

UD 06328 → 06332

L'AGRONOMIE TROPICALE

RIZ ET RIZICULTURE
ET CULTURES VIVRIÈRES TROPICALES

INSTITUT DE RECHERCHES AGRONOMIQUES TROPICALES ET DES CULTURES VIVRIÈRES

1977

N° 2

AVRIL - JUIN

L'AGRONOMIE TROPICALE XXXII 1977 N° 2 AVRIL - JUIN

Contents

ARTICLES

Relationship between the hydric properties, organic matter and amorphous substances in the soils developed on basaltic material in the humid tropics. G. LOYNET	115
Automatization of silica colorimetric determination. R. OLIVER (collaboration with M. GOUDIABI)	121
Compared experimental improvements of the cation exchange capacity of a highly sandy soil of Senegal by applications of organic matter, goëthite and monocalcium phosphate. C. PIERI	127
Adaptation of soil conservation methods to the ecological and socio-economic conditions of West Africa. E.J. ROOSE	132
Heterosis: physiological approach and prospects. A. BERVILLE	141
Maize improvement and genetic variability. S. RAUTOU	148
Note on the development of an african maize composite. J.L. MARCHAND	158
Farm size and agricultural modernization in Wolof Saloum environment (Senegal). P. KLEENE, Y. BIGOT	163
<i>Eldana saccharina</i> Walker. Rearing method on artificial diet and laboratory observations on its biology. M. BETBEDER-MATIBET, J. COQUARD, D. BORDAT	174

REVIEW PAPERS NOTES AND NEWS

Study of a strain of the sugar-cane mosaic virus (the end). P. BAUDIN	180
A maize complex hybrid in Ivory Coast: IRAT Z 81	205
Millet varieties proposed by IRAT in Niger	207

INFORMATION

IRAT and maize	208
----------------------	-----

DOCUMENTATION

Basic documentation	213
Abstracts	215

Sumario

ESTUDIOS Y TRABAJOS

Relación entre las propiedades hídricas, la materia orgánica y las sustancias amorfas en suelos sobre materiales basálticos con clima tropical húmedo. G. LOYNET	115
Adaptación de la dosificación colorimétrica del sílice al auto-analizador. R. OLIVER con la colaboración técnica de M. GOUDIABI	121
Mejoramientos experimentales comparados de la capacidad de intercambio catiónico de un suelo muy arenoso del Senegal, obtenidos por aportaciones de materia orgánica, de goëtita, y de fosfato monocalcico. C. PIERI	127
Adaptación de los métodos de conservación de los suelos a las condiciones ecológicas y socioeconómicas del Africa Occidental. E.J. ROOSE	132
La heterosis : enfoque fisiológico y perspectivas. A. BERVILLE	141
Mejoramiento del maíz y variabilidad genética. S. RAUTOU	148
Nota sobre la creación de un compuesto de maíces africanos. J.L. MARCHAND	158
Dimensiones de las explotaciones y modernización agrícola en medio Wolof Saloum (Senegal). P. KLEENE, Y. BIGOT	163
<i>Eldana saccharina</i> Walker. Técnica de cría en medio artificial y observaciones sobre su biología en laboratorio. M. BETBEDER-MATIBET, J. COQUARD, D. BORDAT	174

SINTESIS NOTAS Y ACTUALIDADES

Estudio de una estirpe del virus del mosaico de la caña de azúcar (el fin). P. BAUDIN	180
Un híbrido complejo de maíz en Costa de Marfil : IRAT Z 81	205
Variedades de mijo propuestas por el IRAT en el Niger	207

NOTICIAS

IRAT y el maíz	208
----------------------	-----

DOCUMENTACION

Obras generales	213
Bibliografía analítica	215

Les auteurs sont priés de se conformer, pour la rédaction et la présentation de leurs manuscrits, aux règles adoptées par l'IRAT et qui leur seront fournies sur simple demande de leur part.

Summaries

LOYNET (G.). — Relationship between the hydric properties, organic matter and amorphous substances in the soils developed on basaltic material in the humid tropics.

Some hydric characteristics (moisture storage capacity, wilting point, readily available moisture) and analytic characteristics (content of organic matter and hydrated and amorphous silico-alumino-ferriferous substances) were determined on 33 samples of soils developed on basaltic material from Reunion, Martinique and Guadeloupe.

These samples belonged to three groups of soil: andosols, allophane soils and brown soils. They showed higher contents of amorphous substances than their counterpart under temperate climate, more particularly alumina and amorphous iron contents. The water status, related to the organic and/or amorphous fraction showed close relationships with these factors alone or in association. The prevailing role played by the organic matter in these liaisons could be seen.

Key words : andosols, allophane soils, brown soils, hydric properties, amorphous substances, basaltic material, humid tropical, climate, Reunion, Martinique, Guadeloupe.

OLIVER (R.). — Automatization of silica colorimetric determination.

The author describes the method used to automatize the manual determination of silica after reducing the silicic molybdic complex. The results obtained are satisfactory and the method sensitiveness is 0.5 mg/l.

The interference study shows that determination is sensible for phosphorus contents higher than 130 mg/l and acidity higher than 0.3N. By studying phosphorus interference it is possible to determine more precisely the coexistence conditions of silicic and phosphomolybdic complexes.

Key words: automatization, silica determination-colorimetry, phosphorus content, pH.

PIERI (G.). — Compared experimental improvements of the cation exchange capacity of a highly sandy soil of Senegal by applications of organic matter, goethite and monocalcium phosphate.

In a laboratory experiment it was possible to increase significantly (to double) the cation exchange capacity (CEC) of a highly sandy soil in Senegal by applying both goethite and monocalcium phosphate. Under the same experimental conditions, large applications of organic matter (powdered maize leaves) did not result in so significant an increase in the CEC after 60 days of incubation in the soil.

The interest and practical implication of these results are briefly discussed.

Key words: amendment, cation exchange capacity, organic matter, goethite, monocalcium phosphate, sand, Senegal.

ROOSE (E.J.). — Adaptation of soil conservation methods to the ecological and socio-economic conditions of West Africa.

By using WISCHMEIER's equation to analyse over 500 annual results of erosion measurements from about 20 stations distributed in West Africa it was possible to determine the cause and to show the relative importance of the various erosion factors. It results that the biological methods of soil conservation are much more efficient and adapted to the ecological and socio-economic conditions of these humid tropical regions than the expensive methods of banking.

Key words: erosion measurement, WISCHMEIER equation, biological conservation methods, banking methods, West Africa.

BERVILLE (A.). — Heterosis: physiological approach and prospects.

Heterosis is described as a global phenomenon which is inaccessible to biochemical analysis as a whole. But the originality of fragmentary approaches through the different basic functions of metabolism is a source of methods usable for breeding. Some general data allow to determine more precisely the choice position of the cellular organoids, with their functional specialization, and as an intersection of nuclear and cytoplasmic information.

Through the bibliography it is possible to size up present experimental results and the prospects which can be expected in practice.

A concrete case is discussed from the results obtained on palm-tree.

Many unsolved questions are formulated; they will direct future research to create early markers of hybrid vigor.

Key words: heterosis, hybrid vigor, functional specialization, nuclear information, cytoplasmic information, selection.

RAUTOU (S.). — Maize improvement and genetic variability.

Present progresses in maize variety improvement are almost stationary.

This results partly from the limited genetic variability of the plant material used.

As the breeder looks for an increased and regular yield the author briefly mentions the relationship between these two parameters and the mode of operation of the genes. Among the latter, the additive genic mode is the most efficient; it is found mainly in plant material of wide genetic base.

Then the author suggests methods both to improve the genetic variability of a plant material by increasing the interesting genotype frequency, more particularly by using recurrent selection, and to extend the genic variability by various means i.e. genic introgression, crossing with exotic populations, mutagenesis and possibly protoplasmic fusion.

He points out how important is the maintenance and conservation of the genic and cytoplasmic variability of the available plant material.

Further research must be carried out with a view to identifying more efficiently the genotype and cytoplasmic constitution of the plant material, particularly by physiologic processes other than the sexual process. The author mentions several examples which illustrate the various trends of research.

Key words: maize, selection methods, genetic stability, additive genic mode, recurrent selection, genic introgression, exotic population, mutagenesis, protoplasmic fusion.

MARCHAND (J.L.). — Note on the development of an african maize composite.

IRAT undertook to develop a composite of african maize and to improve it on a regional basis.

The reasons of this work are explained and the method used is described.

Key words: african maize composite, regional basis, development method.

KLEENE (P.), BIGOT (Y.). — Farm size and agricultural modernization in Wolof Saloum environment (Senegal).

A method to classify farms is described. It is based on the criterion of socio-demographic size, considered as an independent variable. By crossing this variable with modernization variables it is possible to evaluate the rate of technical innovation adoption among the various farmer classes. When applied to the experimental units this method shows that it is simple. It was quantitatively explained that extension programmes must be more directed to small—and average—scale farms.

Key words: farms, socio-demographic size, modernization, technical innovation, experimental units, Senegal.

BETBEDER-MATIBET (M.), COQUARD (J.), BORDAT (D.). — *Eldana saccharina* Walker. Rearing method on artificial diet and laboratory observations on its biology.

The author describes a method for rearing *Eldana saccharina* Walker, a stem borer of sugar-cane in Africa, on artificial diet.

It is possible by using this method to multiply readily the species in laboratory without vegetable substrate.

The author reports on some biological observations on the cycle of the pest reared under the same artificial conditions.

Key words: *Eldana saccharina*, sugar-cane pest, laboratory rearing, artificial diet, biology.

BAUDIN (P.). — Study of a strain of the sugar-cane mosaic virus.

In order to purify a strain of the sugar-cane mosaic virus isolated in Madagascar and called "Ampefy" (SCMV-Ampefy) a purification method was further developed. Various physicochemical characteristics were determined, and more particularly the molecular weight of the proteinic sub-unit of 34,000. The virus particles aggregated at pH 4.5.

The serologic relationship of the Ampefy strain with the american strains of SCMV and maize dwarf mosaic virus were studied. SCMV-Ampefy was closely related to SCMV-A, B and D strains. Contrarily a very low precipitate was observed with SCMV-H. SCMV-Ampefy is therefore closely related to the serotype made up of the A, B and D strains. A method of passive agglutination of latex made it possible to obtain precipitate from non purified plant extracts at contents of 0.2, 10^{-6} g/ml, which is near the infectious capacity.

The biological properties of the strain were specified according to the temperature. On susceptible sugar-cane and maize mosaic was found at all temperatures. Mosaic was also observed on sorghum varieties with "nn" alleles susceptible to MDMV. On the

sorghum varieties with a dominant "N" allele of necrosis to MDMV infection, either local necrosis on the inoculated leaves or red stripes similar to those described as sorghum red stripe virus were observed.

It is not possible to determine the virus rate in the local necrosis hosts (Redlan, NM 31). Thus a quantitative test was looked for. For this purpose the probability for a plant to remain healthy was studied. The best alignment of the experimental points was obtained by using Probit's distribution. Using this method the virus disease development was studied at four temperatures: 15°, 20°, 25°, 30 °C. The development was optimum between 16 and 20 °C.

At 30 °C, multiplication was rapid but the virus was not stable. From these studies various conclusions could be drawn on control in Madagascar, the quarantine problems and the determination of virus strains on sorghum with necrotic characters.

Key words: sugar-cane, virus, mosaic Ampefy strain, purification methods, physicochemical characters, biology, serology, hosts: maize, sorghum, quantitative test.

Resúmenes

LOYNET (G.). — Relación entre las propiedades hídricas, la materia orgánica y las sustancias amorfas en suelos sobre materiales basálticos con clima tropical húmedo.

Algunas características hídricas (capacidad de retención, punto de marchitez, agua útil) y analíticas (índices de materia orgánica y de sustancias silico-alumino-ferríferas hidratadas y amorfas) se han determinado sobre 33 muestras de suelos desarrollados sobre materiales basálticos, procedentes de la Reunión, de la Martinica y Guadalupe.

