

**LES MALADIES VIRALES DES PLANTES
TRANSMISES PAR ALEURODES
EN AFRIQUE DE L'OUEST**

Projet CEE (TS2A-0137-C)

Mars 1989 - Décembre 1993

RAPPORT DE SYNTHÈSE

--- 1. Présentation du rapport	p 2
--- 2. Objectifs du projet	p 4
--- 3. Résultats scientifiques	
-- Le vecteur	p 7
-- L'épidémiologie	p 10
-- Les virus	p 13
-- Les maladies	p 20
--- 4. Liste des articles et des communications	p 25
--- 5. Chronologie du déroulement du projet	p 31
--- 6. Organisation du projet	p 37

Denis Fargette
Chargé de Recherches à l'ORSTOM

Mars 1994

Fonds Documentaire IRD



010022160

1

Fonds Documentaire IRD

Cote : B* 22160 Ex : Unique



1. PRESENTATION DU RAPPORT DE SYNTHESE

Le projet CEE STD2 TS2A-0137-C intitulé "Les maladies virales transmises par aleurodes en Afrique de l'Ouest" a débuté en mars 1989 et s'est achevé le 31 décembre 1993. Ce projet réunissait des chercheurs de l'ORSTOM (D. Fargette, France), du SCRI (B.D. Harrison, Grande-Bretagne), de l'INERA (G. Konaté, Burkina-Faso), de l'ISRA (A. M'Baye, Sénégal), de l'IDESSA (P. N'Guessan, Côte d'Ivoire), de l'INRA (H. Laterrot, France), du CIRAD (R. Lecoustre puis J. Dauzat, France), de la Faculté d'Abidjan (D. Desbois, Côte d'Ivoire) et du NRI (L. Fishpool, NRI). L'ORSTOM était le proposant principal du projet qui était supervisé par T. J. Hall pour la CEE.

Les objectifs scientifiques du programme ont été définis en début 1988 avec la soumission du dossier à la CEE. Ils comprenaient l'identification des virus, l'étude de la biologie de *Bemisia tabaci*, et des travaux plus directement en relation avec les méthodes de lutte. Il est instructif de comparer les objectifs établis il y a près de six ans -et rappelés dans la deuxième partie de ce document intitulée "Objectifs du projet"-, aux résultats obtenus à l'issue du projet récapitulés dans la troisième (et principale) partie "Résultats scientifiques". Cette comparaison montre que les principaux objectifs du projet ont été atteints et même souvent dépassés, en dépit des aléas propres à la recherche. La production scientifique qui en découle est importante, comme en témoigne la vingtaine d'articles publiés ou "sous-presse", la quinzaine de communications et la dizaine d'articles encore en préparation dont la liste exhaustive est donnée dans la quatrième partie "Liste des articles et des communications".

Ce projet reposait sur un quadruple pari.

1. L'étude régionale (en Afrique de l'Ouest) de maladies d'un même groupe (les virus transmis par aleurodes) est-elle souhaitable, la dispersion géographique des recherches peut-elle évitée, l'intégration des travaux est-elle possible?
2. Peut-on mener au sein d'un même projet différents niveaux d'analyse, de la séquence des virus à leur épidémiologie, de la diversité des agents pathogènes à leur classification, de la compréhension des mécanismes des résistances à leur exploitation en champ ?

3. Ces différents niveaux d'analyse se complètent et se renforcent-ils les uns les autres, la pluridisciplinarité se révèle-t-elle un objectif chimérique, un risque de dispersion thématique ou s'avère-t-elle au contraire un outil de complémentarité?
4. Une coopération réelle dans le cadre d'un tel projet STD est-elle possible, peut-elle se substituer à la compétition entre équipes européennes, et à l'isolement des partenaires des pays du sud?

Sans prétendre élucider ces questions de portée générale, ce rapport apporte des éléments de réponse au travers d'un cas précis, les maladies virales transmises par aleurodes en Afrique de l'Ouest. Notons seulement, dès à présent, que les contacts entre les différentes équipes ont été fréquents, continus et soutenus comme le retrace la cinquième partie "Chronologie du déroulement du projet". Les échanges, les rencontres, les périodes de travail en commun ont permis d'établir une réelle collaboration "nord/sud" et "nord/nord" et d'atteindre ainsi l'un des principaux objectifs des projets STD. En l'occurrence, la dispersion géographique et la diversité thématique se sont avérées être des atouts plus que des obstacles pour la réussite du projet. Cette coopération se concrétise maintenant par la publication de plusieurs articles associant chercheurs de pays européens et de pays du sud.

Un projet réunissant pendant cinq ans des chercheurs de dix instituts ne peut aboutir sans la bonne volonté constante des chercheurs impliqués et de leurs responsables. J'ai eu le plaisir de constater que tel avait toujours été le cas. L'attention et la compréhension des responsables de la CEE ont aussi été essentielles et ont permis les réorganisations et les modifications nécessaires au bon développement du projet (cf. la dernière section intitulée "Organisation du projet").

Si le critère ultime de succès d'un tel projet se mesure à sa production scientifique et à la qualité des relations développées, gage de collaborations futures, j'ai acquis l'intime conviction qu'il a été rempli. J'ajoute que la coordination de ce projet a été une expérience instructive et attrayante; que tous les intervenants en soient chaleureusement remerciés.

2. OBJECTIFS DU PROJET

Tels qu'ils ont été définis dans les formulaires remis à la CEE en mars 1988

Notre programme comprend trois volets. Les deux premiers débiteront en 1989 et sont relativement autonomes. Il s'agit du volet virologique intitulé "Inventaire et identification des virus" et du volet entomologique "Biologie et écologie de *Bemisia tabaci*". Le calendrier de réalisation du troisième volet "Epidémiologie et contrôle" dépendra largement de l'état d'avancement des deux premiers.

1. Identification des virus: (Côte d'Ivoire, Sénégal, Burkina Faso, Togo...; Ecosse). Notre programme comprend l'étude de l'ensemble des maladies virales transmises par aleurodes en Afrique de l'Ouest, mais sera particulièrement centré sur les gémivirus dont l'étiologie est la plus mal connue et qui paraissent provoquer les maladies les plus graves. On étudiera dans une première phase les maladies déjà signalées. On s'attachera ainsi à identifier l'agent causal de l'enroulement de la tomate, ceux de l'enroulement du gombo, de l'enroulement du tabac et du cotonnier et à caractériser les différentes souches de la mosaïque africaine du manioc. Les autres maladies repérées au cours des prospections seront étudiées.

a) L'inventaire des maladies virales transmises par mouches blanches en Afrique de l'Ouest se fera sur la base d'enquêtes. Des prospections permettront d'établir une "cartographie" de ces maladies, aussi bien de celles déjà signalées que de celles qui seront mises en évidence au cours du programme.

b) La réalisation de ces inventaires dépendra pour une large part de la création d'outils virologiques de détection. La mise au point de tests, très sensibles et spécifiques des gémivirus, constitue donc une priorité.

c) Des échantillons seront ramenés des prospections, multipliés et purifiés puis caractérisés. Les relations entre les différents isolats, souches et virus seront étudiées.

d) Lorsque les échantillons seront prélevés dans des pays d'Afrique de l'Ouest autres que la Côte d'Ivoire (et le Sénégal), le virus sera multiplié et étudié dans la mesure du possible dans les structures locales puis sera envoyé au SCRI pour des études complémentaires. L'association avec le SCRI situé au nord de l'Europe permet d'éviter les risques de contamination accidentelle.

2. Biologie de *Bemisia tabaci* : (Côte d'Ivoire). L'écologie et la biologie de *Bemisia tabaci* sur manioc fait l'objet d'un programme d'étude détaillé en Côte d'Ivoire établi par l'ORSTOM et l'ODNRI. Cette étude pourra servir de modèles à d'autres plantes.

a) Le Laboratoire de Biomodélisation s'attachera, dans un premier temps, à clarifier les points délicats de méthodologie et à établir les stratégies d'échantillonnage. Dans une deuxième temps, si l'état d'avancement des travaux le permet, un modèle de dynamique des populations d'aleurodes sera construit et articulé avec le développement des maladies.

b) Une étude détaillée du cycle biologique de *Bemisia tabaci*, principal vecteur de la mosaïque du manioc sera réalisée et s'attachera à définir la fécondité, la durée des différents stades de développement, l'effet des conditions climatiques sur le développement des populations, les causes de mortalité et les variations de ces caractéristiques au cours du temps et en fonction du développement de la plante hôte.

c) L'importance de *Bemisia hancocki*, espèce proche de *B. tabaci*, et susceptible de jouer un rôle dans la transmission de la maladie sera établie. Une étude des fluctuations saisonnières de chaque espèce sur la base des caractéristiques larvaires sera mise en oeuvre. La mise au point de cultures pures de chaque espèce permettra de préciser leur importance relative dans la dissémination des maladies virales.

d) Les parasites et les prédateurs naturels des aleurodes seront identifiés. L'étude de leur impact sur la dynamique des populations permettra de tester la possibilité de les utiliser en lutte biologique. Les autres causes de variation de la densité des populations seront aussi recherchées.

e) L'évaluation de l'activité du vecteur se fera à l'aide de piégeages (aspiration, glu, filets et pièges à eau...) et permettra de quantifier les vols immigrants, émigrants et internes d'une culture. Les changements phénologiques du vecteur en relation avec la croissance de la plante seront aussi étudiés.

f) L'étude des réservoirs naturels de vecteur et de virus sera entreprise. On étudiera tout particulièrement si il existe des biotypes d'aleurodes inféodés à certaines espèces de plantes.

3. Méthodes de lutte: (Côte d'Ivoire, Sénégal, Burkina Faso). Ce troisième volet bénéficiera des informations et des techniques obtenues au cours des parties 1 et 2 et son calendrier d'exécution sera donc fonction de leur état d'avancement.

