars-3 avril 1993.

WELCKER C., CLAVEL D., 1991. Projet INRA/IRAT d'amélioration du maïs pour la zone caraïbe. *In* Compte rendu Réunion Maïs, Montpellier, France, 1991, 7p. CIRAD-IRAT, Montpellier, France.

WELCKER C., CLAVEL D., GUINET I. ,TOUVIN., 1992. Testing and breeding of maize varieties in Guadeloupe. Poster presenté au 28ième Congrès de la CFCS, République Dominicaine, 9-14 août 1992.

Rapports internes

CLAVEL D., 1992. Amélioration variétale du maïs en Guadeloupe. Synthèse et fiches d'essais 1991, 38p. CIRAD-CA / INRA Guadeloupe, France.

CLAVEL D., 1992. Multiplication de semences en Guadeloupe en 1991, 12p. CIRAD-CA/ INRA, Guadeloupe, France.

CLAVEL D., 1992. Multiplication de semences en Guadeloupe. Bilan 1989-1991, 9p. CIRAD-CA/ INRA, Guadeloupe, France.

CLAVEL D., 1992. Amélioration variétale du maïs en Guadeloupe. Synthèse 92, 9p. CIRAD-CA/INRA Guadeloupe, France.

CLAVEL D., FELICITE J., 1992. Compte rendu t des travaux de reconduction de la collection maïs CIRAD-CA, réalisés en 1992, 5p. CIRAD-CA et INRA Guadeloupe, France. (manuscit)

GUINET I., 1989. Amélioration variétale du maïs aux Antilles. Synthèse et fiches d'essais 1989, 32p. INRA /IRAT Guadeloupe, France.

GUINET I., 1990. Amélioration variétale du maïs aux Antilles. Synthèse et fiches d'essais 1990, 48p. INRA /IRAT Guadeloupe, France.

Rapports de mission

CLAVEL D., ROUANET G., 1991. Rapport de mission en Guadeloupe (4-19 avril 1991), 5p+annexes. CIRAD-IRAT Montpellier, France.

CLAVEL D., 1992. Compte-rendu de mission au CIMMYT (17-26 juin 1992), 12p. CIRAD-CA / INRA Guadeloupe, France.

GUINET I., 1990. Compte-rendu de mission au Mississipi et en Géorgie (26 aôut-1ᵉseptembre 1990) 7p+annexes. INRA/IRAT Guadeloupe, France.

GUINET I., 1990. Compte-rendu de mission au CIMMYT (25 juillet-6 aôut 1988), 12p. CIRAD-IRAT , Montpellier, France.

Documents divers

ROUANET G., DERIEUX M., 1990. Compte-rendu de la réunion du Comité de suivi CIRAD/INRA du Programme maïs / Guadeloupe tenue en Guadeloupe en décembre 1989, 3p. CIRAD-IRAT, Montpellier, France.

ROUANET G., DERIEUX M., 1991. Compte-rendu de la réunion du Comité de suivi CIRAD/INRA du Programme maïs / Guadeloupe tenue à Mauguio en décembre 1990, 7p. CIRAD-IRAT, Montpellier, France.

RESUME

Durant 5 ans, l'IRAT/CIRAD-CA est intervenu en Guadeloupe dans le cadre d'une collaboration avec l'INRA pour l'amélioration variétale du maïs.

Les principaux travaux ont consisté à rechercher des variétés adaptées à la zone caraïbe tant pour les sols calcaires que pour les sols plus acides de type ferrallitique. Cette activité a exploité les réseaux d'essais variétaux internationaux pour choisir une gamme de variétés présentant un potentiel de productivité et une sensibilité modérée aux noctuelles dans un systeme de protection insecticide modérée.

Parallèlement, la recherche de résistance aux chenilles de noctuelles ravageuses du maïs, *Spodoptera frugiperda* et *Helicoverpa zea*, présentes dans toute la zone américaine et responsables de sérieux dégâts, a constitué un objectif important.
Des sources de résistance, déjà repérées dans le matériel local, ont pu être identifiées dans le matériel exotique. Des méthodes d'évaluation de la résistance ont été mises au point. La sélection pour l'amélioration de la résistance à *S.frugiperda*, par croisement entre variétés sensibles et résistantes, est initiée.

Mots-clés : Zea mays, amélioration des plantes, variété, adaptation, résistance aux organismes nuisibles, *Spodoptera frugiperda*, *Helicoverpa zea*, insecte nuisible, Guadeloupe.

Documents de travail du CIRAD-CA

Déjà parus

n° 1-93 RAYMOND G., BOUSSOU-PÉLISSIER C., 1993.
Liste des publications et documents d'économie rurale en zone cotonnière. 41 p.

N°2-93 DE RAISSAC M., 1993.
Etude du système racinaire. Acquis du CIRAD-CA et analyse des tendances récentes. 38 p.

N° 1-94 FAURE G., 1994.
Les exploitations en motorisation intermédiaire au Burkina Faso. 22 p.

n° 2-94 SILVIE P., 1994.
Revue critique de l'expérimentation phytosanitaire sur le cotonnier au Togo (1988-1992). 54 p.

n° 3-94 VAISSAYRE J.
Dix années d'expérimentation pour la protection du cotonnier en Côte-d'Ivoire (1981-1990). 62 p.

n° 4-94 GENAY J.-P.
Trois années d'expérimentation phytosanitaire sur cotonnier en Thaïlande (1991-1993) : bilan et perspectives. 54 p.

n°5-94 BENZ H., LANÇON F., LEPLAIDEUR A., MOUSTIER P., PUJO L.
Propos d'un livre futur sur : Méthodes d'analyse des rapports sociaux dans les échanges vivriers en Afrique et en Asie du Sud. 105 p.

n° 6-94 RICHARD L.
Fertilité des sols cultivés et systèmes de culture dans les savanes de Centrafrique 1980-1990. 133 p.

n°7-94 CRETENET M., SEQUEIRA R., BISSON P., SUZOR H., JALLAS E.
L'intérêt des modèles de simulation des systèmes de culture : le cas de Gossym. Actes de l'atelier du 6 septembre 1993. 38 p. et annexe.

Centre
de coopération
internationale
en recherche
agronomique
pour le
développement

**Département
des cultures
annuelles
CIRAD-CA**

2477,
avenue du Val
de Montferrand
BP 5035
34032 Montpellier
Cedex 1
France
téléphone :
67 61 58 00
télécopie :
67 61 59 86
télex :
480762 F