Estas muestras pertenecen a tres grupos de suelos: Andosuelos, suelos ándicos y suelos pardos. Presentan contenidos de sustancias amorfas más elevados que sus homólogos de clima templado, sobre todo de aluminio y hierro amorfo. Los estados del agua, relacionados con la fracción orgánica y (o) amorfa, descubren relaciones estrechas con dichos factores tomados aisladamente o en asociación. Se observa el papel preponderante de la materia orgánica en estas relaciones.

Palabras-Clave: andosuelos, suelos ándicos, suelos oscuros, propiedades hídricas, materia orgánica, sustancias amorfas, material basáltico, clima tropical húmedo, Reunión, Martinica, Guadalupe.

OLIVER (R.), (con la colaboración técnica de GOUDIABI (M.). — Adaptación de la dosificación colorimétrica del sílice al auto-analizador.

Describe el autor el método seguido para automatizar la dosificación manual del sílice, previa reducción del complejo silico-molibdico. Los resultados obtenidos son satisfactorios y la sensibilidad del método es de 0,5 mg/l. El estudio de las interferencias muestra que la dosificación es sensible a contenidos de fósforo superiores a 130 mg/l y a una acidez superior a 0,3 N. El estudio de la interferencia del fósforo permite precisar las condiciones de coexistencia de los complejos silíceos y fosfo-molibdicos.

Palabras-Clave: automatización, dosificación sílice-colorimetría, contenido fósforo, pH.

PIERI (G.). — Mejoramientos experimentales comparados de la capacidad de intercambio catiónico de un suelo muy arenoso del Senegal, obtenidos por aportaciones de materia orgánica, de goetita, y de fosfato monocálcico.

Se ha conseguido, en una experiencia de laboratorio, aumentar de forma significativa (doblar) la CEC de un suelo muy arenoso de Senegal, gracias a aportaciones minerales asociadas de Goetita y de fosfato monocálcico. En las mismas condiciones experimentales, aportaciones masivas de materia orgánica (hojas de maíz convertidas en polvo) no han producido, después de 60 días de incubación en el suelo, un aumento tan importante de la CEC de este último.

Se discuten brevemente el interés y el alcance de estos resultados.

Palabras-Clave: corrección, capacidad intercambio de cationes, materia orgánica, goetita, fosfato monocálcico, arenas, Senegal.

ROOSE (E.J.). — Adaptación de los métodos de conservación de los suelos a las condiciones ecológicas y socioeconómicas del África Occidental.

El análisis mediante la ecuación de WISCHMEIER de más de 500 resultados anuales de medida de la erosión observada en una veintena de estaciones repartidas por África Occidental ha permitido localizar la causa y mostrar la relativa importancia de los diferentes factores de erosión. De todo ellos se deduce que los métodos biológicos de conservación de los suelos son mucho más eficaces y mejor adaptados a las condiciones ecológicas y socioeconómicas de estas regiones tropicales húmedas que los costosos métodos de remoción de tierras.

Palabras-Clave: medida erosión, ecuación Wischmeier, métodos biológicos conservación, métodos de remoción de tierras, África Occidental.

BERVILLE (A.). — La heterosis, fisiológicos y perspectivas.

La heterosis se presenta como un fenómeno global inaccesible al análisis bioquímico en su conjunto. En contrapartida la originalidad de los enfoques fragmentarios por las diferentes funciones de base del metabolismo da origen a métodos utilizables en selección.

Algunos datos generales permiten precisar la situación privilegiada que presentan los organitos celulares por su especialización funcional y como intersección de las informaciones nucleares y citoplásmicas.

Una bibliografía permite situar los resultados experimentales y extraer las perspectivas que cabe esperar de ellos en la práctica. Se examina un caso concreto a partir de los resultados obtenidos en Palmera de aceite.

Se formulan numerosos interrogantes que quedan sin respuesta. Ellas orientarán las futuras investigaciones para obtener marcadores precoces del vigor híbrido.

Palabras-Clave: heterosis, vigor híbrido, especialización funcional, informaciones nucleares, informaciones citoplásmicas, selección.

RAUTOU (S.). — Mejoramiento del maíz y variabilidad genética.

Los progresos actuales en el mejoramiento varietal del maíz son casi estacionarios. Esto es debido en parte a la estrechez de la variabilidad genética del material vegetal empleado.

Siendo el crecimiento del nivel de rendimiento y su regularidad los objetivos pretendidos por el seleccionador, el autor indica brevemente las relaciones existentes entre ambos parámetros y los modos de acción de los genes. Entre estos últimos el más eficaz es el modo génico aditivo, que se manifiesta sobre todo en el material vegetal con base genética amplia.

El autor propone a continuación métodos, por un lado para mejorar la variabilidad genética de un material vegetal aumentando la frecuencia de genotipos interesantes, en particular utilizando el método de la selección recurrente y por otro lado para ampliar la variabilidad genética por medios como: introgresión genética, por cruzamiento con poblaciones exóticas, mutagénesis y eventualmente fusión protoplásmica. Luego subraya la importancia de mantener y conservar las variabilidades génicas y citoplásmicas del material vegetal disponible.

Debe desarrollarse la investigación de los métodos que tienden a identificar más eficazmente las constituciones genotípicas y citoplásmicas del material vegetal, sobre todo por procedimientos fisiológicos distintos del proceso sexual. El autor cita varios ejemplos que ilustran diversas orientaciones dadas a estas investigaciones.

Palabras-Clave: maíz, métodos de selección, estabilidad genética, modo genético aditivo, selección recurrente, introgresión genética, población exótica, mutagénesis, fusión protoplásmica.

MARCHAND (J.L.). — Nota sobre la creación de un compuesto de maíces africanos.

El IRAT ha emprendido la creación de un compuesto de maíces africanos y su mejoramiento sobre una base regional. Se exponen las razones de este trabajo y se describe la técnica empleada para crear el compuesto.

Palabras-Clave: maíz africano, compuesto, base regional, método de creación.

KLEENE (P.), BIGOT (Y.). — Dimensiones de las explotaciones y modernización agrícola en medio Wolof Saloum (Senegal).

Se presenta un método de clasificación de las explotaciones agrícolas. Está basado en el criterio de dimensión socio-demográfica, considerada como variable independiente. El cruce de dicha variable con variables de modernización permite evaluar los índices de penetración de las innovaciones técnicas entre las diferentes categorías de campesinos. La aplicación del método al caso de las Unidades experimentales manifiesta su simplicidad. Se explicita cuantitativamente la necesidad de orientar más los programas de divulgación hacia las explotaciones pequeñas y medianas.

Palabras-Clave: explotaciones agrícolas, dimensión socio-demográfica, modernización, innovaciones técnicas, Unidad experimental, Senegal.

BETBEDER-MATIBET (M.), con la asistencia de COQUARD (J.) y BORDAT (D.). — *Eldana saccharina* Walker. Técnica de cría en medio artificial y observaciones sobre su biología en laboratorio.

Describe el autor una técnica de cría en medio nutritivo artificial, de *Eldana saccharina* Walker, perforador de tallos de caña de azúcar en África. Dicha técnica permite multiplicar fácilmente la especie en el laboratorio sin sustrato vegetal.

Figuran, por otro lado, en este artículo, algunas observaciones biológicas sobre el ciclo de este destructor criado en las mismas condiciones artificiales.

Palabras-Clave : *Eldana saccharina*, parásito de la caña de azúcar, cría en laboratorio, medio nutritivo artificial, biología.

BAUDIN (P.). — Estudio de una estirpe del virus del mosaico de la caña de azúcar.

Se ha especificado un método de purificación para aplicarlo a una estirpe del virus del mosaico de la caña de azúcar, aislada en Madagascar, llamada estirpe "Ampefy" (SCMV-Ampefy). Se detallan diversas características fisicoquímicas, en particular el peso molecular de la sub-unidad proteínica de 34.000. Las partículas virales se agrupan con pH 4,5.

Se estudian los parentescos serológicos de la estirpe Ampefy con las estirpes americanas de SCMV y de Maize Dwarf Mosaic Virus). SCMV-Ampefy es próximo a las estirpes SCMV-A, B y D. En cambio, se observa un precipitado muy débil con MDMV-Ay y no se observa ningún precipitado con SCMV-H. SCMV-Ampefy es pues próximo al serotipo constituido por el conjunto de las familias A, B y D. Un método de aglutinamiento pasivo del latex permite observar precipitados a partir de extractos de plantas no purificadas con contenido de $0,2 \cdot 10^{-8}$ gr/ml, lo cual es ya cercano al poder infeccioso.

Se precisan en función de la temperatura las propiedades biológicas de la familia. En caña de azúcar y maíz sensibles se observan mosaicos a todas las temperaturas. También se observan mosaicos en las variedades de sorgo que contienen los alelos "nn" de sensibilidad al MDMV. En las variedades de sorgo que contienen un alelo dominante "N" de necrosis a la infección del MDMV, se observan, o bien necrosis locales en las hojas inoculadas, o estrias rojas semejantes a las descritas bajo el nombre de Sorghum Red Stripe Virus.

Los receptores de necrosis locales (Redlan, NM 31) no permiten dosificar el virus. Se ha intentado hallar también un test cuantitativo. Para ello se estudia la probabilidad de una planta de permanecer sana. Empleando una distribución de Probit se obtiene la mejor alimentación de los puntos experimentales. Partiendo de este método, se estudia el desarrollo de la virosis en función de cuatro temperaturas : 15°, 20°, 25°, 30°. Dicho desarrollo es óptimo entre 16° y 20°. A 30°, la multiplicación es rápida pero el virus no es estable.

De estos estudios se sacan varias conclusiones relativas a la lucha en Madagascar, los problemas de cuarentena y la determinación de las familias virales en los sorgos con caracteres necróticos.

Palabras-Clave : caña de azúcar, virus, mosaico familia Ampefy, métodos de purificación, características físico-químicas, biología, serología, receptores : maíz, sorgo, test cuantitativo.

L'AGRONOMIE TROPICALE

Publication trimestrielle

INSTITUT DE RECHERCHES AGRONOMIQUES TROPICALES ET DES CULTURES VIVRIERES

Direction, Rédaction : 110, rue de l'Université - 75340 Paris Cedex 07 - Tél. : 550-32-10

Volume XXXII - Numéro 2

Avril - Juin 1977

COMITÉ DE RÉDACTION

Président :

M. ROSSIN, Ancien Directeur Général au Ministère de l'Agriculture.

Vice-Présidents :

M. CÉPÈDE, Président du Comité Interministériel pour l'alimentation et l'agriculture.

G. HUET, Ingénieur agronome.

Membres :

F. BOUR, Directeur Général de l'IRAT.

G. AUBERT, Chef de la Section des sols (ORSTOM)

C. UZUREAU, Directeur p. i. du CEEMAT.

J. BUSTARRET, Directeur Général honoraire de l'INRA.

G. CAMUS, Directeur Général de l'ORSTOM.

R. CATINOT, Directeur Général du CTFE.

J. CONNEAU, Représentant les successeurs d'Alphonse DENIS fondateur de la revue "Riz et Riziculture".

R. COSTE, Directeur Général de l'IFCC.

J. FLEURY, Directeur Général de l'IRHO.

A. CHAVANCY, Inspecteur Général de l'Agriculture Outre-Mer.

P. ROCHE, Directeur du GERDAT à Montpellier.

A. PROVOST, Directeur Général de l'IEMVT.

H. VERNÈDE, Commissaire du Gouvernement.

COMITÉ DE LECTURE

Le Comité de lecture est composé des membres du Comité de rédaction auxquels sont invités à se joindre les Chefs de Division de l'IRAT et des personnalités du monde scientifique intéressées.