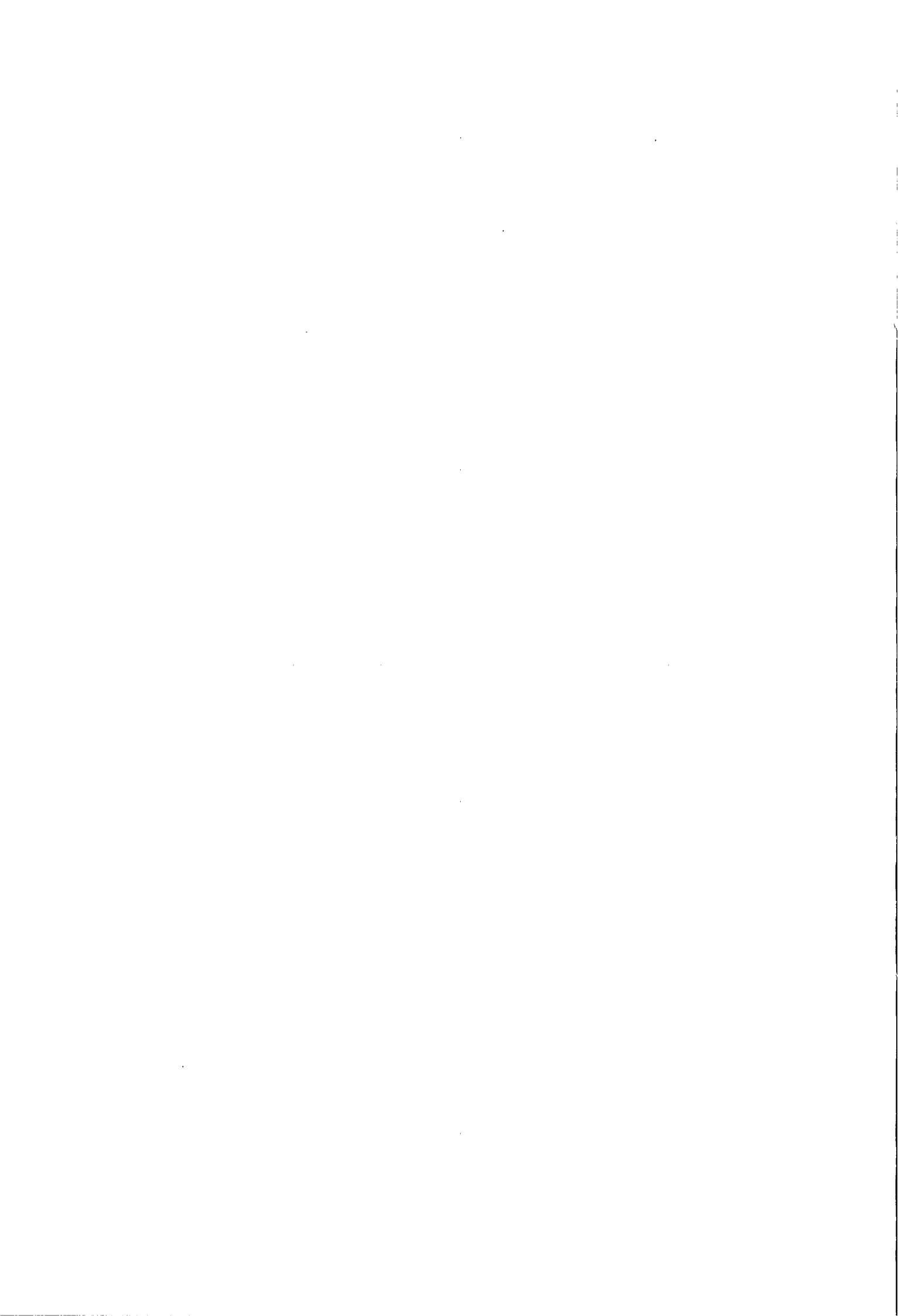
a) Pour chaque maladie, les caractéristiques de la transmission seront établies et le pouvoir virulifère des groupes d'aleurodes sera déterminé. Une étude plus fondamentale du mécanisme de transmission des virus par aleurodes sera entreprise au SCRI.

b) La création d'outils virologiques de détection permettra de résoudre des points essentiels relatifs à l'épidémiologie et à la résistance variétale. Ils faciliteront en particulier l'identification des réservoirs de ces virus et permettront l'évaluation et la sélection de variétés résistantes ou tolérantes.

c) Le laboratoire ORSTOM-Adiopodoumé dispose actuellement d'un modèle épidémiologique d'une maladie transmise par aleurode, la mosaïque africaine du manioc. La participation du laboratoire de Biomodélisation permettra d'affiner ce modèle et de l'articuler avec les connaissances relatives à la dynamique des populations d'aleurodes.

d) L'étude de l'épidémiologie des autres maladies s'appuiera sur ce modèle et sur les résultats de l'étude de la biologie du vecteur, mais sera plus directement en rapport avec les perspectives de lutte. Pour chaque maladie, on cherchera à définir les périodes et les zones "à risque". Leur connaissance permettra de décider des stratégies de lutte à mettre en oeuvre.

e) L'influence de certaines pratiques culturales sera testée. En tout état de cause, quelle que soit la stratégie de lutte retenue, l'utilisation de variétés résistantes ou tolérantes en constituera vraisemblablement l'élément essentiel. Aussi l'accent est-il mis dans notre programme sur l'étude des mécanismes de résistance et sur leur utilisation pratique. Seront donc poursuivis les travaux entrepris à l'INRA de Montfavet concernant le déterminisme génétique de la résistance et la création de variétés résistantes à l'enroulement de la tomate. Le comportement des variétés vis à vis d'autres maladies transmises par aleurodes sera évalué chez d'autres plantes et tout particulièrement dans les collections de manioc et de gombo des laboratoires de génétique de l'ORSTOM d'Adiopodoumé.



2. RESULTATS SCIENTIFIQUES

Le vecteur

Introduction. La connaissance de la biologie de l'aleurode *Bemisia tabaci* est indispensable pour comprendre l'épidémiologie des maladies virales dont il est le vecteur. L'accent a été mis sur les caractéristiques les plus essentielles de l'écologie de l'aleurode pour la compréhension de la propagation de la maladie : l'identité des biotypes vecteurs, l'élaboration de techniques d'échantillonnage simples et fiables pour évaluer les populations, les répartitions spatiales et les mouvements du vecteur qui conditionnent directement la distribution de la maladie dans l'espace, la dynamique de population et l'activité de l'aleurode qui déterminent la progression de la maladie au cours du temps.

Recherche d'autres espèces vectrices. Le rôle de *Bemisia hancocki* (maintenant nommé *B. afer*) a été étudié. Il n'a pas été possible de démontrer que *B. hancocki* était un vecteur de la mosaïque africaine du manioc, en raison de la taille très réduite des populations de cette espèce en Côte d'Ivoire et de la difficulté à établir des cultures pures. En outre, *B. hancocki* semble se développer préférentiellement sur les feuilles âgées et non sur les feuilles jeunes. Cette préférence pour les tissus âgés suggère que le rôle de *B. hancocki* comme vecteur de la mosaïque africaine du manioc est réduit, dans la mesure où seules les jeunes feuilles de manioc en croissance sont sensibles à la maladie.

Mise en évidence de biotypes.

La recherche des réservoirs de vecteurs de l'aleurode *Bemisia tabaci* a été conduite selon une approche originale. On a étudié, par l'analyse des profils estérasiques et par la caractérisation des gammes d'hôtes, si il existait des races de *B. tabaci* inféodées à des plantes hôtes particulières. L'ensemble des résultats obtenus tend à démontrer qu'il existe en basse Côte d'Ivoire deux types de *B. tabaci* ayant des comportements différents vis à vis de leurs plantes hôtes. Un premier type se développerait sur un grand nombre de plantes hôtes, mais non sur manioc; un second type serait inféodé au genre *Manihot*. Il semble, de plus, que le principal réservoir de *B. tabaci*, vecteur de la mosaïque africaine du manioc, soit le manioc lui-même.

La confirmation de l'existence de plusieurs biotypes inféodés à des gammes de plantes hôtes différentes permet une compréhension plus fine, non seulement de l'épidémiologie de la Mosaïque africaine du manioc, mais aussi de celle d'autres maladies virales transmises par aleurodes et des relations écologiques qu'elles entretiennent.

Echantillonnage des populations. L'étude de la répartition spatiale et le suivi de la dynamique des populations des aleurodes exigent des estimations fréquentes des populations larvaires et adultes. Une méthode d'échantillonnage qui donne une estimation fiable des populations a été développée. Le nombre et la distribution des larves de stade 3 et 4 et les "pupes" de chaque secteur de chaque feuille de nombreuses plantes ayant été déterminés, il s'avère que la restriction des comptages aux secteurs 3-5 des feuilles 7-20 permet une bonne estimation des populations, mais avec une économie considérable de temps. Si une échelle de notation est utilisée à la place du dénombrement, l'estimation obtenue est moins bonne, mais encore acceptable pour certaines utilisations.

Biologie de *Bemisia tabaci*. De nouvelles données sur la vitesse de développement et le taux de mortalité de chaque stade, la distribution à l'intérieur de la plante et l'évolution des populations dans le temps ont été acquises. Les mensurations morphométriques ont révélé qu'on peut distinguer les sexes au dernier stade larvaire.

Les principaux prédateurs et les parasites de *B. tabaci* ont été identifiés. Il s'agit de: *Stethorus jejunus* (Coccinellidae, Coléoptère), *Holoborus pallidi* cornis (Staphylinidae, Coléoptère), *Scolothrips* sp. (Thysanoptère), Cecidomyiidae (Diptère) genres et espèces et *Euseius* sp. (Euseiidae, Acarien). Ce sont des prédateurs généralistes et aucun d'entre eux n'a vraisemblablement un rôle significatif dans la régulation des populations d'aleurodes. Le seul parasite d'importance est *Encarsia transvena* (Aphelinidae, Hyménoptère) qui s'est révélé parasiter jusqu'à 40% du quatrième stade larvaire et qui peut donc jouer un rôle important dans la régulation des populations d'aleurodes. Cependant, ses possibilités d'utilisation en lutte biologique semblent faibles en raison du coût économique d'une telle lutte.

On ne connaît pas les raisons de la mortalité des adultes. Chez les larves, la mortalité la plus élevée se situe au premier stade larvaire. Il semble qu'elle résulte de l'absence d'attachement de la larve après émergence de l'oeuf. Les niveaux de mortalité sont souvent supérieurs à 50% et parfois supérieurs à 90%.

Méthodes d'analyse des distributions.

Une étude détaillée de la répartition des aleurodes dans un champ de manioc a été accomplie. Les conclusions obtenues à l'aide de différentes méthodes statistiques ont été comparées en utilisant notamment les analyses multivariées, les géostatistiques et les modèles de corrélation spatio-temporels développés récemment. Les conclusions concordent en de nombreux points, mais les géostatistiques se révèlent être les techniques statistiques les plus adaptées aux problèmes qui nous intéressent et les plus aisément interprétables pour le biologiste. Il se confirme aussi que les géostatistiques permettent de caractériser et de comparer des répartitions dont l'analyse est souvent difficile -et parfois impossible- par de simples procédés graphiques.

Répartition spatiale et mouvement des aleurodes.

Il se confirme que la répartition spatiale des aleurodes est étroitement tributaire de la direction des vents. En période d'harmattan, où les vents à l'échelle de la parcelle sont instables, la répartition des aleurodes n'est généralement pas structurée (effet "pépité" du semi-variogramme), exception faite de certaines périodes où un gradient sud-est/nord-ouest se dessine. Au contraire, en période d'alizé, où règne un vent régulier d'orientation sud-ouest/nord-est, le semi-variogramme linéaire indique une répartition en gradient le long de la direction sud-ouest/nord-est. Cette distribution structurée rend compte de celle observée avec la mosaïque africaine du manioc. Il est intéressant, en outre, de noter que cette répartition se maintient au cours du temps, même après l'effondrement des populations observé environ quatre mois après la plantation et parfois interprété comme la conséquence d'une migration. Cette répartition n'a disparu qu'au mois d'avril, à une période pendant laquelle se produisent de fortes perturbations orageuses.

Activités des aleurodes.

L'étude approfondie des vols des aleurodes dans les champs de manioc a été réalisée. Il s'agissait:

- (a) d'étudier l'activité des aleurodes au cours de la journée;
- (b) de déterminer, par différentes méthodes de piégeage, la hauteur et la direction du vol;
- (c) d'examiner les relations entre l'activité de l'insecte et différents facteurs climatiques (vitesse et direction du vent, température ambiante...).

Les résultats acquis permettent les conclusions suivantes. Lorsque le manioc est jeune (moins de trois mois), la plupart des aleurodes sont capturés dans les 3 à 4 heures qui suivent le lever du jour, à une période où la température et la vitesse du vent sont faibles. L'âge du manioc a une importance déterminante: les populations diminuent passés trois mois et l'activité des aleurodes est modifiée. Il est possible que se produisent alors des mouvements de type migratoire.

Dynamique des populations.