Sommaire

ETUDES ET TRAVAUX

Relations entre les propriétés hydriques, la matière organique et les substances amorphes dans les sols sur matériaux basaltiques en climat tropical humide. G. LOYNET	115
Adaptation à l'auto-analyseur du dosage colorimétrique de la silice. R. OLIVER (avec la collaboration technique de M. GOUDIABI)	121
Améliorations expérimentales comparées de la capacité d'échange cationique d'un sol très sableux du Sénégal, obtenu par des apports de matière organique, de goëthite et de phosphate monocalcique. C. PIERI	127
Adaptation des méthodes de conservation des sols aux conditions écologiques et socio-économiques de l'Afrique de l'Ouest. E.J. ROOSE	132
L'hétérosis : approches physiologiques et perspectives. A. BERVILLE	141
Amélioration du maïs et variabilité génétique. S. RAUTOU	148
Note sur la création d'un composite de maïs africains. J.L. MARCHAND	158
Dimensions des exploitations et modernisation agricole en milieu Wolof-Saloum (Sénégal). P. KLEENE et Y. BIGOT	163
<i>Eldana saccharina</i> , Walker : Technique d'élevage sur milieu artificiel et observations sur sa biologie en laboratoire. M. BETBEDER-MATIBET, J. COQUART et D. BORDAT	174

SYNTHESES, NOTES ET ACTUALITES

Etude d'une souche du virus de la mosaïque de la canne à sucre (fin). P. BAUDIN	180
Un hybride complexe de maïs en Côte-d'Ivoire : IRAT Z 81	205
Variétés de mil proposées par l'IRAT au Niger	207

INFORMATIONS

L'IRAT et le maïs	208
-------------------------	-----

DOCUMENTATION

Ouvrages généraux	213
Bibliographie analytique	215

ABONNEMENTS 1977 (en Francs)

	Abonnement annuel	Documentation analytique	Fascicule séparé
France, Etats francophones d'Afrique et Madagascar ...	100	15	30
Autres Pays	125	17	35

PUBLICITÉ (S'adresser à l'IRAT à Paris)

© 1977 - IRAT - Tous droits de traduction, de reproduction et d'adaptation réservés pour tous pays



BOUAKE (Côte d'Ivoire). Culture en courbes de niveau

Cliché : BERTRAND

ETUDES ET TRAVAUX

RELATIONS ENTRE LES PROPRIETES HYDRIQUES, LA MATIERE ORGANIQUE ET LES SUBSTANCES AMORPHES DANS LES SOLS SUR MATERIAUX BASALTIQUES EN CLIMAT TROPICAL HUMIDE *

par G. LOYNET **

RESUME. — Certaines caractéristiques hydriques (capacité de rétention, point de flétrissement, eau utile) et analytiques (taux de matière organique et des substances silico-alumino-ferrifères hydratées et amorphes) ont été déterminées sur 33 échantillons de sols développés sur des matériaux basaltiques et provenant de La Réunion, de la Martinique et de la Guadeloupe.

Ces échantillons appartiennent à trois groupes de sols : andosols, sols andiques et sols bruns. Ils présentent des teneurs en substances amorphes plus élevées que leurs homologues de climat tempéré, en particulier en alumine et fer amorphe. Les états de l'eau, reliés à la fraction organique et (ou) amorphe, font apparaître des liaisons étroites avec ces facteurs pris isolément ou en association. On constate le rôle prépondérant de la matière organique dans ces liaisons.

Mots-clé : andosols, sols andiques, sols bruns, propriétés hydriques, matière organique, substances amorphes, matériau basaltique, climat tropical humide, Réunion, Martinique, Guadeloupe.

INTRODUCTION

Les caractéristiques hydriques des andosols ou des sols « dérivés de cendres volcaniques », selon la terminologie de la FAO-UNESCO (1964) sont très particulières. On attribue en général aux **andosols** une capacité de rétention pour l'eau très élevée : 300 % pour les andosols perhydratés en milieu tropical, F. COLMET-DAAGE et al. (1967), GALBAN (1973), 70 % pour les andosols en milieu tempéré - P. BONFILS et J. MOINEREAU (1971). D'après S. AOMINE et H. OTSUKA (1968), cette forte capacité de rétention pourrait s'expliquer par la valeur très élevée de la surface spécifique des « allophanes ». P. BONFILS et J. MOINEREAU (1971), qui ont étudié en détail les propriétés physiques des **andosols** et des **sols bruns andiques** au sud du Massif Central, ont mis en évidence que l'eau pondérale (exprimée en g pour 100 g de terre séchée à 105°) est en relation avec le rapport limon fin sur argile dans les **sols bruns**

andiques et avec les teneurs en matière organique dans les **andosols**. L'action des substances amorphes (allophanes, hydroxydes de fer et d'aluminium) est nette sur les différents états de l'eau, mais peu significative sur la disponibilité des réserves en eau.

La présente étude tente de vérifier l'existence de relations analogues sur une gamme de sols développés sur cendres ou scories volcaniques en milieu tropical.

MATERIEL ET METHODES

LES SOLS

Les sols proviennent des îles de la Réunion, de Martinique et de Guadeloupe. Ils dérivent tous de matériaux basaltiques riches en éléments vitreux, scories grossières ou cendres volcaniques.

* Mémoire du stage effectué en 1974-1975 au Laboratoire de science du sol de l'ENSAM.

** LOYNET (G.), Ingénieur assistant à l'IRAT-Réunion.

Au total, 33 échantillons ont été étudiés, représentant trois groupes de sols : andosols, sols andiques et sols bruns, d'après certaines valeurs seuil établies en climat tempéré par J. MOINEREAU (1974), (tableau I). A la Réunion, l'existence de ces sols apparaît étroitement liée au climat et nous indiquons ci-après les principaux facteurs climatiques qui conditionnent leur maintien dans la région sud et sud-ouest de l'île :

— **Andosols** (groupe désaturé perhydraté) : ce sont des sols d'altitude (1.000 à 2.000 m), la pluviométrie est forte (supérieure à 1.500 mm) et la majeure partie des pluies tombe au cours des mois d'été ; mais les températures sont relativement basses (10 °C à 20 °C) avec des gelées fréquentes en hiver ; les brouillards d'origine orographique sont nombreux ; en conséquence, l'insolation est faible (1.500 heures par an).

— **Sols andiques** : ils sont situés à une altitude intermédiaire (600 à 1.000 m). La pluviométrie est élevée (1.500 mm) mais mal répartie et les températures comprises entre 15 °C et 22 °C. La nébulosité élevée a la même origine orographique, et l'insolation est d'environ 1.500 heures par an.

— **Sols bruns** : ils occupent la frange littorale jusqu'à une altitude de 400 à 600 m. La pluviométrie plus faible atteint 1.000 à 1.200 mm, avec une mauvaise répartition. Les températures moyennes y sont élevées (20 °C à 26 °C), l'insolation est importante (2.700 à 2.800 heures par an).

Cette séquence climatique est typique de la région sous le vent (Sud et Sud-Ouest de l'île) et correspond à celle des échantillons étudiés. Il est intéressant de noter que dans la zone au vent (Nord et Nord-Est de l'île) qui est nettement plus arrosée, même à basse altitude, et sans saison sèche marquée, les **andosols perhydratés** se retrouvent pratiquement au niveau de la mer (BERTRAND, 1972).

Comparés à leurs homologues européens (MOINEREAU, 1974), ces sols présentent de grandes similitudes pour les valeurs du pH eau et du pH Na F et pour la teneur en matière organique dans le profil, mais ils se différencient nettement par une plus grande abondance de la fraction amor-

phe (tableau I) : jusqu'à trois fois celle de leurs homologues européens. Dans les **andosols perhydratés** de climat tropical, l'alumine amorphe est plus abondante (10 % contre 7 %) ; dans les **sols andiques**, ce sont le fer et l'alumine amorphe (29 % contre 11 %) et dans les **sols bruns**, l'ensemble de la fraction amorphe (23 % contre 15 %).

METHODES

Les déterminations hydriques ont porté sur l'humidité au point de flétrissement (HF) et sur l'humidité à la rétention (HR). L'humidité au point de flétrissement a été définie comme l'humidité à pF 4,2 obtenue à la presse à plaque (RICHARDS, 1953 ; P. BONFILS, 1967). La détermination de l'humidité à la rétention a été réalisée selon la méthode B. de DOLGOV (1962), décrite par A. FEDOROFF et R. BETREMIEUX (1964) et par l'interprétation des courbes de pF-humidité établies à la presse à plaque pour les valeurs de pF supérieures à 2,0 et à l'aide de cellules SOIL MOISTURE (DIERICKX, 1974) pour les valeurs comprises entre la saturation et pF 2,0.

Les pH eau et Na F ont été mesurés pour un rapport eau/sol égal à 2,5 et en ajoutant 1 g de Na F pur en poudre. La fraction organique est obtenue en multipliant le taux de carbone organique (ANNE) par 1,72. Les produits minéraux amorphes ont été dosés selon la méthode de dissolution sélective simplifiée mise au point par J. MOINEREAU (1974), à partir de la méthode SEGALIN et DUCHAUFOR-SOUCHIER. Les valeurs sont exprimées par rapport à la terre fine séchée à 105 °C après déduction de la matière organique.

RESULTATS - DISCUSSION

HUMIDITE A LA RETENTION

Détermination du pF à la rétention.

La détermination de ce point a soulevé quelques difficultés. Les courbes de pF-humidité établies à la presse à plaque sur tous les échantillons n'ont mis en évidence aucun point caractéristique, correspondant à une zone de plus grande rétention de l'eau.

Tableau I

DETERMINATIONS HYDRIQUES ET CARACTERES ANALYTIQUES DE QUELQUES SOLS DERIVES DE MATERIAUX BASALTIQUES EN CLIMAT TROPICAL

	pH Eau	pH Na F	H R (%)	H F (%)	H U (%)	M O (%) en surface	M O en B (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ + Al ₂ O ₃ (%)	Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ (%)
Andosols (groupe désaturé (perhydraté) (11 échantillons)	4,8	9,9	164,1	86,6	77,5	20,2	13,3	6,9	9,7	9,2	16,6	18,9	25,8
Sols andiques (5 échantillons)	6,1	9,5	62,5	39,6	22,9	6,6	3,0	4,8	10,0	19,1	14,8	29,1	33,9
Sols bruns (17 échantillons)	6,7	8,8	37,4	24,6	18,8	3,4	0,9	4,9	5,4	12,3	10,3	17,7	22,6

Deux démarches ont été tentées : la première en complétant les courbes de pF dans les faibles valeurs comprises entre la saturation et pF 2,0, la seconde en déterminant la capacité de rétention d'un échantillon remanié selon la méthode DOLGOV.

La totalité des échantillons ne pouvant être traitée, un échantillon par groupe de sol a été choisi.

Andosols perhydratés.

L'échantillon choisi (profil 36 - horizon 0-10) présente un taux de matière organique élevé (30 %) et un pH NaF < 10, ce qui est assez fréquent dans les horizons très organiques de ce type de sol où l'alcalinité a du mal à se développer en raison du pouvoir tampon de la matière organique.

Les courbes de pF-humidité (presse à plaque et cellule Soil-Moisture) ne se raccordent pas (graphique n° 1). On remarque cependant qu'entre pF 1,7 et 2,3, les deux courbes présentent des pentes analogues, ce qui laisse supposer que le mauvais raccordement est dû à une sous-estimation de l'humidité de l'échantillon monté dans la cellule. On ne distingue pas nettement d'inflexion caractéristique indiquant une zone où la variation de l'humidité est faible pour une grande variation de la pression.

Le ressuyage sur terre sèche (graphique n° 2), selon la méthode FEODOROFF, met en évidence des phénomènes de redistribution au cours du ressuyage, probablement en liaison avec le retrait que l'on observe sur ces échantillons très organiques (jusqu'à 50 % de réduction du volume initial). Ces phénomènes de redistribution affectent la cinétique sans qu'il soit possible de distinguer nettement la fin de la cinétique rapide et le début de la lente.

Pour l'estimation de la capacité de rétention, nous avons choisi le point 140 % d'humidité, soit sensiblement pF 2,5 (graphique n° 2), qui correspond de la manière la plus vraisemblable à l'amorce de la cinétique lente.

Sols andiques.

L'horizon 0-25 du profil 23 présente un taux de matière organique d'environ 7 % et la réaction d'alcalinité est nette, le pH NaF est de 9,5.

Le raccordement des courbes de pF-humidité se révèle plus satisfaisant que dans le cas précédent et montre un point d'inflexion aux environs de pF 2,0 (graphique n° 3). Ce point correspond au début de la zone de grande variation de la rétention pour une faible variation de l'humidité.