L'étude des semi-variogrammes au cours du temps donne une idée précise de la structure des populations d'aleurodes. Une attention particulière est portée aux périodes caractérisées par des pics d'infestation. L'objectif ultime est de déterminer si ces pics de population, suivis d'effondrements, sont liés en partie ou en totalité à des phénomènes d'immigration/émigration ou bien si ils correspondent aux seules fluctuations des populations autochtones. L'étude simultanée des structures spatiales des larves et des adultes d'aleurode indique que l'augmentation des populations, une fois les colonies établies dans les parcelles, résulte plus de la multiplication des populations autochtones que des apports (possibles) par immigration. L'effondrement des

populations semble être lié plus à une émigration, qu'à une mortalité soudaine des populations présentes. Les facteurs susceptibles de susciter ces émigrations ne sont pas encore connus avec certitude.

Epidémiologie

Introduction. Plusieurs aspects de l'épidémiologie de la maladie avaient été étudiés à Adiopodoumé dans le cadre de programmes de recherches antérieurs, et notamment de 1983 à 1986 avec l'appui du projet CEE/STD1 intitulé "Amélioration et valorisation de la culture du manioc" : le développement de la maladie dans l'espace et au cours du temps, la contamination primaire, la contamination secondaire, l'impact des mesures culturales, l'effet sur le rendement, le niveau et les composantes de résistance de variétés locales et améliorées. Il s'agissait dans le cadre de notre programme d'achever et de compléter les études antérieures, puis d'analyser les résultats. Il s'agissait ensuite d'intégrer les facteurs clés qui conditionnent le développement des épidémies au sein d'un modèle, puis d'utiliser ce dernier pour simuler l'effet de plusieurs méthodes de contrôle de la maladie.

Développement des épidémies au cours du temps.

Il a été établi sans ambiguïté que la forte contamination primaire qui sévit en zone côtière de Côte d'Ivoire est largement responsable de la contamination des parcelles, la propagation secondaire à l'intérieur des parcelles à partir de pieds malades étant limitée. Les raisons biologiques et les conséquences agronomiques de ces caractéristiques épidémiologiques ont été analysées en détail. Nous avons montré aussi que certaines mesures culturales ont un impact réel dans la lutte contre la progression de la maladie, mais que leur effet est cependant trop limité pour justifier un programme de prophylaxie dans des régions à forte pression d'inoculum avec les variétés cultivées usuellement.

L'analyse des cinétiques de contamination de parcelles de manioc obtenues au cours de six années consécutives à Adiopodoumé a été achevée. Cette analyse a pour objectif de décrire le plus fidèlement possible la grande variété de courbes observées, d'en extraire quelques paramètres clés et d'en tirer des conclusions biologiques, souvent difficiles et parfois impossibles à émettre par la seule observation (qualitative et subjective) des données brutes. Il s'agit en particulier de dissocier, afin de mieux les comprendre et avant de les réassocier dans un même modèle, les deux phénomènes majeurs qui interviennent de concert dans les épidémies naturelles de mosaïque africaine du manioc : la variation de la sensibilité de la plante hôte au cours du temps et la fluctuation de la pression d'inoculum. Parmi les modèles de régression non linéaires utilisés (exponentielle négative, logistique, logistique généralisée ou de Weibull et

Gompertz), il s'avère que l'équation de Gompertz, utilisée ici uniquement comme un modèle descriptif, décrit le mieux le développement des épidémies. L'analyse des paramètres de régression indique que le taux de contamination maximum est atteint en moyenne 8 semaines (+/- 2 semaines) après la plantation. Ce délai s'interprète comme le temps nécessaire à la bouture de manioc pour développer des feuilles (2-3 semaines), à l'aleurode pour coloniser puis inoculer la jeune plante (2-3 semaines) et aux symptômes pour apparaître (2-4 semaines). Passé ce stade, la décroissance régulière des taux de contamination traduit la diminution de sensibilité du manioc vis à vis de l'infection.

Les statistiques temporelles (auto-corrélogrammes) font ressortir un effet annuel et saisonnier net de la pression d'inoculum qui accompagne clairement les fluctuations de la température. Deux modèles, l'un simple, l'autre plus complexe, sont proposés. Les analyses multivariées (régressions multiples, comparaison des matrices de corrélation partielle et multiple) tranchent sans ambiguïté en faveur du modèle complexe.

modèle simple

température ---> populations d'aleurodes ---> pression d'inoculum ---> contamination

modèle complexe

température population d'aleurodes
humidité relative } ---> activité des aleurodes } ---> pression d'inoculum ---> contamination
vent sensibilité à l'infection
 réservoirs de virus

Première phase d'élaboration du modèle.

Nous avons exprimé mathématiquement les phénomènes biologiques suivants:

a) La variation de la sensibilité au cours du temps peut se ramener à l'équation différentielle :

$$dy/dt = k (a - b \cdot t) ;$$

b) La variation d'inoculum au cours du temps peut être assimilée à une équation du type

$$dy/dt = k' (c + d \sin (e \cdot t + f)) ;$$

c) Si l'on admet que ces deux phénomènes biologiques sont primordiaux dans l'épidémiologie de la maladie, l'équation différentielle des cinétiques de contamination sera du type:

$$dy/dt = K (a - b \cdot t) (c + d \sin (e \cdot t + f)) (1 - y)$$

Il s'avère que cette équation différentielle admet une solution analytique que nous avons établie. Ce modèle rend bien compte de la variété des cinétiques observées à Adiopodoumé en Côte d'Ivoire. En Côte d'Ivoire, nous avons estimé chacun des paramètres à partir des résultats

obtenus afin d'articuler et de combiner les hypothèses avancées jusqu'à présent, puis d'en étudier les conséquences prévisibles.

Seconde phase d'élaboration du modèle.

Les étapes suivantes du travail ont été:

1. La validation du modèle avec un jeu de données obtenu en Tanzanie par une équipe britannique. Les cinétiques de contamination peuvent être décrites en utilisant la structure du modèle établi en Côte d'Ivoire, une fois "calés" les paramètres avec les caractéristiques expérimentales de Tanzanie.

2. L'intégration de paramètres décrivant la contamination secondaire en appliquant le modèle mathématique correspondant déjà utilisé avec d'autres maladies et qui a été repris et adapté pour les épidémies de la mosaïque africaine du manioc.

3. L'intégration des paramètres de la résistance 'en champ'.

4. La réversion (faculté qu'ont certaines variétés infectées de donner des boutures saines) a été intégrée; les conséquences théoriques et pratiques ont été étudiées.

5. La sélection de boutures issues de plants sans symptômes, de préférence à des pieds virosés, a été incorporée au modèle.

6. Le modèle de pertes de production a été couplé au modèle épidémique.

Applications du modèle. Du point de vue théorique, il apparaît que la contamination secondaire intervient effectivement dans le processus de contamination, mais qu'elle a tendance à être masquée par l'importante contamination primaire qui sévit dans les régions forestières de Côte d'Ivoire. Ce résultat met peut-être fin aux interrogations concernant les causes du faible rôle apparent de la contamination secondaire dans l'épidémiologie de la maladie attribué successivement, avant d'être démenti par nos expériences ultérieures, au rôle des réservoirs autres que le manioc ou aux mouvements des aleurodes supposés restreints à l'intérieur des parcelles. Du point de vue pratique, les résultats de la modélisation suggèrent que les méthodes de sanitation demandent, pour réussir en zone de forte pression d'inoculum comme Adiopodoumé, de hauts niveaux de résistance, comparables à ceux observés avec les variétés de l'IITA les plus résistantes. A défaut, la multiplication et le maintien à une grande échelle de parcs à bois sains semblent aléatoires.

Les résultats des simulations indiquent que, dans les conditions naturelles d'Adiopodoumé, les parcelles de variétés hautement résistantes, associant résistance en champ et fort pourcentage de "réversion" (boutures saines issues de pieds virosés), atteindront un équilibre combinant une contamination nettement inférieure à 100% et de faibles pertes de production ($\leq 10\%$). Un équilibre analogue se produit à la suite de la sélection de boutures issues de pieds de manioc sains. Le niveau de l'équilibre suggère que l'utilisation de variétés hautement

résistantes permet déjà un contrôle effectif de la maladie, sans que des mesures culturelles supplémentaires soient nécessaires (un tel point de vue a déjà été plaidé par certains scientifiques de l'IITA, sans avoir été peut-être suffisamment étayé). Ce résultat suggère aussi que les programmes d'amélioration contre la mosaïque africaine du manioc (MAM) en cours doivent rechercher un élargissement de la base génétique de la résistance (actuellement limitée à quelques gènes issus du manioc sauvage *M. glaziovii*), plutôt qu'une augmentation du niveau de la résistance.

Les virus

Introduction. L'étude des géminivirus transmis par aleurodes en Afrique de l'Ouest a comporté plusieurs volets complémentaires menés en étroite coordination. Les techniques de détection immunologiques (avec des séries d'anticorps monoclonaux) et moléculaires (avec les techniques de "polymérase chain reaction") ont été développées. L'important travail d'inventaire réalisé au Burkina-Faso, au Sénégal et en Côte d'Ivoire a été facilité par l'utilisation de ces tests de détection. L'étiologie, la variabilité et la classification des principaux virus de ces pays ont été précisées.

Inventaire des géminivirus transmis par aleurodes.

Au Burkina Faso et au Sénégal, des informations sur l'étiologie et l'épidémiologie des maladies transmises par aleurodes ont été réunies. Il s'agit du premier travail de ce genre au Burkina Faso. Au Sénégal en revanche, des études avaient déjà été réalisées sur l'enroulement de la tomate. Les résultats suivants ont été acquis: la présence de l'enroulement du gombo a été établie et celle de l'enroulement de la tomate a été confirmée. Le statut de l'agent causal de la mosaïque du manioc a été clarifié: la souche responsable a été rapprochée, sur la base des réactions obtenues avec les batteries d'anticorps monoclonaux du SCRI, des souches présentes ailleurs en Afrique de l'Ouest.

Au Burkina Faso, plusieurs missions de prospection ont eu lieu. Il en ressort que, contrairement au Niger et au nord du Nigéria, la mosaïque dorée du niébé, autre maladie transmise par aleurode et de type géminivirus, semble accidentelle au Burkina Faso, même en zone sahélienne. Le gombo, encore à un stade jeune au cours de ces missions, ne présentait pas de symptôme notable d'enroulement. Enfin, le pepper veinal mottle, plus fréquent sur tomate que l'enroulement de la tomate se retrouve abondamment sur aubergine, goyave, piment... Il se confirme que la situation vis à vis de l'enroulement de la tomate est très contrastée: très répandu au Sénégal où il atteint parfois des proportions épidémiques, il est épisodique en Côte d'Ivoire et au Burkina Faso, fréquent certaines années et rares à d'autres. Les enquêtes réalisées au

Burkina-Faso suggèrent cependant une aggravation de cette maladie ces dernières années.

Des prospections complémentaires chez quatre espèces cultivées ont eu lieu au Burkina Faso (INERA) : le niébé, le gombo, le voandzou, le coton et le tabac. Les principales maladies suspectées étaient la mosaïque dorée du niébé, l'enroulement du gombo, l'enroulement du tabac, la mosaïque du cotonnier et la frisolée du cotonnier. La symptomatologie a confirmé la présence de l'enroulement du gombo dans plusieurs localités. Aucun symptôme caractéristique de la mosaïque du niébé n'a pu être observé. Sur cotonnier, deux types de symptômes ont été remarqués, l'un caractérisé par une mosaïque vert foncé, le second par une mosaïque jaune. Des échantillons prélevés sur les différents plants ont été testés à l'aide d'anticorps monoclonaux préparés contre le virus de la mosaïque africaine du manioc, mais capable de détecter d'autres géminivirus. Cependant, aucune réaction positive n'a été observée ni chez le coton, ni chez le niébé. En revanche, des réactions positives ont été obtenues avec le gombo, confirmant l'abondance de ce virus au Burkina-Faso. Des feuilles de tabac présentant des symptômes d'enroulement ont été trouvées.

Deux échantillons de feuille de manioc présentant des symptômes typiques de mosaïque ont donné des réactions sérologiques inhabituelles. Avec un des échantillons (provenant du Burkina-Faso), il n'y a pas eu de réaction sérologique en ELISA. Avec un autre en provenance du Ghana, seuls quelques anticorps ont réagi, ce qui distingue cet isolat du groupe A de la mosaïque africaine du manioc pourtant caractéristique de cette zone.

Sur la base de leurs profils antigéniques, la présence de plusieurs géminivirus - clairement distincts de la mosaïque africaine du manioc et de l'enroulement du gombo - a été établie dans plusieurs espèces adventices d'Afrique de l'Ouest. En revanche, un isolat issu de *Ricinus communis* présente un profil identique à celui de la mosaïque africaine du manioc, suggérant que cette plante est un hôte alternatif de l'ACMV. Des échantillons de tabac ont donné des réactions positives avec des anticorps monoclonaux contre l'enroulement du gombo (avec cependant des profils différents de celui de l'enroulement du gombo), confirmant ainsi la présence du tobacco leaf curl en Afrique de l'Ouest.

En Côte d'Ivoire, des symptômes sur aubergine suggèrent la présence d'une maladie virale transmise par aleurode. Des essais de transmission mécanique, par insecte et des tests sérologiques ont été réalisés pour s'assurer de la nature de l'agent pathogène responsable. Le comportement de plusieurs variétés d'aubergine a été suivi, certaines d'entre elles présentant des symptômes de feuilles gaufrées, d'autres de feuilles enroulées. On note aussi une variation d'intensité et de l'expression des symptômes au cours du temps entre les différentes variétés.

Techniques de détection.

Des anticorps monoclonaux ont été préparés contre le virus de l'enroulement du gombo. L'un d'entre eux est spécifique de l'enroulement du gombo. Les autres donnent des réactions croisées avec un ou plusieurs géminivirus et peuvent être utilisés pour distinguer les géminivirus du manioc et de la tomate de différentes régions. Un ensemble de trois anticorps peut être utilisé pour détecter et identifier l'enroulement du gombo de toutes les régions.

Des anticorps préparés à l'IBMC contre la mosaïque africaine du manioc ont été testés au SCRI contre plusieurs géminivirus d'origine géographique différente. On peut distinguer deux anticorps monoclonaux différents, l'un détectant l'ensemble des géminivirus transmis par aleurodes, l'autre spécifique des géminivirus d'Afrique. La collaboration s'est poursuivie avec la mise au point (à l'IBMC) de sondes, par couplage à la biotine des anticorps monoclonaux. Ainsi, un anticorps monoclonal préparé contre la mosaïque africaine du manioc a été couplé à la biotine. Cet anticorps peut être utilisé avec succès dans les tests DAS-ELISA en utilisant 'en couverture' l'anticorps monoclonal. Ce test, qui permet de s'affranchir de l'anticorps polyclonal disponible en quantité limitée, assure une détection satisfaisante non seulement du virus homologue (mosaïque africaine du manioc), mais aussi d'autres virus sérologiquement apparentés comme l'enroulement de la tomate. Cependant, la sensibilité de ce test est d'un ordre de grandeur inférieur au test TAS-ELISA.

La détection, à des concentrations très faibles, de plusieurs géminivirus (mosaïque indienne du manioc, euphorbia mosaic virus, enroulement indien de la tomate) a été réalisée à l'aide des techniques d'amplification de gènes par la "polymerase chain reaction" (PCR), ouvrant ainsi de nouvelles perspectives pour la détection de ces virus. Ces premiers essais de détection des géminivirus par PCR ont été étendus à d'autres géminivirus incluant des isolats d'enroulement de la tomate du Nigéria, du Sénégal, de Sicile et de Sardaigne, des échantillons contenant la souche "Afrique de l'Est" du virus de la mosaïque africaine du manioc, ainsi que des échantillons du virus de l'enroulement du gombo. Le test par PCR a permis aussi la détection d'un probable géminivirus dans des échantillons de niébé présentant des symptômes de jaunissement, alors qu'aucune détection n'était encore possible par les tests sérologiques.

Les études portant sur la détection des géminivirus par les techniques de PCR ont été poursuivies. L'enroulement du gombo et l'enroulement de la tomate ont pu être détectés par PCR dans des aleurodes virulifères provenant du Nigéria, du Sénégal et d'Inde. Ces résultats confirment l'intérêt de la technique PCR pour la détection des géminivirus dans leur plante hôte comme dans leur vecteur. L'amplification par PCR, puis la digestion par enzymes de restriction de fragments du génome des géminivirus, a mis en évidence une variabilité au sein des différents virus, parfois même au sein d'isolats sérologiquement très apparentés.

La mosaïque africaine du manioc.

La recherche de réservoirs de la mosaïque africaine du manioc parmi les plantes adventices a été réalisée à l'aide d'anticorps monoclonaux utilisés selon la méthode ELISA indirecte dite du "triple-sandwich". Ces études ont confirmé que le rôle des plantes adventices dans l'épidémiologie de la maladie est vraisemblablement très réduit et que c'est donc la culture de manioc elle-même qui est le principal réservoir de virus.

L'utilisation d'anticorps monoclonaux a permis de réduire le taux de "faux positifs" enregistré au cours d'études comparables menées avec des anticorps polyclonaux. Seuls, quatre échantillons ont réagi positivement dans nos essais avec les anticorps monoclonaux. Cependant, l'isolement du virus par transmission mécanique n'ayant pas été possible, il n'est pas possible de conclure avec certitude que nous avons effectivement affaire à la mosaïque africaine du manioc dans ces quatre cas.

Nous avons appliqué les analyses statistiques multivariées à l'étude de la variabilité sérologique des géminivirus associés à la mosaïque du manioc. Ces analyses s'avèrent utiles pour grouper les isolats de virus (classification hiérarchique ascendante), pour montrer la variation à l'intérieur et entre les groupes (analyse en composantes principales), pour illustrer les relations entre les différents types de réaction des anticorps monoclonaux (analyse en composantes principales) et pour sélectionner les anticorps nécessaires à la discrimination des groupes (analyse discriminante). Ces méthodes confirment et affinent les interprétations antérieures des données. Elles permettent une illustration claire et précise des relations entre les souches et entre les isolats. Elles sont suffisamment puissantes pour permettre l'analyse d'un plus grand nombre d'isolats ou de virus.

Le travail consacré à l'analyse de la variabilité des souches de la mosaïque africaine du manioc a été achevé. Les analyses montrent la répartition des isolats en trois groupes sérologiques correspondant à leur origine géographique. L'influence de la concentration en virus, l'effet de la valeur plafond des densités optiques, l'impact du codage des réactions selon une échelle de 1 à 5 sur la répartition au sein de ces groupes ont été testés. Il en ressort que la classification des isolats en trois groupes est suffisamment robuste pour ne pas être affectée par des variations de la concentration virale ou par un codage approprié des données quantitatives.

Un nouveau virus a été détecté à plusieurs reprises dans des échantillons de manioc en provenance de Côte d'Ivoire. Ce virus a été purifié, caractérisé et un test ELISA mis au point. Nous nous sommes intéressés à de possibles interférences entre ce nouveau virus, bacilliforme, et le virus de la mosaïque africaine du manioc. De telles interférences, où l'un des virus favorise ou au contraire restreint la multiplication de l'autre, ont été rapportées à plusieurs reprises. Nous

avons donc comparé la concentration en virus de plantes infectées par chacun des virus isolément à celles de plantes contaminées par les deux simultanément. Les concentrations étaient semblables et aucun résultat ne permet de supporter l'hypothèse d'une interférence de l'un des virus vis à vis de l'autre, dans un sens comme dans l'autre.

La comparaison des souches "Africaine" et "Indienne" de la mosaïque du manioc a été menée avec l'analyse du génome de la mosaïque indienne du manioc (ICMV). Les informations obtenues initialement indiquaient que plusieurs parts du génome étaient semblables à d'autres géminivirus transmis par aleurodes et notamment l'ACMV et le mungbean yellow mosaic virus. En revanche, dans d'autres parties du génome aucune homologie n'avait été retrouvée. Ces résultats supportaient l'hypothèse selon laquelle l'ICMV est un géminivirus distinct de l'ACMV. La comparaison de la mosaïque africaine (ACMV) et de la mosaïque indienne du manioc (ICMV) a été poursuivie par le séquençage complet des nucléotides des deux segments à ADN monocaténares (ADN-1 et ADN-2) qui forment le génome de l'ICMV. La comparaison des séquences montre que l'ACMV et l'ICMV sont deux virus distincts. En particulier, les séquences des "régions communes" sont très différentes. Les séquences d'acides aminés des produits de gènes de l'ACMV et de l'ICMV ne sont pas plus similaires entre elles que celle d'autres géminivirus transmis par aleurodes. La comparaison des structures secondaires de la mosaïque africaine et de la mosaïque indienne du manioc a été achevée et confirme cette différence. Une sonde a été développée qui détecte l'ICMV et qui le distingue de l'ACMV.

Plusieurs parties essentielles du génome de l'isolat d'Afrique de l'Est de la mosaïque africaine du manioc ont été séquencées. Il s'avère que les séquences des différents gènes de cet isolat ne sont pas plus proches de celles du virus de la mosaïque africaine du manioc (souche Kenya) que d'autres géminivirus transmis par aleurodes. Ces résultats corroborent les différences sérologiques exposées ci-dessus et suggèrent que l'isolat d'Afrique de l'Est est un virus différent de celui isolé dans plusieurs pays d'Afrique de l'Ouest. En définitive, les virus de la mosaïque africaine du manioc, de la mosaïque d'Afrique de l'Est du manioc et de la mosaïque indienne du manioc doivent maintenant être considérés comme des virus distincts.

L'enroulement de la tomate.

La souche "Sénégal" de l'enroulement de la tomate a été recueillie au cours d'une mission au CDH. Elle a été propagée par greffe au SCRI et a été étudiée. Le profil antigénique, établi sur la base de la batterie d'anticorps monoclonaux contre la mosaïque africaine et la mosaïque indienne du manioc, indique qu'en dépit de quelques variations mineures, la souche du Sénégal est antigéniquement proche de la souche du Proche-Orient. Une comparaison détaillée avec la souche "Egypte" a pu être faite. Des purifications, suivant les méthodes développées par une équipe israélienne vis à vis de cette maladie n'ont pas abouti. Il en est de même lorsque l'on suit

la méthode de purification de l'enroulement indien de la tomate, maladie voisine sur la base des symptômes, mais très différente antigéniquement. La purification de l'enroulement de la tomate a été poursuivie, mais s'est avérée délicate en dépit de l'optimisation de chaque étape (extraction, clarification, précipitation et resuspension).