Le ressuyage sur terre sèche met en évidence plusieurs cinétiques de ressuyage, dont une intermédiaire entre la cinétique rapide et la lente (graphique n° 4). La capacité de rétention se situe à l'intersection de la cinétique intermédiaire et de la lente. La valeur (54 %) est peu éloignée de celle obtenue par les courbes de pF et correspond à pF 2,0.

Sols bruns.

L'échantillon (profil 29, horizon 0-35) présente un taux de matière organique de près de 5 %, un pH NaF de 8,8.

Les courbes de pF obtenues suivant les deux méthodes présentent une bonne concordance (graphique n° 5) et montrent une inflexion très nette à partir de pF 2,0 (39-40 % d'humidité). Ce point est confirmé par les cinétiques de ressuyage sur terre sèche (graphique n° 6). On a adopté pF 2,0 comme valeur du pF à la rétention.

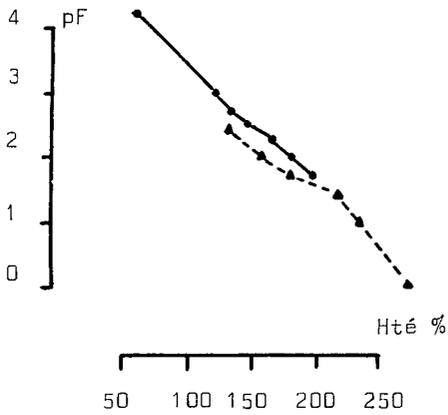
Discussion.

Dans le cas des **andosols perhydratés**, l'appréciation du point à la rétention par le ressuyage sur terre sèche est délicate en raison des phénomènes de redistribution d'eau, et les courbes de pF-humidité ne sont guère plus explicites. La valeur 2,5 obtenue pour le pF à la rétention est donc une valeur approximative qu'il conviendrait de vérifier par d'autres moyens. L'on notera que P. BONFILS et al. (1971) ont obtenu une valeur de 2,7 sur andosols de climat tempéré par l'interprétation des courbes de pF-humidité.

En ce qui concerne les **sols andiques** et les **sols bruns**, le ressuyage sur terre sèche apparaît comme une méthode suffisamment précise et de mise en œuvre facile. Sa concordance avec la capacité au champ semble devoir être satisfaisante. GALBAN (1973) a étudié le comportement hydrique de quelques **sols andiques** (Colimaçons, 800 m) selon la méthode DOLGOV appliquée au champ et a obtenu la même valeur. Sur **sols bruns** (Mon Caprice, 150 m), des observations portant sur un grand nombre de mesures tensiométriques ont montré que la force de rétention exercée par le sol tend vers une valeur d'équilibre voisine de 100 millibars, 24 à 48 heures après une forte pluie réhumectant le profil (LOYNET, 1973).

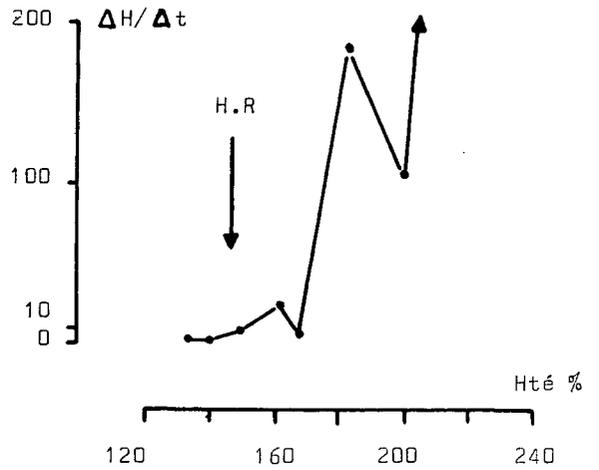
L'humidité à la rétention et ses relations avec la matière organique et les substances amorphes.

Le pF à la rétention ayant été défini pour chacun des groupes de sol, on en a déduit l'humidité à la rétention (HR) pour chacun des échantillons.

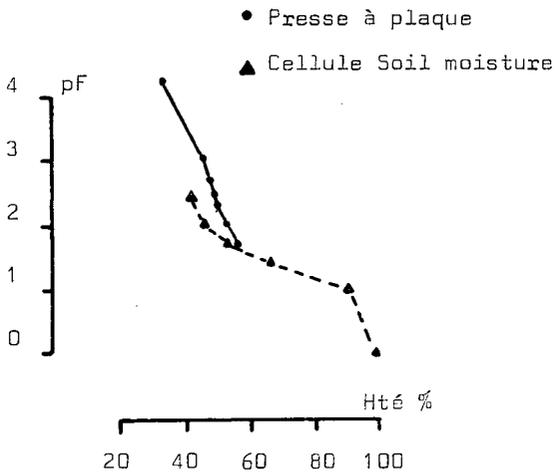


Graphique N°1

ANDOSOLS (Profil 36/0-10 cm)

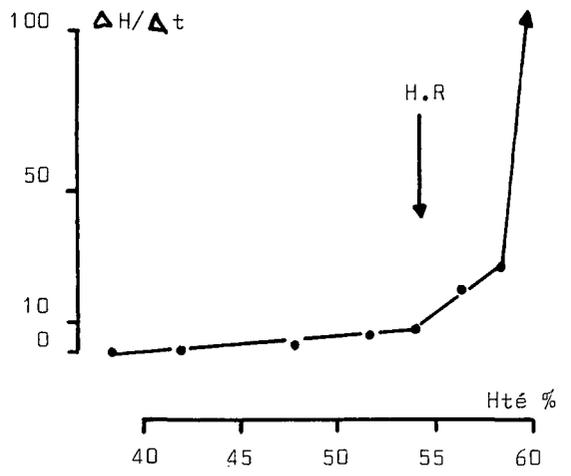


Graphique N°2

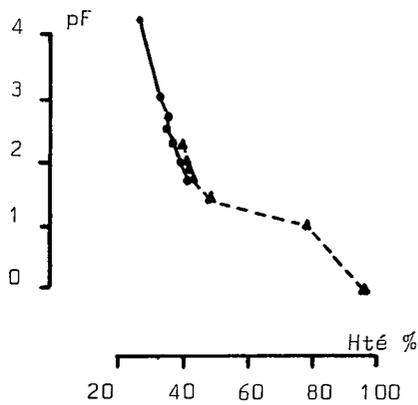


Graphique N°3

SOLS ANDIQUES (Profil 23/0-25 cm)

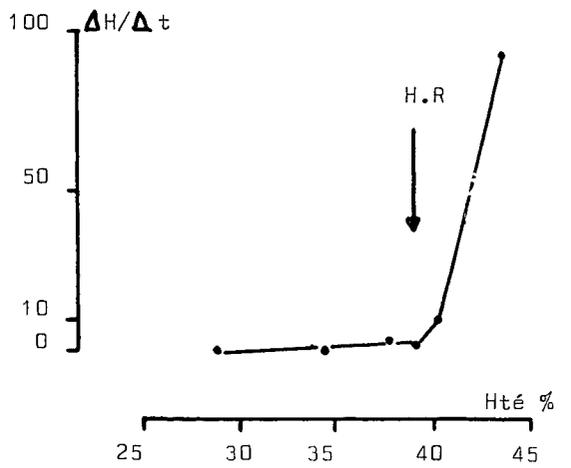


Graphique N°4



Graphique N°5

SOLS BRUNS (Profil 29/0-35 cm)



Graphique N°6

• Presse à plaque
▲ Cellule Soil moisture

Sur andosols perhydratés, les humidités à la rétention se caractérisent par des valeurs élevées (jusqu'à 226 %) et une grande variabilité (75 à 226 %). Sur sols andiques, les valeurs sont plus basses et les écarts plus faibles (53 à 74 %) ; sur sols bruns, les valeurs s'abaissent encore avec des écarts relativement importants (21 à 49 %).

Une série de corrélations avec les différents composants organiques et amorphes associés ou non, ont fait apparaître que l'humidité à la rétention est en relation linéaire positive avec les quantités de matière organique et (ou) de silice et (ou) d'alumine. Le fer présente une liaison négative très lâche non significative.

On observe une progression de l'intensité des liaisons entre ces trois éléments pris isolément, puis en association. **L'action de la matière organique est prépondérante ($r = 0,80$). Mais l'association de celle-ci à la silice et à l'alumine permet d'affiner encore la liaison ($r = 0,86$)** (graphique n° 7).

POINT DE FLETRISSEMENT ET SES RELATIONS AVEC LA MATIERE ORGANIQUE ET LES SUBSTANCES AMORPHES

Le point de flétrissement (HF) a été défini comme l'humidité à pF 4,2. Ce point présente pour les différents groupes de sols des caractéristiques analogues à la capacité de rétention.

Dans les andosols perhydratés, on note des écarts importants (44 à 134 %), et HF est deux fois et demi à trois fois plus élevée que dans les sols andiques et les sols bruns.

Les liaisons qui unissent l'humidité du point de flétrissement aux constituants organiques et amorphes se révèlent de nature identique à celles observées avec HR, avec une prépondérance toutefois moins marquée de la matière organique ($r = 0,69$) par rapport à l'alumine ($r = 0,64$) et la silice amorphe ($r = 0,62$). On observe une progression analogue de l'intensité des liaisons en fonction de l'association des constituants. **L'association matière organique, silice et alumine révèle la liaison la plus forte ($r = 0,83$)**, graphique n° 8.

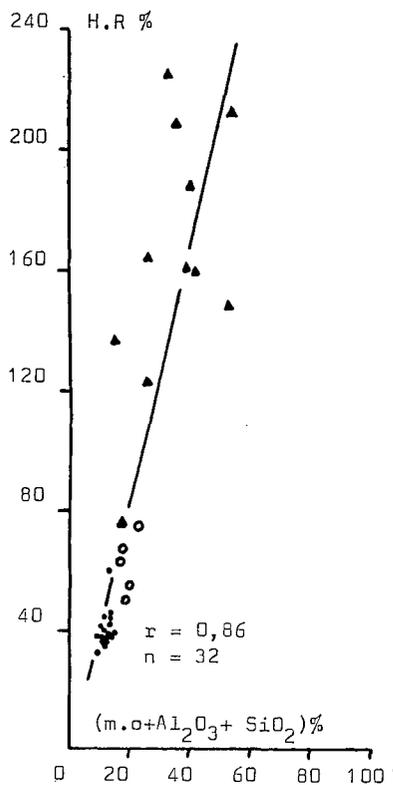


Fig. N°7

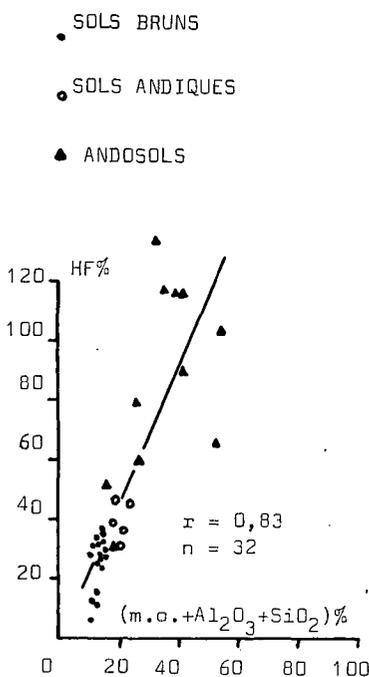


Fig. N°8

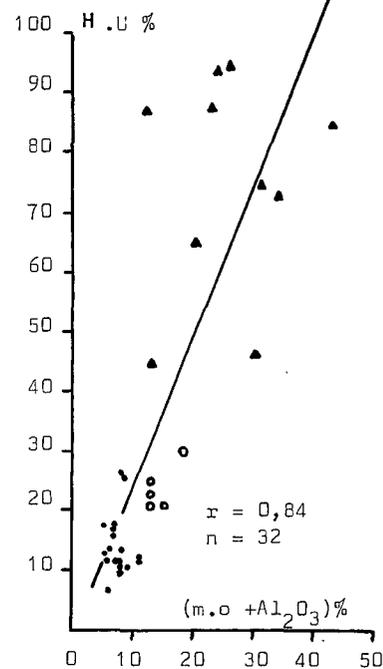


Fig. N°9

RELATIONS ENTRE CERTAINS ETATS DE L'EAU ET LES COMPOSANTS ORGANIQUES ET AMORPHES.

L'EAU UTILE ET SES RELATIONS AVEC LA MATIÈRE ORGANIQUE ET LES SUBSTANCES AMORPHES

L'eau utile (HU), calculée comme la différence entre les humidités à la rétention et au flétrissement, a une valeur élevée dans les andosols perhydratés : 44 à 110 %. Les valeurs sont nettement plus faibles dans les sols andiques, 20 à 29 %, comprises entre 6 et 26 % dans les sols bruns.

Les corrélations établies avec les fractions organiques et amorphes présentent des similitudes avec les précédentes. La matière organique est le composant qui intervient le plus activement dans la capacité de rétention ($r = 0,83$). L'action des autres constituants comme l'alumine et la silice est moins nette ($r = 0,37$ et $r = 0,44$ respectivement). **L'association matière organique et alumine amorphe permet toutefois d'affiner légèrement la liaison ($r = 0,84$)** graphique n° 9).

La nature de cette liaison apparaît de façon évidente pour le groupe des andosols perhydratés (graphique n° 9) où les variations de la somme ($MO + Al_2O_3$) sont importantes. Au niveau des sols bruns et à un moindre degré des sols andiques, il est probable que la rétention de l'eau est liée surtout à la granulométrie.

CONCLUSIONS

Les analyses et les déterminations hydriques nous ont amenés à préciser certaines caractéristiques de quelques sols dérivés de matériaux basaltiques en milieu tropical. Ces données sont livrées au tableau I sous forme de moyennes de profils. En raison du petit nombre d'échantillons traités, il n'est guère possible d'en faire des éléments précis de caractérisation des groupes de sols étudiés ; les limites sont trop imprécises et des facteurs importants pour la caractéristique manquent : granulométrie, densité apparente, porosité, propriétés mécaniques, nature de la fraction minérale et humique, capacité d'échange.

Les états de l'eau sont liés à certains caractères analytiques et peuvent accréditer partiellement l'hypothèse selon laquelle les fortes capacités de rétention pour l'eau des andosols sont dues aux importantes surfaces spécifiques des substances amorphes. Cependant, on observe que la matière organique joue toujours un rôle prépondérant dans les liaisons avec les états de l'eau. Comme le maintien des substances amorphes est en grande partie lié à la matière organique, la rétention de l'eau résulterait plutôt de cette association. En effet, lorsque les conditions pédogénétiques sont différentes et ne permettent pas une conservation aussi efficace de la matière organique et des substances amorphes, comme c'est le cas dans les sols bruns et à un degré

moindre dans les sols andiques, la rétention de l'eau est fortement diminuée.

Sur un plan agronomique, la rétention importante des andosols n'a qu'une valeur limitée, dans la mesure où les réserves hydriques sont fortement pondérées par la faiblesse des densités apparentes et par l'irréversibilité de la déshydratation à pH 4,2, phénomène qui a été bien mis en évidence par GALBAN (1973) sur quelques sols de la Réunion. Ce caractère se manifeste encore à un moindre degré dans les sols andiques pour disparaître totalement dans les sols bruns où la capacité de rétention pour l'eau devrait dépendre surtout de la richesse en limons et en colloïdes.

On retrouve par conséquent ce que BONFILS et MOINEREAU (1971) avaient observé sur une gamme d'andosols, de sols andiques et de sols bruns en climat tempéré, avec cependant un effet plus marqué des substances amorphes en raison de leur abondance.

Remerciements

Je remercie M. le professeur E. SERVAT qui a bien voulu m'accueillir dans son laboratoire à l'occasion d'un stage à l'ENSAM ; M. J. MOINEREAU, qui m'a conseillé tout au long de mon travail, M. R. BERTRAND pour les documents et les échantillons fournis et son amicale collaboration et M. MANIERE pour ses conseils judicieux.

Bibliographie

- AOMINE (S.), OTSUKA (H.), 1968. — Surface of soil allophanic clay. *Int. Cong. Soil Science*, 9, 1968 Adelaïde, vol. 1 : 731-7.
- BERTRAND (R.), 1972. — Compte rendu provisoire de mission pédologique à la Réunion. IRAT, Réunion, n° 52, 1972.
- BONFILS (P.), MOINEREAU (J.), 1971. — Propriétés physiques des andosols et des sols bruns andiques au sud du Massif Central. *Cah. ORSTOM, série Pédologie*, vol. IX, n° 3, 1971, 346-63.
- BONFILS (P.). — Méthode d'analyses des sols. SES, n° 91, 1967.
- COLMET-DAAGE (F.) et al., 1967. — Caractéristiques de quelques sols d'Equateur, dérivés de cendres volcaniques. *Cah. ORSTOM, série Pédologie*, V, 1967, 3-38.
- DIERICKX (P.), 1974. — Comparaison des courbes succion-humidité obtenues sur un même sol par trois méthodes. DEA Univers. de Montpellier.
- FEODOROFF (A.), BETREMIEUX (R.), 1964. — Une méthode de laboratoire pour la détermination de la capacité au champ. *Science du Sol*, 1964, pp. 109-17.
- FEODOROFF (A.), 1962. — Ressuyage du sol et capacité de rétention pour l'eau. *Ann. Agron.*, 1962, 13 (6), 523-47.
- FRITZ (J.), 1973. — Dynamique de l'azote minérale dans le sol en deux situations de la Réunion. IRAT, Réunion, n° 81, 1973 (nov.), pp. 2-3.
- GALBAN (J.F.), 1973. — La rétention de l'eau dans les sols de quelques stations de l'île de la Réunion. IRAT, Réunion, n° 82, 1973.
- KALMS (J.M.), 1970. — Etude des propriétés physiques des andosols et sols andiques. DEA de Pédologie, Université de Montpellier, 1970.
- LOYNET (G.), 1973. — Détermination de la dose d'arrosage d'un couvert de graminée fourragère (*Chloris gayana*). IRAT, Réunion, fiche d'essai n° 20, 1973.
- MOINEREAU (J.), 1974. — Première partie : andosols, sols padzolisés, sols andiques et sols bruns : séquence sur matériaux basaltiques dans le Velay oriental et le Vivarais (Massif Central) et deuxième partie : évolution de la fraction amorphe. Extrait de *Science du sol*, bulletin de l'AFES, nos 3 et 4, 1974.
- MOUSSARD (J.M.), 1971. — Détermination de la capacité de rétention par la méthode Dolgov. Application aux sols calcaires. DEA, Université de Montpellier.
- QUANTIN (P.), 1972. — Les andosols, revue bibliographique des connaissances actuelles. *Cah. ORSTOM, série Pédologie*, vol. X, n° 3, 1972, pp. 273-301.

ADAPTATION A L'AUTO-ANALYSEUR DU DOSAGE COLORIMETRIQUE DE LA SILICE

par R. OLIVER *

avec la collaboration technique de M. GOUDIABI

RESUME. — L'auteur décrit la méthode suivie pour automatiser le dosage manuel de la silice après réduction du complexe silico-molybdique. Les résultats obtenus sont satisfaisants et la sensibilité de la méthode est de 0,5 mg/l. L'étude des interférences montre que le dosage est sensible à des teneurs en phosphore supérieures à 130 mg/l et à une acidité supérieure à 0,3 N. L'étude de l'interférence du phosphore permet de préciser les conditions de coexistence des complexes silici et phosphomolybdiques.

Mots-clé : automatisation, dosage silice, colorimétrie, teneur phosphorique, pH.

Dans les sols très sableux du Sénégal, la silice soluble revêt une importance considérable et serait à l'origine de propriétés particulières de ces sols (1) ; aussi la variation des teneurs de la solution du sol en silice soluble est-elle importante à suivre, ce qui nécessite de nombreuses analyses. Cette note présente les résultats obtenus lors de l'automatisation de ce dosage qui, indépendamment du facteur gain de temps, est assez délicat à réaliser manuellement, car il est nécessaire de respecter un minutage précis pour éviter la destruction du complexe silici-molybdique.

MATERIEL ET METHODE

La chaîne auto-analyseur utilisée pour l'automatisation du dosage est de marque Electro-Synthèse. Elle est munie d'une microcuve à circulation de 1 cm de trajet optique (colorimètre type ADC 66 avec filtre gélatine orange à 600 nm) et d'un enregistreur P 69 R utilisé sans expansion d'échelle.

La technique de référence est celle de l'Université d'Hawaï (2). Elle est basée sur la réduction du complexe silici-molybdique à l'aide de l'acide 1 NH₂-2 naphthol-sulfonique après destruction sélective du complexe phosphomolybdique par l'acide oxalique. Le composé bleu obtenu est dosé par colorimétrie. Cette technique est voisine de celle décrite par KILMER (3) qui utilise l'acide tartrique au lieu de l'acide oxalique pour détruire le complexe phosphomolybdique.

RESULTATS ET DISCUSSION DES RESULTATS

MISE AU POINT COMPLEMENTAIRE DE LA METHODE MANUELLE

Le tracé du spectre d'absorption du complexe silici-molybdique après réduction (fig. 1) fait apparaître que le maximum d'absorption est voisin de 800 nm, ce qui correspond au filtre n° 8 sur notre chaîne d'analyse.

La stabilité de la coloration peut être considérée comme atteinte 10 mn après l'addition du réducteur (tableau I).

* OLIVER (R.). — Ingénieur de recherches IRAT. Centre national de Recherches Agronomiques de Bambey-ISRA (Sénégal).

Figure : 1

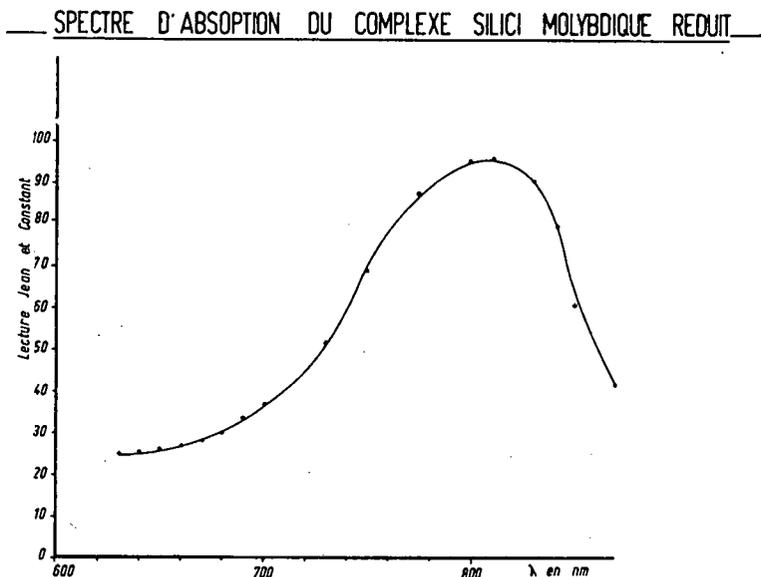


Tableau I

STABILITE DE LA COLORATION DU COMPLEXE SILICIMOLYBDIQUE REDUIT = f (t)

T mn	2,5	3	4	5	6	7	8	10	12	14	16
DOJ et C	71	72,5	75	77	77,5	78	78,5	79	79,5	79,5	79
T mn	18	20	25	30	35	40	50	60	70	80	100
DOJ et C	79	79	79	79	79	78,5	78,5	78,5	78,5	78,5	78,5

Coloration obtenue avec 10 µg Si/50 ml :

λ = 825 nm,

cuves = 1 cm,

Spectro Jean et Constant.

AUTOMATISATION DU DOSAGE

Les contraintes de temps et de volume de dosage manuel nous ont conduit à utiliser le manifold présenté à la figure 2.