A l'occasion de trois missions dans des zones où sévissent des géminivirus transmis par *B. tabaci* (Egypte, Tanzanie, Cuba), des plantes virosées ont été observées et photographiées et des portions de plantes ont été prélevées, ensachées puis expédiées au SCRI pour étude sérologique. Il est intéressant de noter que si les échantillons en provenance d'Egypte montrent un profil antigénique proche de la souche "Sénégal", il n'en est pas de même des échantillons de Tanzanie et de Cuba qui présentent des différences notables du point de vue sérologique. Ces résultats suggèrent, qu'en dépit de symptômes voisins, les virus causant les enroulements sur tomate dans ces deux derniers pays sont différents de l'enroulement de la tomate que l'on trouve au Sénégal et au Proche-Orient.

Des échantillons en provenance de plusieurs pays d'Afrique (Sénégal, Nigéria, Tanzanie) ont été testés avec la batterie d'anticorps monoclonaux préparés contre la mosaïque africaine du manioc (dont plusieurs réagissent avec différents isolats de l'enroulement de la tomate). Les isolats de l'enroulement de la tomate issus d'Afrique sub-saharienne présentent effectivement de fortes analogies avec les isolats du Proche-Orient (Egypte, Chypre). Cependant, les résultats obtenus depuis suggèrent de surcroît des différences significatives entre isolats du Proche-Orient et d'Afrique. En outre, une variabilité au sein même des isolats des pays Afrique sub-saharienne a été observée. Un des isolats, issu d'une région particulière, diffère clairement des autres isolats collectés dans le reste du pays. Ce résultat a été corroboré par l'étude d'échantillons venant du Nigéria issus du même champ et présentant des différences analogues. Il est donc possible qu'il y ait au sein d'un même pays, voire au sein d'un même champ, plusieurs souches du virus de l'enroulement de la tomate. Des échantillons de feuille de tomate du Burkina-Faso et du Sénégal présentant des symptômes de jaunisse ont été prélevés par H. Laterrot puis analysés. La totalité des échantillons du Sénégal et la plupart de ceux du Burkina-Faso s'apparentent au profil 'Afrique de l'Ouest'. En revanche, au moins un des échantillons du Burkina-Faso est différent et se rapproche du profil 'Moyen-Orient'.

L'analyse de la variabilité sérologique de l'enroulement de la tomate par les techniques statistiques multivariées a été réalisée (analyse en composante principale, analyse en coordonnées principales, analyse discriminante et classification hiérarchique ascendante) sur la base d'un corpus étendu de données : plus de 150 isolats testés contre 27 anticorps monoclonaux de la mosaïque africaine et de la mosaïque indienne du manioc. Ces analyses dont l'esprit est analogue à celui adopté lors de l'analyse de la variabilité sérologique de la mosaïque africaine du manioc

(cf. ci-dessus) ont permis d'atteindre plusieurs objectifs : identification des isolats, relations et regroupements, nature et étendue de la variation, composante géographique de la variation, distinction pratique entre les groupes et relations entre les anticorps monoclonaux. Les résultats préliminaires font ressortir les positions des groupes 'Afrique de l'Ouest', 'Moyen-Orient/Méditerranée', 'Asie' et 'Amérique Centrale' et la variation au sein de chacun des groupes.

Le gène de la protéine capsidaire de plusieurs isolats d'origine géographiques diverses et de profils sérologiques distincts a été amplifié par PCR en utilisant des amorces complémentaires de séquences conservées flanquantes du gène. Le gène de la protéine capsidaire de ces différents isolats a ensuite été séquencé. Des différences d'homologie de séquence existent. Elles concordent avec la distinction sérologique établie ci-dessus.

L'enroulement du gombo.

L'étiologie de l'enroulement du gombo a été précisée. L'isolement de cet agent pathogène s'est avéré délicat en raison de la présence du virus, en faible concentration, dans les seuls tissus phloémiques de la plante. La purification de ce virus a été en outre compliquée par la présence de substances mucilagineuses chez le gombo, seule plante s'avérant capable de multiplier le virus. L'agent pathogène a cependant pu être purifié et certaines de ses caractéristiques ont été précisées; un sérum polyclonal a été obtenu. Il s'agit sans ambiguïté d'un géminivirus nouveau, distinct de ceux isolés en Afrique de l'Ouest et notamment de la mosaïque africaine du manioc et de l'enroulement de la tomate. Cependant, il partage plusieurs sites antigéniques avec les autres géminivirus transmis par aleurodes

Une série d'anticorps monoclonaux contre l'enroulement du gombo a été obtenue. Ils ont été utilisés pour la détection de plusieurs échantillons de gombo d'origines diverses. Au moins deux d'entre eux permettent la détection du virus dans tous les échantillons et sont donc utilisés dans les tests de détection de routine.

L'analyse d'échantillons d'enroulement du gombo provenant de différentes régions suggère aussi une variation antigénique entre les différents isolats de ce virus. Plusieurs échantillons de feuille de gombo ont été testés au Burkina-Faso avec des anticorps monoclonaux préparés contre l'enroulement du gombo, la mosaïque africaine et la mosaïque indienne du manioc. Il apparaît que les échantillons présentent de fortes similarités mais peuvent cependant être regroupés en deux classes distinctes. Dans leur ensemble ces échantillons sont plus étroitement reliés sérologiquement à la mosaïque africaine qu'à la mosaïque indienne du manioc.

Classification des géminivirus. Les compositions en acides aminés (CAA) de la protéine capsidaire de plusieurs géminivirus ont été réunies à l'issue d'études bibliographiques exhaustives ou grâce à l'interrogation de bases de données. Les analyses statistiques multivariées des CAA permettent de distinguer clairement le groupe des géminivirus transmis par aleurodes de ceux transmis par cicadelles. Le BCTV, géminivirus transmis par cicadelle mais infectant les dicotylédones, se retrouve cependant à "mi-chemin" entre les deux groupes. Enfin, les variations géographiques à l'échelle continentale des géminivirus (Afrique, Asie, Amérique) se retrouvent dans leur CAA.

L'étude de la composition en acides aminés, en codons et en dinucléotides des protéines capsidaires des géminivirus a été poursuivie sur la base d'un corpus étendu. Ce travail suit une méthodologie analogue à celle adoptée antérieurement avec les virus en bâtonnets. Les distinctions "transmission par aleurodes vs cicadelles", "monocotylédones vs dicotylédones" ainsi que la variation géographique sont nettes avec la composition en acides aminés, sont encore apparentes avec celle en codons, mais demeurent "brouillées" avec celle en dinucléotides. Ces regroupements et les différences obtenues par l'étude de la composition en acides aminés recourent largement les résultats ultérieurs obtenus par d'autres équipes avec l'analyse directe des homologies de séquence du génome viral.

Les maladies

Introduction. La lutte contre les maladies virales passe par une bonne connaissance de l'effet de l'agent pathogène sur la croissance de la plante et sur son rendement. Aussi une étude de l'impact de la mosaïque africaine du manioc sur l'architecture des plants de manioc a-t-elle été réalisée. La résistance variétale est à la base du contrôle des maladies virales. Une étude approfondie des caractéristiques de la résistance au tomato yellow leaf curl de géniteurs d'origines diverses a été menée à bien. Enfin, un travail intéressant a été réalisé sur la résistance à l'enroulement du gombo.

La mosaïque africaine du manioc.

Une série de mesure de croissance de maniocs, sains ou virosés, a été achevée à Adiopodoumé. Les schémas de plantes ont été étudiés et les données mises en forme. L'analyse de la distribution d'entre-noeuds par tige montre que la croissance des tiges issues des boutures est régie par deux phénomènes principaux : la dormance de "l'oeil" et la probabilité d'élongation du noeud issu du méristème apical en croissance. En ce qui concerne la ramification, on peut classer leur mode de croissance en deux groupes. Les variétés plantées à Adiopodoumé sont tolérantes au virus et les différences de croissance entre les plants issus de boutures saines et

ceux issus de boutures virosées, mises en évidence par les études de modélisation, sont très faibles ou nulles. Ce résultat confirme le bon comportement, en ce qui concerne la croissance, de certaines variétés locales et améliorées. Les travaux sur l'architecture du manioc ont été poursuivis par l'ajustement de l'émission foliaire à des lois simples et classiques qui permettent d'émettre des hypothèses sur le fonctionnement des méristèmes du manioc. Cependant, ces études ont été compliquées par la 'réversion' de plusieurs des variétés : certaines parcelles plantées avec des boutures issues de pieds malades ont donné un taux important de pieds sans symptômes, limitant la portée des conclusions et soulignant la nécessité de refaire de nouvelles séries de mesure.

L'enroulement de la tomate.

Durant la première période du projet, l'INRA a assuré deux types de travaux relatifs à l'enroulement de la tomate : la production et la fourniture de semences aux partenaires du projet; l'observation et le prélèvement d'échantillons de plantes virosées. Ainsi des géniteurs de résistance au TYLC mis en évidence dans différents pays du Moyen-Orient ou d'Afrique soudano-sahélienne ont été fournis aux partenaires de l'ISRA, de l'INERA et du SCRI, soit pour une étude comparative sous contamination naturelle par le virus de l'enroulement de la tomate, soit pour une étude sous contamination contrôlée au SCRI. A l'occasion de trois missions en zones où sévissent des gémiviruses transmis par *B. tabaci* (Egypte, Tanzanie, Cuba), des plantes virosées ont été observées et photographiées et des portions de plantes ont été prélevées, ensachées, puis expédiées au SCRI pour étude sérologique.

Une étude de la teneur en virus de plusieurs variétés résistantes a été réalisée. Des variétés issues de différentes espèces de tomate sauvages nous ont été transmises par H. Laterrot (INRA). Nous avons reçu aussi une variété de tomate résistante de S. Cohen (Volcani Institute, Israël). Nous en avons retenu cinq pour les études ultérieures, issues chacune d'une espèce différente :

- *Lycopersicon esculentum* : F1 TY 20.
- *Lycopersicon pimpinellifolium* : LA 1478.
- *Lycopersicon hirsutum* : LA 1777
- *Lycopersicon peruvianum* : CMV-INRA
- *Lycopersicon chilense* : LA 1969.

Les plantes ont été greffées avec l'enroulement de la tomate (isolat Sénégal), puis le développement des symptômes et la teneur en virus ont été évalués par sérologie. Le comportement de lignées de tomate présentant des caractères de résistance/tolérance, et à la base de programmes d'amélioration variétale, contre l'enroulement de la tomate a été évalué par le test immuno-enzymatique ELISA, après infection par greffage de l'un ou l'autre des virus de

l'enroulement 'africain' et 'indien' de la tomate. Deux variétés de tomate cultivée (*L. esculentum*), l'une -Money Maker- sensible à la maladie, l'autre -F1 TY 20- tolérante et issue des programmes d'amélioration par introgression depuis *L. peruvianum* (Pilowsky et Cohen, 1990) ont été testées, ainsi que quatre lignées issues d'espèces de tomate sauvages, LA 1478 (*L. pimpinellifolium*), LA 1777 (*L. hirsutum*), CMV-INRA (*L. peruvianum*) et LA 1969 (*L. chilense*) et utilisées comme géniteurs dans les programmes d'amélioration variétale.