Pour respecter à chaque instant les concentrations en réactifs au sein du milieu d'analyse, leur composition a été modifiée comme suit :

— molybdate d'ammonium : dans une fiole jaugée de 100 ml, peser 4,62 g de molybdate d'ammonium, ajouter 70 ml d'eau environ puis 3,1 ml de H₂ SO₄ RP. Compléter à volume avec de l'eau distillée ;

— acide oxalique : solution à 74 g/l dans l'eau distillée ;

— réducteur : dissoudre 0,463 g de sulfite de sodium (Na₂ SO₃) dans 10 ml d'eau environ, ajouter 100 mg d'acide 1-NH₂ 2-naphtol sulfonique et les dissoudre. D'autre part, dissoudre 5,95 g de disulfite de sodium (Na₂ S₂O₅) dans 90 ml d'eau distillée et ajouter à la solution précédente.

La gamme étalon et les enregistrements obtenus avec ce manifold et ces réactifs sont représentés à la figure 3. On n'observe pas, sur plusieurs heures de fonctionnement continu, de déviation de la ligne de base. Le coefficient de variation des résultats obtenus sur un échantillon répété à intervalles réguliers sur un plateau de dosage est de 0,81 %. La gamme étalon est linéaire en densité optique jusqu'à une concentration de 20 mg/l de Si. La corrélation entre les résultats d'analyses automatique et manuelle d'échantillons de solution du sol de teneurs en silice comprises entre 3,5 et 16 mg/l de Si est :

$$Y = 0,865 X + 1,99$$

Y = résultats automation
 x = résultat manuel
 n = 14 couples de données
 r = 0,909

ETUDE DES INTERFERENCES SUR LE DOSAGE AUTOMATISE

Influence de la composition du milieu.

L'aluminium et le fer n'influent pas sur le développement de la coloration et ce, dans des zones comprises entre 0 et 200 mg/l d'élément interfèrent dans le milieu.

Les ions phosphates qui forment avec le réactif sulfomolybdique un complexe de même nature que celui de l'acide silicique peuvent avoir une influence considérable sur les résultats. Son étude a été entreprise par la technique de variation en continu de la concentration préconisée par P. FALLAVIER (4). Le domaine de concentration étudié va de 0 à 250 mg/l de P pour des concentrations de Si de 0, 2, 5, 10, 15 et 20 mg/l. Les résultats obtenus sont illustrés par le graphique 4. L'exploitation statistique du réseau de courbes fait apparaître que dans la zone où le pourcentage de recouvrement de la silice présente dans le milieu

$$(R = \frac{[Si \text{ retrouvé}]}{[Si \text{ théorique}]} \times 100) \text{ est inférieur à } 85 \%$$

R peut être empiriquement ajusté à l'équation suivante :

$$R = \frac{6,774 \times 10^6}{[Si] [P]^2} + \frac{4,7521 \times 10^6}{[P]^2} - \frac{211,75}{[Si]} - 84,08$$

dont le détail du calcul est donné au tableau II.

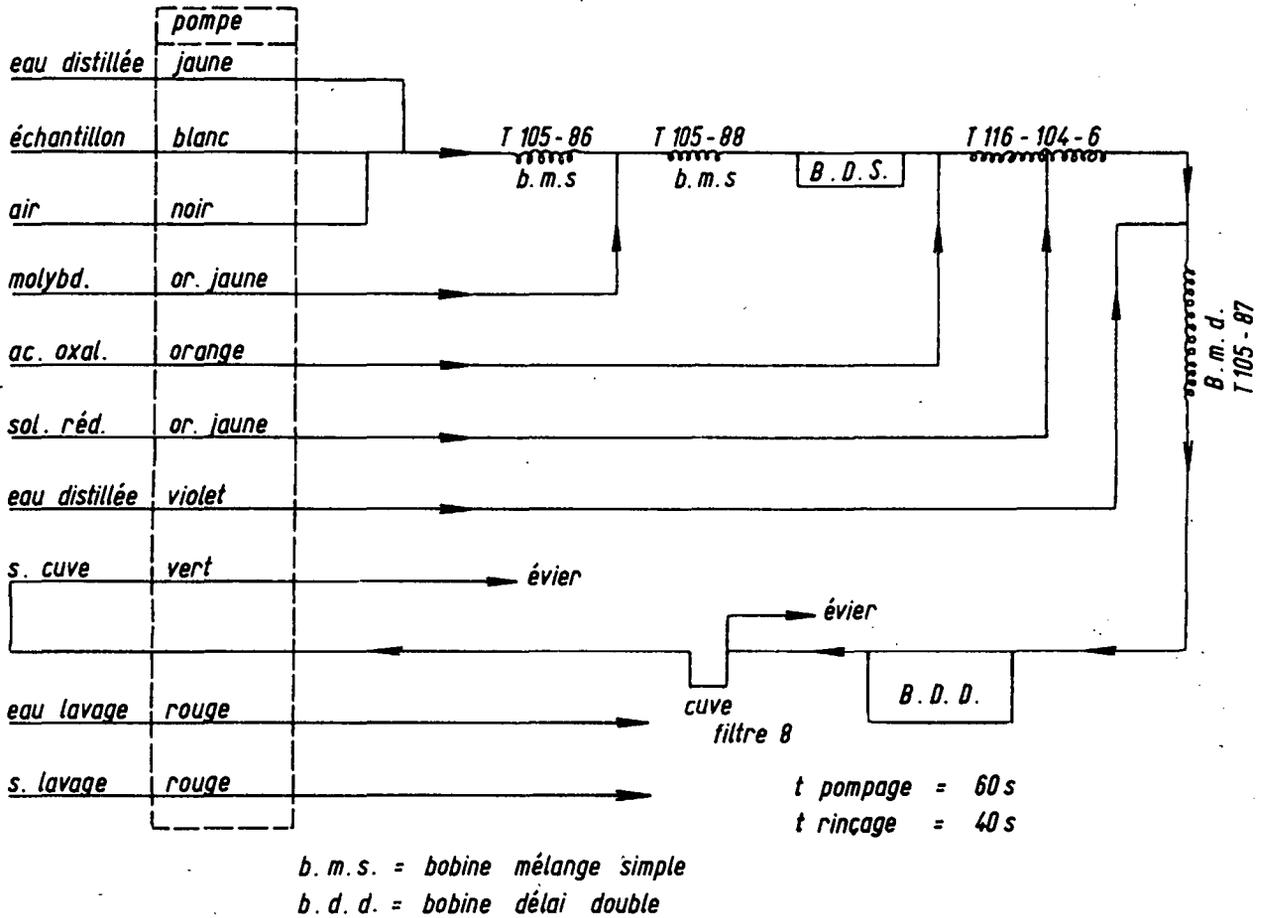
Tableau II

ETUDE DE L'INTERFERENCE DE PO₄ SUR LE DOSAGE DE Si

[Si] (mg/l)	Début d'ap. de l'inter. (mg/l P)	Equation de la zone où R 85 %		Coefficient de corrélation
		R = a/P ²	+ b (t)	
2	156	8,2307 × 10 ⁶	- 188,6	0,998
5	151	5,8237 × 10 ⁶	124,7	0,995
10	143	5,6299 × 10 ⁶	- 121,4	0,996
15	138	4,7337 × 10 ⁶	- 101,93	0,997
20	130	3,5685 × 10 ⁶	- 77,92	0,997
Variation de a et b = f [Si] dans (t)				
		a = $\frac{6,794}{[Si]} + 4,7521$		0,951
		b = $\frac{211,75}{[Si]} - 84,08$		0,908

Figure : 2

2.a. MANIFOLD DE DOSAGE DE LA SILICE



2. b. "TIMING" DU MANIFOLD . TO = ADDITION MOLYBDATE

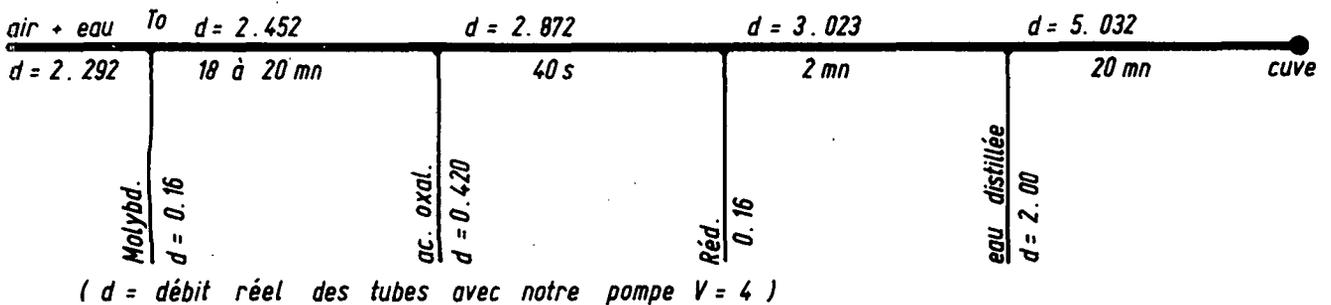
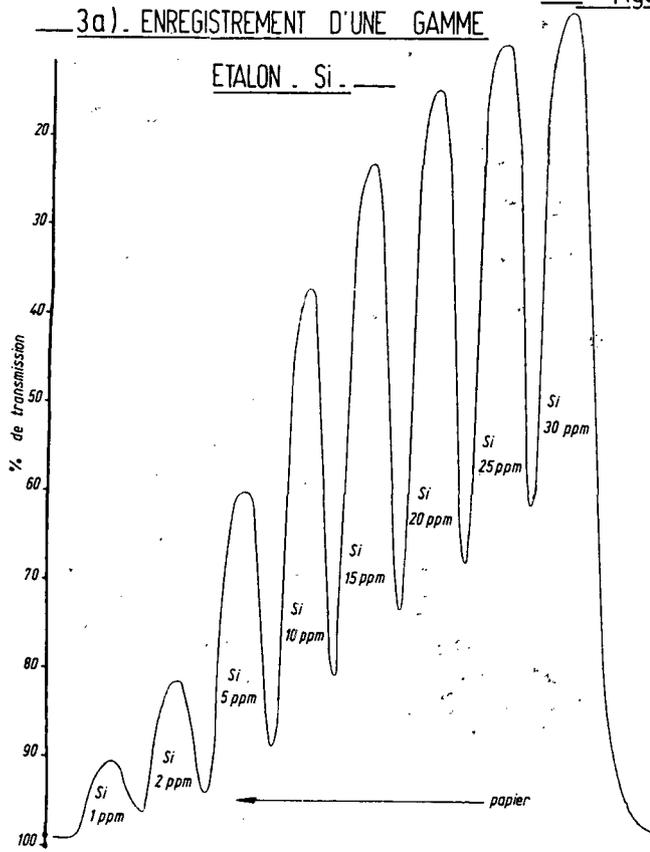


Figure 3



3b). GAMME ETALON DU DOSAGE DE Si

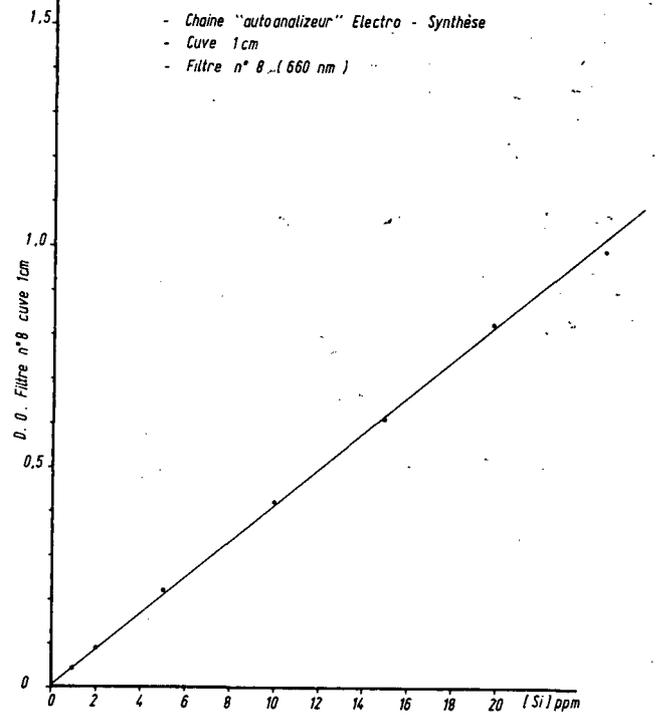
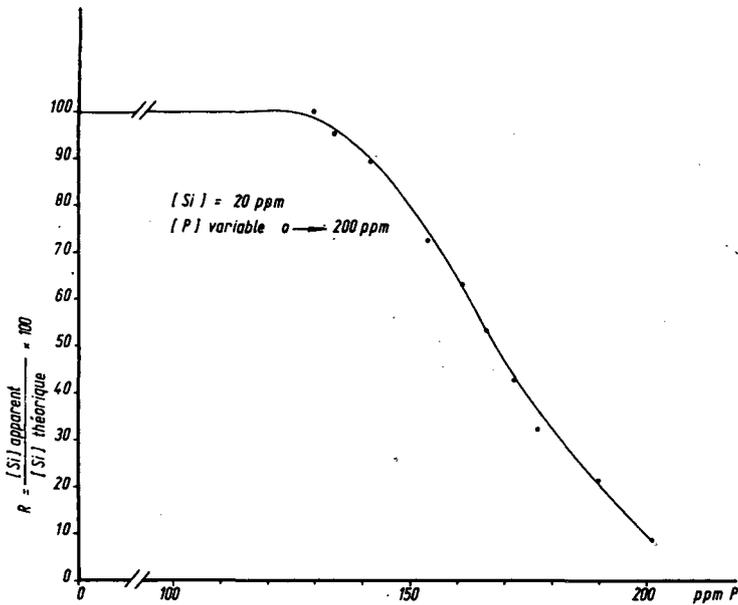