Les résultats montrent une grande diversité de comportement. Une forte multiplication du virus, comparable à celle du témoin sensible, a lieu chez LA 1478, bien qu'il n'y ait pas de symptômes extériorisés. L'hybride F1 TY20 présente des symptômes et permet une forte multiplication du virus chez les jeunes plantes, mais des caractères de résistance apparaissent chez les plantes plus âgées. Les "origines" LA 1777 et CMV-INRA présentent un degré élevé de résistance (20% seulement de la concentration des variétés sensibles pour l'enroulement 'africain' de la tomate), plus marqué encore vis à vis de l'enroulement 'indien' de la tomate, suggérant que les mécanismes de résistance sont non spécifiques. Le degré le plus élevé de résistance est observé chez LA 1969. Bien qu'infectée, comme le montre le greffage en retour sur la variété sensible MoneyMaker, la concentration virale de LA 1969 est inférieure ou égale à 1% celle de la variété sensible, le virus n'étant généralement pas détecté par le test ELISA.

L'étude du comportement de lignées de tomate présentant des caractères de résistance/tolérance, et à la base des programmes d'amélioration variétale contre l'enroulement de la tomate, a été approfondie. Les travaux débutés avec des isolats d'Afrique de l'Ouest et d'Inde ont été complétés avec la souche 'Sardaigne'. Des différences de réponse aux souches apparaissent entre les variétés, la souche la plus agressive semblant être la souche 'Sardaigne', la moins agressive la souche 'Inde'. Ces études confirment le bon comportement des lignées LA 1777 et CMV-INRA, la lignée LA 1969 présentant le degré le plus élevé de résistance. L'analyse de la résistance variétale entamée avec des origines d'espèces sauvages a été poursuivie par l'étude d'hybrides F1 commercialisés par des compagnies semencières et présentant des caractères de résistance/tolérance.

La multiplication de la lignée LA 1969 présentant des caractéristiques marquées de résistance a été poursuivie. En vue d'introduire et d'exploiter cette résistance chez la tomate, plusieurs croisements entre les deux espèces ont été tentés par trois techniques différentes avec la lignée INRA 'Momor verte'. La multiplication de LA 1969 et la réalisation de ces croisements sont des entreprises particulièrement délicates. Près de 400 graines de LA 1969 ont été obtenues pour permettre diverses études vis à vis des gémiviruses infectant la tomate. Deux hybrides F1 "tomate x *L. chilense* LA 1969" ont été obtenus puis utilisés comme parents mâles pour effectuer le premier rétrocroisement par la tomate. Ce matériel est maintenant à la base d'une sélection

multilocale conduite par le réseau de sélectionneurs constitué par l'INRA dans le bassin méditerranéen, le Moyen-Orient, l'Afrique soudano-sahélienne, l'Asie du sud-est et récemment élargi à l'Amérique centrale.

La distribution histologique du virus au sein de des plantes de variétés sensibles et résistantes a été étudiée par des techniques d'empreintes immunologiques. La surface fraîchement coupée de tige, de pétiole ou de feuille est pressée sur une membrane de nitrocellulose et exposée successivement à l'anticorps monoclonal correspondant, à un anticorps couplé et au substrat de l'enzyme. Les résultats obtenus confirment que la tolérance s'exprime essentiellement par une diminution du nombre de vaisseaux vasculaires infectés. En revanche, il n'y a pas d'effet significatif sur la concentration relative en virus du phloème intérieur ou extérieur. Ce résultat est différent de celui obtenu avec l'enroulement de la pomme de terre, un autre virus limité au phloème, où les cultivars de pomme de terre résistants n'expriment qu'une concentration limitée en virus.

L'enroulement du gombo. L'étude de l'enroulement du gombo réalisée dans la région de Bouaké montre que la maladie y est largement répandue et apporte des informations sur son épidémiologie et sur la résistance variétale. L'évolution de la maladie au cours du temps présente des similitudes avec celle des populations du vecteur, l'aleurode *Bemisia tabaci*, et suggère une fluctuation de la pression d'inoculum pendant la période de juillet à octobre. L'analyse des résultats relatifs au comportement des lignées de gombo permet de distinguer, sur la base des symptômes, des numéros moins contaminés parmi les variétés locales (et donc résistants à la maladie) et d'autres hébergeant des populations plus faibles d'aleurodes (et donc résistants au vecteur). L'étude montre aussi que la résistance au vecteur n'entraîne pas nécessairement la résistance à l'expression des symptômes.

Conclusion

Ce programme STD2 "les maladies virales transmises par aleurodes en Afrique de l'Ouest" a été mené de 1989 à 1993. Il était le prolongement et l'extension d'un programme STD1 intitulé "Amélioration et valorisation du manioc" animé par l'ORSTOM conduit de 1984 à 1987. Plusieurs thèmes de recherche ont ainsi pu être menés en continu sur près de dix ans, durée nécessaire pour mener certains travaux, notamment ceux de modélisation. L'ensemble des résultats exposés ci-dessus indique que les objectifs affichés dans le programme prévisionnel ont été atteints; pour plusieurs études les résultats obtenus ont même dépassé les prévisions. L'approche pluridisciplinaire a permis de mener des études à plusieurs échelles : ainsi l'enroulement de la tomate a-t-il été cartographié, caractérisé sérologiquement et moléculairement

et la nature de la résistance variétale mise en évidence. Les contacts ont été soutenus et fructueux, notamment grâce aux échanges de matériel et d'information et lors des périodes de travail dans les laboratoires respectifs des autres équipes. Les collaborations mises en oeuvre se poursuivent maintenant dans d'autres contextes et dans d'autres lieux : par exemple, l'étude de la mosaïque africaine du manioc en Ouganda dont l'esprit s'inspire du programme STD2 et la collaboration sur le rice yellow mottle virus en Afrique avec plusieurs des partenaires du projet STD2 (futur projet CEE STD4); la sélection sélection pour la résistance à l'enroulement de la tomate se continue dans le cadre du réseau animé par H. Latterot et appuyé par le programme CEE/STD.

4. LISTE DES ARTICLES ET COMMUNICATIONS

Articles publiés ou sous-presse

Abisgold, J. D. & L. D. C. Fishpool. 1990. A method for estimating population sizes of whitefly nymphs (*Bemisia tabaci*) on cassava. *Tropical Pest Management* 36, 287-292.

Desbois, D., Vidal, G., Fargette, D. & C. Fauquet. 1989. Typologie des virus de plantes en batonnet d'après la composition en acides aminés de leur protéine de capsid. *Les Cahiers de l'Analyse des Données* 14, 385-392.

Fargette, D., Thresh, J. M. 1994 a. Ecology of African cassava mosaic. In *Ecology of Plant Pathogens*, Blakeman J. P. and Williamson, B. Eds. CAB International. Oxford, UK. pp 269-282.

Fargette, D. & Vié, K. 1994 b. Modelling the temporal primary spread of African cassava mosaic virus into plantings. *Phytopathology*, sous-presse.

Fargette, D., Thresh, J.M., & Otim-Nape, G.W. 1994. The epidemiology of African cassava mosaic geminivirus : reversion and the concept of equilibrium. *Tropical Science* 34, 123-133.

Fargette, D., Fauquet, C., Grenier, E. & Thresh, J.M. 1990. The spread of African cassava mosaic virus into and within cassava fields. *Journal of Phytopathology* 130, 289-302.

Fargette, D., Jeger, M., Fauquet, C. & Fishpool, L.D.C. 1994. Analysis of temporal disease progress of African cassava mosaic virus. *Phytopathology*, 91-98.

Fargette, D., V. Muniyappa, C. Fauquet, P. N'Guessan & Thouvenel, J-C. 1993. Comparative epidemiology of three tropical whitefly-transmitted geminiviruses. *Biochimie* 75, 547-554.

Fauquet, C. & D. Fargette. 1991 African cassava mosaic virus : Etiology, Epidemiology and Control. *Plant Disease* 74, 404-411.

Fishpool, L. D. C. & Burban, C. 1994. *Bemisia tabaci*, the whitefly vector of African cassava mosaic virus. *Tropical Science* 34, 55-72.

Givord, L., Fargette, D., Kougnoungissa, J-C. Thouvenel, B. Walter & M.H.V. Van Regenmortel. 1994. Cross reactivity of monoclonal antibodies to ACMV with geminiviruses from tropical countries. *Agronomie*, sous-presse.

Harrison B. D., M. M. Swanson, P .F. McGrath and D. Fargette. 1992. Patterns of antigenic variation in whitefly-transmitted geminiviruses. *Annual Report of the Scottish Crop Research Institute for 1991*, pp 88-90.

Hong, Y. G., Robinson, D. J., and B. D. Harrison. 1993. Nucleotide sequence evidence for the occurrence of three distinct whitefly-transmitted geminiviruses in cassava. *Journal of General Virology* 74, 2437-2443.

Lecoustre, R, Fargette, D, Fauquet, C & De Reffye, P. 1989. Analysis and mapping of the spatial spread of African cassava mosaic virus using geostatistics and the kriging technique. *Phytopathology* 79, 913-920.

M'Baye, A. 1991. La mosaïque africaine: une maladie d'origine virale du manioc. *Afrique Espoir* 3, 25-27.

McGrath, P. F., Swanson, M. M., N'Guessan, K. P., Deng, G. H., Robinson, D. J. & B. D. Harrison. 1991. Okra leaf curl virus : a whitefly-transmitted geminivirus from West-Africa. *Annual Report of the Scottish Crop Research Institute for 1991*, pp 85-87.

Swanson, M. M. & Harrison, B. D. 1993. Serological relationships and epitope profiles of isolates of okra leaf curl geminivirus from Africa and the Middle East. *Biochimie* 75, 707-711.

Swanson, M. M. & Harrison, B. D. 1994. Properties, relationships and distribution of cassava mosaic geminiviruses. *Tropical Science* 34, 15-25.

Thresh, J.M. & Fargette, D. & Otim-Nape, W. G 1994. Effects of African cassava mosaic geminivirus on the yield of cassava. *Tropical Science* 34, 26-42.

Thresh, J.M., Fishpool, L. D. C., Otim-Nape, W. G. & D. Fargette. 1994. African cassava mosaic disease: an underestimated and unsolved problem. *Tropical Science* 34, 3-14.

Articles soumis ou en préparation

- Deng, D., McGrath, P. F., Robinson, D. J. & Harrison, B. D. 1994. Detection and differentiation of whitefly-transmitted geminiviruses in plants and vectors insects by the polymerase chain reaction with generate primers. *Journal of General Virology*
- Fargette, D. & C. Fauquet. 1994. Components of resistance towards African cassava mosaic virus. *European Journal of Phytopathology*
- Fargette, D. & Vié, K. 1994. Simulating the effects of field resistance, reversion and cutting selection on incidence and yield losses of African cassava mosaic. *Phytopathology*
- Fargette, D., Swanson, M.M, McGrath, P. F. & Harrison, B.D. 1994. Geographical variation in epitope profile of tomato leaf curl geminivirus isolates. *Annals of Applied Biology*
- Fargette, D., McGrath, P. F., McNicol, J., Swanson, M. M. & Harrison, B. D. 1994. Multivariate analysis of the variation in epitope profile of tomato yellow leaf curl geminiviruses. *Journal of General Virology*
- Fargette, D., Swanson, M. M., McNicol, J. & Harrison, B. D. 1994. Multivariate analysis of epitope variability among geminiviruses isolates from cassava. *Journal of General Virology*
- Fargette, D., Leslie, M. & Harrison, B. D. 1994. Resistance towards tomato yellow leaf curl virus in wild species of *Lycopersicon* and in *Lycopersicon esculentum*. *Annals of Applied Biology*
- Fishpool, L. D. C., Fauquet, C., Fargette, D., Thouvenel, J-C & Burban, C. 1994. Sexual dimorphism in fourth instar nymphs of the whitefly *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera: Aleyrodidae). *Entomologia Experimentalis and Applicata*.
- Fishpool, L. D. C., Fauquet, C., Fargette, D., Thouvenel, J-C & Burban, C. 1994. The phenology of *Bemisia tabaci* populations (Homoptera; Aleyrodidae) on cassava in southern Côte d'Ivoire. *Bulletin of Entomological Research*.
- Hong, Y. G. & Harrison, B. D. 1994. The nucleotide sequence of DNA-A of Indian tomato leaf curl virus and evidence of geographical variation in the coat protein from tomato. *Journal of General Virology*

Konate, G., Fargette, D., Swanson, M. M. & Harrison, B. D. 1994. Survey and identification of whitefly transmitted geminiviruses in Burkina Faso. *Tropical Pest Management*

N'Guessan, P., Fargette, D., Hamon, S. 1994. Field responses of okra cultivars to okra leaf curl virus. *Tropical Pest Management*

Communications

Abisgold, J.D. 1989. A detailed investigation of the flight activity of the whitefly *Bemisia tabaci* (Genn.) on cassava in Côte d'Ivoire. *Comptes-Rendus du 4ème Colloque International d'Epidémiologie Virale*. 2-9 septembre 1989. Montpellier. France, pp 265-267.