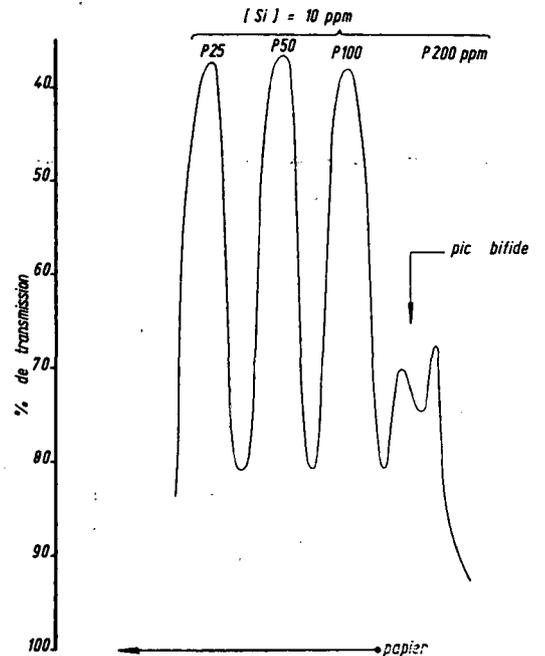
Figure 4

4a). % DE RECOUVREMENT Si = f [P]



4b). EXEMPLE DE PIC BIFIDE OBTENU POUR DE

TRES FORTE CONCENTRATION EN P



Cette équation représente la compétitivité relative des deux complexes phospho- et silico-molybdique, le premier ayant tendance à inhiber la formation du second lorsque sa concentration devient trop importante. On remarque d'ailleurs pour les très fortes concentrations en phosphates une précipitation du complexe phosphomolybdique au niveau du réactif sulfomolybdique.

Influence de la matrice de dosage.

La silice peut être extraite des sols par des réactifs d'acidité variable, il est donc intéressant de savoir quel est le domaine d'acidité du milieu

compatible avec un dosage correct. L'étude a été faite selon le même dispositif que celui utilisé pour les ions phosphates. Les résultats obtenus montrent que l'acidité du milieu ne doit pas excéder 0,3 N (H_2SO_4 ou HCl). Au-delà, on note une diminution rapide de l'intensité de la coloration bleue qui devient nulle pour une acidité voisine de 1 N (graphique 5). La similitude des résultats obtenus avec HCl et H_2SO_4 montre que l'interférence n'est pas liée à la nature de l'anion accompagnateur, mais bien aux conditions d'acidité du milieu.

CONCLUSION

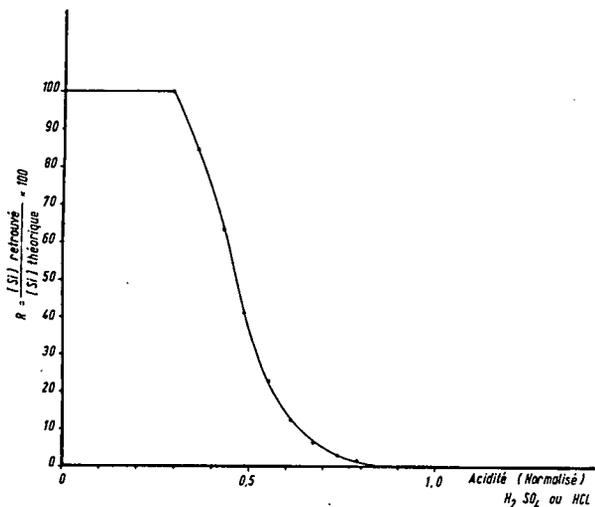
L'automatisation du dosage colorimétrique de la silice permet, dans de bonnes conditions, l'analyse d'environ 30 échantillons par heure (gamme étalon exclue). Il faut toutefois veiller à ce que la teneur en P du milieu soit inférieure à 130 ppm, ce qui est toujours réalisé dans la pratique pour la solution du sol et que l'acidité du milieu soit inférieure à 0,3 N. Le manifold permet la détection de quantités de silice en solution voisines de 0,5 mg/l de Si, la gamme pratique d'utilisation étant de 2 à 20 mg/l de Si.

Bibliographie

1. PIERI, 1976. — Mineralogy and surface properties of two Sandy soils in Senegal (note présentée au congrès des Sciences du sol de Jérusalem, juin 1976).
2. SILVA (J.A.). — Méthode de dosage colorimétrique de la silice (Doc. interne).
3. KILMER (V.J.), 1965. — Silicon. In method of soil analysis. *Agronomy* n° 9, 2.
4. FALLAVIER (P.). — Amélioration à partir du dosage de l'azote par la méthode de Berthelot (rapport de synthèse DGRST. Convention n° 72-0674, pp. 100-26).

Figure : 5

EVOLUTION DE LA COLORATION = f [Acidité]



EDITIONS A. PEDONE

13, rue Soufflot - 75005 PARIS

C. C. P. PARIS 72.31

Publications F. A. O.

- Rapport et perspectives sur les produits 75/76 49,50 F. H.T.
- Capacités de la pâte et du papier 1975-1980 77,50 F. H.T.
- Manuel d'oléotechnie 49,50 F. H.T.
- Annuaire de la santé animale 1975 55,00 F. H.T.
- Bulletin mensuel de statistiques agricoles (Abt 12 n°) 40,00 F. H.T.

AMELIORATIONS EXPERIMENTALES COMPAREES DE LA CAPACITE D'ECHANGE CATIONIQUE D'UN SOL TRES SABLEUX DU SENEGAL, OBTENU PAR DES APPORTS DE MATIERE ORGANIQUE, DE GOETHITE ET DE PHOSPHATE MONOCALCIQUE

par C. PIERI *

RESUME. — Il a été possible, dans une expérience de laboratoire, d'augmenter de façon significative (doubler) la CEC d'un sol très sableux du Sénégal, grâce à des apports minéraux associés de Goëthite et de phosphate monocalcique. Dans les mêmes conditions expérimentales, des apports massifs de matière organique (feuilles de maïs réduites en poudre) n'ont pas causé, après soixante jours d'incubation dans le sol, d'accroissement de la CEC de ce dernier aussi important.

L'intérêt et la portée pratique de ces résultats sont brièvement discutés.

Mots-clé : amendement, capacité échange de cations, matière organique, goëthite, phosphate monocalcique, sables, Sénégal.

INTRODUCTION

La capacité de production de nombreux sols exondés de la zone semi-aride ouest-africaine est limitée par leur pauvreté colloïdale, se traduisant par une capacité d'échange cationique (CEC) souvent très faible. On peut raisonnablement avancer que, s'il était possible d'améliorer de façon durable cette caractéristique essentielle (la CEC), la fertilité de ces sols serait considérablement accrue en raison des répercussions évidentes d'une telle amélioration foncière sur l'économie de l'eau et des engrais (lessivage), sur la stabilisation des colloïdes organiques, ainsi que sur la nutrition des plantes.

Or la CEC d'un sol est le produit de deux facteurs, S et σ , correspondant respectivement à la surface spécifique et à la densité de charge nette de surface de ce sol, sur lesquels on peut essayer d'agir.

Ceci a été tenté globalement sur un sol très sableux du Sénégal, dont les propriétés de surface ont été récemment étudiées (PIERI, 1976). On a, d'une part, mesuré les accroissements de CEC dus à des apports croissants de matière organique, amendement qui modifie les deux composantes, S et σ , de cette CEC. Mais sous climat tropical, on sait que cette matière organique évolue

très rapidement dans les sols, et que l'on se retrouve au bout de quelques années au même taux que celui initialement mesuré, puisque, sous un climat donné, et pour le système de culture suivi, c'est la texture et, en définitive, la quantité de colloïdes, qui détermine le niveau d'équilibre organique du sol (ALLISON, 1973). Pour cette raison, on a d'autre part testé l'effet d'apports massifs de phosphate sur la CEC du sol étudié, dans le but d'en accroître la densité de charge de surface selon un processus décrit et quantifié par MEKARU et UEHARA en 1972. Compte tenu de la faible capacité d'adsorption en P de ce sol, ce traitement P a été associé à un amendement minéral du sol en matériau ferrugineux susceptible d'accroître cette adsorption. Rappelons qu'un tel type de matériau ferrugineux est fréquent en Afrique de l'Ouest (cuirasse ferrugineuse, latérite).

MATERIEL ET METHODES

SOL ET AMENDEMENTS

a) L'échantillon de sol utilisé a été décrit de façon détaillée dans un précédent article.

Nous rappellerons qu'il s'agit d'un échantillon prélevé dans l'horizon de surface (0-15 cm) d'un sol ferrugineux tropical peu lessivé, dit « sol Dior ».

* PIERI (C.). — Ingénieur de recherches IRAT. Centre National de Recherches Agronomiques de Bambey-ISRA (Sénégal).

Ce sol se caractérise par une texture très sableuse et ses très faibles teneurs en colloïdes minéraux (2,2% d'argile) et organiques (0,4% de matière organique). Sa capacité d'échange mesurée à pH 7 par l'acétate d'ammonium 1,0 N est égale à 1,4 mé/100 g. Cette CEC varie avec le pH, ne dépassant pas 0,6 mé/100 g à pH 4,5. Dans les conditions de cette expérience, la CEC effective est égale à 0,72 mé/100 g. La valeur de son point de charge nulle a pu être mesurée et est égale à pH 2,4. On sait d'autre part que ce sol ne fixe pratiquement pas de phosphore (10 mg de P par gramme de sol).

Cet ensemble de propriétés de surface démontre la très faible activité physico-chimique de ce sol, qui est due à sa texture très sableuse, mais aussi à la présence très probable de revêtement de silice colloïdale sur les fractions les plus fines (PIERI, 1977).

b) La matière organique utilisée dans l'essai a été apportée sous la forme d'une poudre de feuilles de maïs récemment récoltée.

c) Les amendements minéraux ont été réalisés en utilisant les matériaux disponibles dans le laboratoire d'accueil : il s'agit d'une part de phosphate monocalcique, produit R.P. MERCK, et d'autre part d'un matériau ferrugineux originaire de Brisbee (Arizona). Ce matériau a été réduit en poudre, lavé à HCl 0,05 N puis à l'eau distillée. L'analyse aux rayons X a montré qu'il contenait essentiellement de la goëthite bien cristallisée. Le pouvoir d'adsorption P de ce matériau a été évalué (isotherme d'adsorption en présence de Ca Cl₂ 0,02 M) et s'est avéré assez élevé (PIERI, 1976) = 1.800 ppm P adsorbé en présence de 4 ppm de P restant en solution, pour un apport initial de 2.000 ppm. La CEC du matériau utilisé a été mesurée par la technique décrite plus loin, et est égale à 3,4 mé/100 g.