Burban, C., Fishpool, L.D.C. & Abisgold, J.D. 1989. Caractérisation des populations de *Bemisia tabaci* en fonction des plantes hôtes: recherche de marqueurs électrophorétiques et transferts d'hôtes. *Comptes-Rendus du 4ème Colloque International d'Epidémiologie Virale*. 2-9 septembre 1989. Montpellier. France, pp 267e-267h.

Burban C., Fauquet, L. D. C. Fishpool, D. Fargette & J-C. Thouvenel. 1990. Host associated differentiation in the whitefly *Bemisia tabaci* : an electrophoretical approach. *Actes de la British Society for Plant Pathology* (Bath, 12-14 décembre), p 29.

Desbois, D., Fauquet, C., Vidal, G. & Fargette, D. 1990. Inventory of molecular databanks and relevance of sequence analysis tools in virological taxonomic research (abstract). VIIIth International Congress of Virology. 26-31 août. Berlin, p 499.

D. Fargette. 1991. Quelques propriétés de la résistance variétale à l'enroulement de la tomate. *Compte-Rendu de la communication présentée au séminaire sur la résistance à l'enroulement de la tomate*. INRA Montfavet 2-6 septembre 1991.p 47-49.

D. Fargette, Fauquet, C., Fishpool, L. D. C. 1992. Strategies for controlling African cassava mosaic virus : an approach through modelling. *Proceedings of the AAB meeting 'Plant Virology in the Tropics'* York 9-10 April 1992, p 44.

Fargette, D., Fauquet, C., Fishpool, L.D.C. & Thresh, J. M. 1992. Ecology of African cassava mosaic virus in relation to the climatic and agricultural environment. *5th International Congress on Plant Virus Epidemiology*. Bari, 28-31/7.

- Fargette D., C. Fauquet, M. J. Jeger & L. D. C. Fishpool. 1990. Interpretation and use of African cassava mosaic virus disease progress curves. Actes du British Society for Plant Pathology (Bath, 12-14 décembre), p 24-25.
- Fargette, D., Harrison, B.D., Swanson, M. M., McGrath, P. & M. Leslie. 1993. Analyse de la variabilité sérologique de l'enroulement de la tomate. Quatrième Rencontre de Virologie Végétale. Aussois, 25-29/1/93, p 75.
- Fargette, D., P.F. McGrath, J.W. McNicol, M.M. Aiton and B.D. Harrison. 1989. Multivariate analysis of antigenic variation among geminivirus isolates associated with cassava mosaic disease. Comptes-Rendus du 4ème Colloque International d'Epidémiologie Virale. 2-9 septembre 1989. Montpellier. France. pp 280-283.
- Fishpool, L.D.C., Burban, C. & Abisgold, J.D. 1989. Ecological studies on the immature stages of the whitefly *Bemisia tabaci* on cassava. Comptes-Rendus du 4ème Colloque International d'Epidémiologie Virale. 2-9 septembre 1989. Montpellier. France, pp 267a-267d.
- Fishpool L. D. C., D. Fargette, C. Fauquet, R. Lecoustre, P. Besson & J-C. Thouvenel. 1990. Aspects of the flight behaviour of the whitefly *Bemisia tabaci* in relation to the spread of African cassava mosaic virus. Actes du British Society for Plant Pathology (Bath, 12-14 décembre), p 17.
- Givord, L., Fargette, D., Kounougnissa, B., Thouvenel, J-C. & Van Regenmortel, M.H.V. 1992. Utilisation d'anticorps monoclonaux dirigés contre le virus de la mosaïque africaine du manioc pour la détection du TYLCV. Quatrième Rencontre de Virologie Végétale. Aussois, 25-29/1/93, p 18.
- Hong, Y., Fargette, D., Swanson, M. M., McGrath, P. F. & B.D. Harrison. 1993. Sequence and epitope variation among coat proteins of tomato leaf curl geminiviruses from different regions. IXth International Congress of Virology. Glasgow, 8-13/8/93.
- N'Guessan, P.N. Fargette, D., Fauquet, C. & J-C. Thouvenel. 1989. Some aspects of the epidemiology of Okra leaf curl in Côte d'Ivoire. Comptes-Rendus du 4ème Colloque International d'Epidémiologie Virale. 2-9 septembre 1989. Montpellier. France, p 284-287.

Mémoires de Diplôme

Besson, P. 1990. Hiérarchisation des méthodes d'analyse épidémiologique de la répartition spatiale d'une maladie de plante. Rapport bibliographique du DEA "Analyse et modélisation des systèmes biologiques". 42 pp.

Besson, M. 1990. Contribution à la modélisation de la propagation d'une maladie transmise par un insecte: répartition spatio-temporelle dans une parcelle de manioc de *Bemisia tabaci* (Homoptera Aleyrodidae), vecteur de la mosaïque africaine du manioc. DEA "Analyse et Modélisation des Systèmes Biologiques".

Burban, C. 1991. Structuration des populations chez un insecte polyphage: *Bemisia tabaci* (Genn.) (Homoptera: Aleyrodidae). Thèse de l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc. 103 pp.

Deng, D. 1991. Studies on geminiviruses and *Ustilago maydis*. Ph.D. thesis, Chinese Academy of Sciences Institute of Microbiology, Beijing.

Fargette, D. 1993. Mémoire de soutenance de l'Habilitation à Diriger des Recherches à l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc. 21 p.

Hong, Y. G. 1990. Molecular biology of rice stripe virus and a cassava virus. Ph.D. thesis, Chinese Academy of Sciences Institute of Microbiology, Beijing.

5. CHRONOLOGIE DU DEROULEMENT DU PROJET

Année 1989

Mars. La première phase du projet (mars-août 1989) a été marquée par la modification, au mois de mai, du statut administratif de la station de recherche d'Adiopodoumé (Côte d'Ivoire) qui entraîne à terme l'arrêt des travaux d'entomologie et de virologie (de laboratoire et de terrain) qui devaient y être conduits. A la suite de discussions avec les partenaires du projet, les responsables de l'ORSTOM et de la CEE, un nouveau schéma de travail permettant d'atteindre les objectifs fixés a été élaboré, proposé, puis adopté. Le schéma retenu prévoit:

1. Poursuite à Adiopodoumé, jusqu'en avril 1990, de l'étude de la biologie de *Bemisia tabaci*.
2. Recherche d'une autre station de recherche ORSTOM où seront poursuivis les travaux d'entomologie.
3. Transfert des travaux "de laboratoire" qui devaient se dérouler à Adiopodoumé et affectation du chercheur qui devait les réaliser au laboratoire de virologie du SCRI.
4. Signature d'un sous-contrat avec le virologue Ivoirien chargé des recherches de virologie "de terrain", dès que la situation administrative de celui-ci aura été clarifiée. A défaut, les sous-contrats avec nos partenaires Burkinabé et Sénégalais seront étendus.

Août. --- Signature du contrat CEE ORSTOM / CIRAD le 18 août.

--- Signature du contrat CEE ORSTOM / ISRA le 21 août.

Septembre. Rencontre le 9 septembre 89 à Montpellier des intervenants du projet CEE (et "d'invités" signalés dans la liste ci-dessous par des astérisques) à l'issue du 4ème congrès d'épidémiologie virale. Au cours de cette réunion, les détails du projet ont été discutés; les recherches et les collaborations prioritaires ont été précisées.

Etaient présents: Abisgold (NRI, Royaume-Uni), Burban (IIRSDA, Côte d'Ivoire), Byrne (Université d'Arizona, USA), M. Fishpool (NRI, Royaume-Uni), Fabres (ORSTOM, France), Fargette (ORSTOM, France), Fauquet (ORSTOM, France), Hainnaux (ORSTOM, France), Harrison (SCRI, Royaume-Uni), Irwin (Université d'Illinois, USA), Konaté (INERA, Burkina-Faso), Lecoustre (CIRAD, France), N'Guessan (IDESSA, Côte d'Ivoire), Thresh (NRI, Royaume-Uni); Etaient excusés: Laterrot (INRA, France), M'Baye (CDH, Sénégal).

Octobre. Signature du contrat CEE ORSTOM / CNRST le 10 octobre 89.

Année 1990

Janvier. --- Signature d'une convention entre l'ORSTOM et le SCRI pour le transfert au SCRI de certains des travaux de virologie prévus à Adiopodoumé.

--- Accord de type "prestation de services" entre l'ORSTOM et la Faculté Nationale de Côte d'Ivoire ayant pour objet l'analyse de la composition en acides aminés et des séquences de géminivirus. Responsable: D. Desbois, CUTI (Cellule Universitaire du Traitement de l'Information).

--- Signature du contrat CEE ORSTOM / INRA le 19 janvier 90.

--- Mission conjointe du 7 au 13 janvier 90 au Burkina-Faso de D. Fargette (ORSTOM), de G. Konaté (CNRST/INERA) et de A. M'Baye (ISRA/CDH).

--- Déplacement de D. Fargette du 14 au 16 janvier 90 à l'IIRSDA (Côte d'Ivoire) à l'issue de la mission précédente; discussions avec L. Fishpool (ODNRI/IIRSDA) et C. Burban (IIRSDA).

Février. Mission conjointe du 18 au 25 février 90 au Sénégal de D. Fargette (ORSTOM) et de A. M'Baye (ISRA/CDH).

Mars. Mission du 21 au 29 mars de L. Fishpool et de J. Abisgold (NRI) au centre ORSTOM de Brazzaville afin d'étudier les caractéristiques de la biologie de *Bemisia tabaci* au Congo.

Mai. Achèvement à Adiopodoumé du premier volet du programme conjoint ORSTOM / NRI de l'étude de la biologie de *Bemisia tabaci* menée par L. Fishpool et par C. Burban.

Juin. --- Mission d'évaluation du projet les 4 et 5 juin, auprès de D. Fargette, de T. Hall (CEE, DG 12) qui supervise le projet à Bruxelles. Entretiens avec B. Harrison.

--- Signature le 10 juin du contrat CEE ORSTOM/IDESSA pour une durée de deux ans. Responsable scientifique : P. N'Guessan.

--- Réunion NRI/ORSTOM le 27 juin à Londres consacrée à une revue générale des programmes sur la mosaïque africaine du manioc et de son vecteur l'aleurode *Bemisia tabaci*.

Etaient présents: Chancellor (NRI), Davis (NRI), Fargette (ORSTOM), Fabres (ORSTOM), Fishpool (NRI), Green (NRI), Harrison (SCRI), Jeger (NRI), Perfect (NRI), Thresh (NRI), Wood (NRI).

Août. --- Venue les 8 et 9 août au SCRI de A. Cornet, Chef du Département MAA de l'ORSTOM. Evaluation générale du projet. Entretiens avec B. Harrison.

--- Soutenance le 31 août du DEA "Analyse et modélisation des systèmes biologiques" de P. Besson. Responsables de stage: R. Lecoustre (CIRAD) et D. Fargette. Directeur scientifique:

M. Debouzie.

Septembre. --- Entretien à Avignon entre H. Laterrot (INRA) et D. Fargette (ORSTOM).
--- Entretien à Montpellier entre R. Lecoustre (CIRAD) et D. Fargette (ORSTOM).
--- Entretien à Montpellier entre A. M'Baye (ISRA), P. N'Guessan (IDESSA), G. Konaté (INERA) et D. Fargette (ORSTOM).

Octobre. --- Installation de C. Burban (ORSTOM) au Laboratoire de Phytovirologie des Régions Chaudes (LPRC) pour la rédaction de sa thèse.

Décembre. --- Entretiens à Bath entre D. Fargette et R. Gibson (NRI), M. Jeger (NRI), J. Perfect (NRI) et M. Thresh (NRI).
--- Signature d'un avenant à la convention ORSTOM/SCRI dans le cadre du projet CEE pour le recrutement d'un technicien de recherche devant travailler avec D. Fargette (ORSTOM).

Année 1991

Février. --- Mission de A. M'Baye (ISRA) au SCRI.
--- Mission de H. Laterrot (INRA) au Sénégal.
--- Mission de P. MacGrath (SCRI) en Afrique de l'Ouest.

Mars. --- Mission de R. Lecoustre (CIRAD), de L. Fishpool (NRI) et de M. Thresh (NRI) auprès de D. Fargette (ORSTOM) et de B. Harrison (SCRI) : discussions des résultats acquis et des opérations à poursuivre.

--- Recrutement pour deux années de M. Leslie, technicien de recherche, pour travailler au SCRI avec D. Fargette (ORSTOM) sur l'étiologie et la variabilité de l'enroulement de la tomate et sur les mécanismes de résistance vis à vis de ce virus.

Juin. Rencontre à Montpellier ORSTOM/NRI entre A. Cornet, G. Fabres, G. Hainnaux, J-C. Thouvenel, D. Fargette d'une part (ORSTOM) et L. Fishpool, M. Jeger et J. Perfect d'autre part (NRI) pour faire le point sur le projet en cours et pour discuter des collaborations à venir entre les deux instituts.

Juillet. Rencontre à Montpellier entre J. Dauzat, R. Lecoustre et Ph. de Rephye (CIRAD) et D. Fargette (ORSTOM) consacrée au dépouillement des résultats acquis et à la définition des analyses à conduire en liaison avec L. Fishpool (NRI). J. Dauzat remplace R. Lecoustre, appelé

à d'autres tâches, pour ces travaux.

Septembre.

--- Participation de D. Fargette (ORSTOM) à la réunion organisée à l'INRA/Avignon par H. Laterrot (INRA) et consacrée à l'étude de la résistance à l'enroulement de la tomate au cours de laquelle il a été présenté une communication.

--- Participation de D. Fargette (ORSTOM) et de B.D. Harrison (SCRI/Université de Dundee) à la réunion organisée à Rothamsted sur les maladies virales transmises par aleurodes au cours de laquelle ont été présentées, entre autres, les études sur les mécanismes de résistance à l'enroulement de la tomate.

--- Visite de D. Fargette au NRI auprès de M. Jeger pour discuter de l'orientation des travaux de modélisation.

--- Discussions entre R. Gibson (NRI) et D. Fargette (ORSTOM) de la poursuite, en Afrique de l'Est, de la collaboration sur la mosaïque africaine du manioc entreprise par les deux instituts en Côte d'Ivoire. La préparation d'un projet CEE regroupant le NRI, l'ORSTOM et les instituts de recherches agronomique d'Ouganda et de Tanzanie a été décidée.

Octobre.

--- Soutenance de la thèse de C. Burban intitulée 'Structuration des populations chez un insecte polyphage : *Bemisia tabaci* (Genn) (Homoptera : Aleyrodidae)'; membres du jury : M. Thaller (Faculté des Sciences), G. Fabres (ORSTOM), C. Fauquet (ORSTOM) et L. Fishpool (NRI). Cette soutenance sanctionne les travaux réalisés à Adiopodoumé de 1986 à 1989 sur les biotypes de *Bemisia tabaci*, travail s'inscrivant dans le cadre du projet CEE en cours. Christian Burban a obtenu le titre de Docteur avec la mention très honorable.

Novembre.

--- Demande officielle de D. Fargette et de l'ORSTOM à T.J. Hall, responsable du projet à la CEE, pour la prolongation d'une année (jusqu'au 1er mai 1993 au lieu du 1er mai 1992) du projet en cours. Cette demande, sans incidence financière et qui n'affecte pas les dates d'échéances propres à chaque sous-contrat, a pour objectif l'achèvement 'en phase' des différents programmes de recherche, notamment ceux menés au SCRI et ceux menés par les partenaires des sous-contrats ayant débuté en retard.

Décembre.

--- Visite au SCRI de M. Thresh (NRI), de W. Otim-Nape (Ouganda) et de M. Shaw (Université de Reading) auprès de D. Fargette (ORSTOM) afin de comparer les caractéristiques des épidémies de mosaïque africaine du manioc en Ouganda et en Côte d'Ivoire.

--- Dépôt du projet CEE intitulé 'The epidemiology and control of African cassava mosaic virus

(ACMV) and the ecology of its whitefly vector (*Bemisia tabaci*) in eastern and southern Africa' au deuxième appel d'offres du programme STD3. Le NRI est le proposant principal, l'ORSTOM un des partenaires associés.

Année 1992

Janvier.

--- Mission de H. Laterrot au Burkina-Faso auprès (entre autres) de G. Konaté (INERA) et au Sénégal auprès de A. M'Baye (ISRA).

Février.

--- Mission de M. Swanson (SCRI) au Burkina-Faso auprès de G. Konaté (INERA).

Avril.

--- Mission de G. Konaté (INERA) à Dundee (Ecosse) auprès de D. Fargette (ORSTOM) et de B.D. Harrison (SCRI).

Mai.

--- Contacts de D. Fargette (ORSTOM) auprès de Y. Escoufier de l'USTL (Montpellier) pour l'accueil d'étudiants au LPRC de son DEA de Biomathématique. Ces étudiants poursuivront, sous la responsabilité conjointe de D. Fargette et de Y. Escoufier, les travaux de modélisation des épidémies de la mosaïque africaine du manioc.

--- Mission de A. M'Baye (ISRA) au Burkina-Faso auprès de G. Konaté (INERA).

Juin.

--- Achèvement du sous-contrat ORSTOM/IDESSA.

Juillet.

--- Départ de D. Fargette du SCRI et affectation au LPRC où il continue d'assurer la coordination générale du projet et poursuit au LPRC les travaux de modélisation des épidémies de la mosaïque africaine du manioc. Un avenant à la convention ORSTOM/SCRI, dans le cadre du projet en cours, est rédigé afin que soient achevés, par Michèle Leslie (SCRI) et sous la responsabilité conjointe de D. Fargette et de B.D. Harrison, les projets en cours, notamment ceux consacrés à la résistance au tomato yellow leaf curl.

--- Participation de D. Fargette (ORSTOM) au cours d'épidémiologie virale du British Council organisé par M. Thresh (NRI). Le modèle épidémiologique de la mosaïque africaine du manioc élaboré au cours de ce projet a été utilisé comme outil pour l'analyse des épidémies virales.

Septembre. Installation de D. Fargette au LPRC à Montpellier.

Août. Achèvement des contrats CEE ORSTOM/CIRAD et ORSTOM/ISRA.

Octobre. Achèvement du contrat CEE ORSTOM/CRST.

Décembre. Extension (sans incidence financière) de la composante ORSTOM du projet jusqu'au 31 décembre 1993 (au lieu du 31 mai 1993) afin d'achever les travaux de modélisation.

Année 1993

Janvier. Achèvement du contrat CEE ORSTOM/INRA.

Mars. Recrutement de K. Vié, ingénieur en bio-modélisation, pour une vacation de 8 mois, afin de faciliter l'achèvement des travaux de modélisation des épidémies de la mosaïque africaine du manioc.

Avril. Achèvement du contrat CEE ORSTOM/SCRI.

Décembre. Achèvement du projet CEE STD2 intitulé "les maladies virales transmises par aleurodes en Afrique de l'Ouest" et rédaction du rapport de synthèse.

6. ORGANISATION DU PROJET

Un projet réunissant pendant près de cinq ans des chercheurs de 10 instituts localisés dans 5 pays est par nature complexe à gérer. S'y ajoutent les aléas propres aux programmes de recherche, certains se développant dans des directions nouvelles, d'autres se heurtant à des difficultés inattendues. Il y a enfin les modifications des modalités de recherche. Aussi, réorganisations et prolongations au cours du projet ont-elles été nécessaires. A l'issue des programmes, il est possible d'affirmer qu'elles ont été couronnées de succès. En effet, les prolongations ont permis successivement l'achèvement "en phase" des différents sous-contrats et l'achèvement des programmes de résistance variétale, puis l'achèvement des programmes de modélisation. Les redéploiements ont permis de mener l'ensemble des programmes dans des conditions satisfaisantes, en dépit de la fermeture à mi-parcours de la station de recherches d'Adiopodoumé. La souplesse de gestion autorisée et facilitée par les responsables de la CEE et des différents instituts impliqués aura donc permis de mener à son terme et dans de bonnes conditions ce projet ambitieux.

1. Mars 1989 - Juin 1990.

- Etude des viroses transmises par aleurodes. INERA, Burkina-Faso; ISRA, Sénégal.
- Etiologie, détection, caractérisation et variabilité des géminivirus. SCRI, Royaume-Uni
- Biologie de *Bemisia tabaci*. Centre IRSDA/ORSTOM d'Adiopodoumé, Côte d'Ivoire.
- Modélisation de l'architecture des maniocs maladies. CIRAD, France.
- Amélioration variétale contre l'enroulement de la tomate. INRA, France.

2. Juillet 1990 - août 1992.

- Etude des viroses transmises par aleurodes. INERA, Burkina-Faso; ISRA, Sénégal; IDESSA, Côte d'Ivoire.
- Classification des géminivirus d'après leur CAA. Faculté d'Abidjan, Côte d'Ivoire.
- Etiologie, détection, caractérisation et variabilité des géminivirus. SCRI, Royaume-Uni
- Modélisation des épidémies de la mosaïque africaine du manioc. SCRI, Royaume-Uni.
- Modélisation de l'architecture des maniocs maladies. CIRAD, France.
- Amélioration variétale contre l'enroulement de la tomate. INRA, France.
- Mécanismes de résistance à l'enroulement de la tomate. SCRI, Royaume-Uni.
- Achèvement du programme sur la biologie de *Bemisia tabaci*. NRI, Grande-Bretagne.

3. Septembre 1992 - décembre 1993.

- Achèvement échelonné des différents programmes.





34980 St-Géry-du-Fesc - Tél. 67 84 27 66