EXPERIMENTATION

Cet essai a été conduit en laboratoire, selon un dispositif factoriel à deux répétitions. A 100 g de sol Dior, mis en béciers plastiques, on a incorporé en même temps différentes doses de matière organique, de matériau ferrugineux et de phosphore. Les doses étaient les suivantes :

a) Matière organique :

M₀ : 0,

M₁ : 0,25 g matière organique par 100 g de terre,

M₅ : 1,25 g matière organique par 100 g de terre.

b) Matériau ferrugineux :

G₀ : 0,

G₁ : 2,5 g de poudre (< 74 μ) pour 100 g de terre,

G₅ : 12,5 g de poudre (< 74 μ) pour 100 g de terre.

c) Phosphore :

P₀ : 0,

P : 2 mg P/g de matériau ferrugineux (ou 6,45 millimoles P/100 g) soit 5 mg pour les traitements G₁ et 25 mg pour les traitements M₀G₀P, M₁G₀P et M₅G₀P ont reçu aussi 5 mg de phosphore.

Les dix-huit traitements ainsi obtenus (3 M × 3 G × 2 P) ont été maintenus à 10% d'humidité dans une enceinte thermostatée à 35 °C durant soixante jours d'incubation.

ANALYSES ET DOSAGES

Après la période d'incubation, on a mesuré les pH H₂O et KCl (sol/eau 1/1) à l'aide du pHmètre BECKMAN PHASAR.I. La capacité d'échange cationique (CEC) a été mesurée sur tous les traitements, à deux reprises pour plus de précision, en suivant le protocole suivant : saturation de 20 g de terre sèche par 100 ml de KCl 1.0N pendant une nuit, puis percolation complémentaire sur büchner de 50 ml de la même solution. Après lavage à l'alcool isopropylique à 80% (pour éviter la précipitation de KCl), saturation pendant une nuit avec 20 ml de NH₄Cl 1.0N, puis lessivage sur büchner par 200 ml de la même solution. La CEC a été évaluée d'après la quantité d'ions K⁺ déterminée par photométrie de flamme dans l'extrait NH₄Cl.

— Un dosage a été fait sur tous les traitements à l'aide d'un déterminateur de carbone LECO de façon à évaluer de manière précise les accroissements de carbone organique induits par les apports M₀, M₁ et M₅, après les soixante jours d'incubation.

RESULTATS ET DISCUSSION

RESULTATS ET OBSERVATIONS

Les figures 1 à 4 illustrent les principaux résultats obtenus.

a) La figure 1 montre que les différents traitements étudiés ont élevé à des degrés divers la CEC initiale du sol Dior, qui est égale ici à 0,72 mé/100 g.

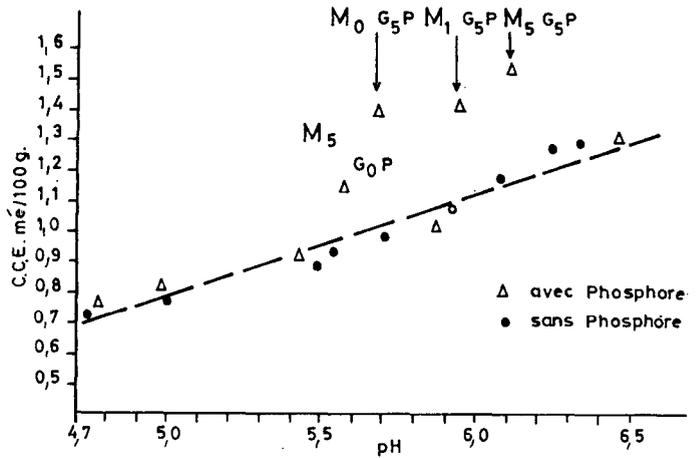
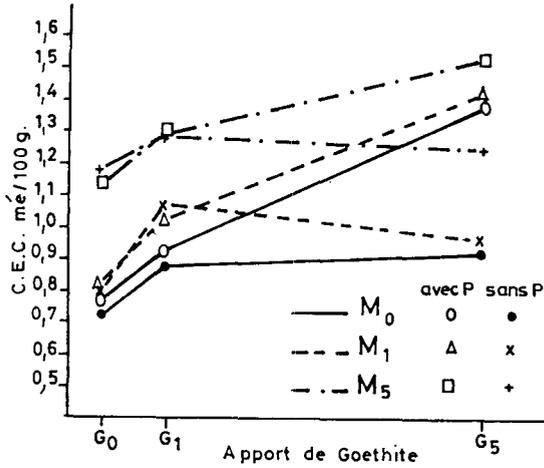


Fig. 1. — Accroissements de la CEC d'un sol Dior dus :
 - à des apports de matière organique ;
 - à des apports de "Gœthite" avec ou sans adsorption de Phosphore.

Fig. 2. — Effet du pH et de l'adsorption de P sur la CEC d'un sol Dior.

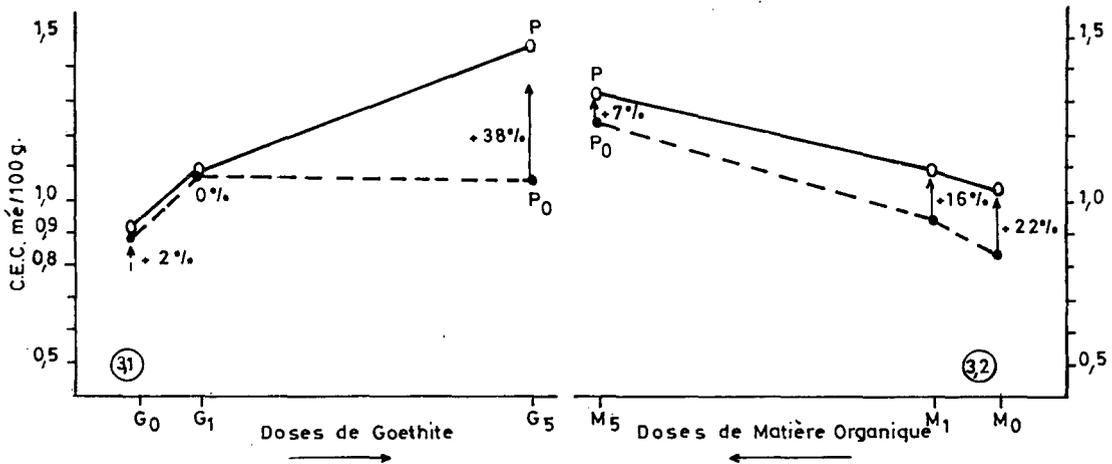


Fig. 3. — Effet moyen du phosphore sur la CEC du sol Dior en fonction :
 3.1 - de doses croissantes de Goéthite ;
 3.2 - de doses croissantes de matière organique.

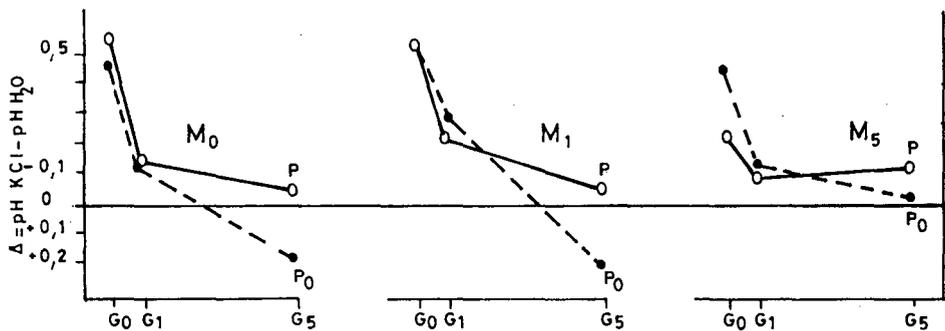


Fig. 4. — Δ pH et signe de la charge de surface induit par les apports de « Gœthite », matière organique et phosphore.

b) La figure 2 montre que les accroissements de CEC de ce sol à charge variable sont effectivement bien liés aux augmentations de pH (H₂O) induits par les traitements étudiés. Cependant, *il est manifeste* que les accroissements de CEC obtenus pour les traitements associant la dose forte G₅ de goëthite à l'apport de P, sont plus que proportionnels aux valeurs de pH.

c) La figure 3 traduit en premier lieu l'effet moyen de l'apport de P en fonction des doses de goëthite (fig. 3.1), quelle que soit la dose de matière organique appliquée : on constate qu'en l'absence de goëthite, G₀, ou à la première dose, G₁, un phosphatage est sans effet appréciable sur la CEC du sol Dior, alors que celle-ci est en moyenne augmentée de 38 % lorsqu'on a préalablement apporté de la goëthite à la dose forte G₅.

Le deuxième volet de la figure 3 montre par contre que l'efficacité relative du phosphatage sur l'accroissement de CEC du sol Dior, quelle que soit la dose de goëthite appliquée, est décroissante au fur et à mesure que l'on apporte plus de matière organique à ce sol : pour M₀, l'accroissement moyen de CEC est égal à + 22 %, puis devient égal à 16 % pour la moyenne des traitements M₁, et n'est plus que de 7 % en présence de la dose M₅.

Notons à ce propos que les teneurs en moyennes en C organiques mesurées après incubation pour les traitements avec matière organique étaient les suivantes :

M₀ : 1,87 C ‰,
 M₁ : 2,08 C ‰, soit + 11 ‰,
 M₅ : 2,77 C ‰, soit + 48 ‰.

d) Sur la figure 4, on a reporté des valeurs de $\Delta \text{pH} = \text{pH KCl} - \text{pH H}_2\text{O}$, correspondantes aux dix-huit traitements étudiés.

Comme l'ont souligné KENG et UEHARA, 1973, le signe de ΔpH , qui peut être négatif, nul ou positif, varie de la même façon que celui de la charge nette de surface du sol, et constitue donc un indicateur pratique de l'effet des traitements sur les propriétés électrochimiques de ce sol.

Les trois graphiques de la figure 4 montrent le comportement très électronégatif du sol Dior, qui n'acquiert une charge nette de surface électropositive que dans le cas d'un apport massif G₅ de goëthite, et ce en l'absence de phosphore ou d'une forte quantité de matière organique. En effet, en présence d'un apport M₅ le sol demeure toujours électronégatif, quel que soit le traitement.

Ces graphiques démontrent d'autre part plus clairement, notamment pour les cas M₀ et M₁, et en présence d'une dose G₅ de goëthite, que l'ad-

sorption de phosphore est créatrice de charges électronégatives, puisque le ΔpH positif des points (P₀ G₅) redevient négatif pour (P G₅).

DISCUSSION

Ces résultats peuvent être discutés, d'une part dans le but de mieux comprendre l'origine des modifications de CEC induites par les traitements, et d'autre part, pour en évaluer la réelle portée sur le plan agronomique.

a) Les résultats moyens présentés dans la figure 3 suggèrent l'existence de deux types d'interaction.

Tout d'abord, une interaction négative phosphore \times matière organique : en effet, les pourcentages d'accroissement de la CEC du sol Dior dus aux apports de P sont de plus en plus réduits au fur et à mesure que ce sol est plus riche en matière organique. Tout se passe donc comme si la matière organique tendait à réduire le nombre de sites d'adsorption disponible aux ions phosphoriques, diminuant ainsi leur efficacité dans leur rôle de créateurs de charges négatives additionnelles. Cette efficacité peut être d'ailleurs considérée comme satisfaisante, en l'absence de matière organique, puisque l'on constate dans le meilleur des cas (comparaison M₀G₅P et M₀G₅P₀) que 25 mg de P, que l'on supposera entièrement adsorbé sur les 12,5 g de goëthite apportés (en négligeant l'adsorption très faible par le sol Dior) ont occasionné un accroissement de CEC de $1,41 - 0,93 = 0,48$ mé/12,5 g, soit 0,6 mé/100 g de goëthite par millimole P adsorbé : MEKARU et UEHARA travaillant sur des sols de Hawaï citent les chiffres de 0,8 mé/100 g d'accroissement de CEC par millimole P adsorbée.

La deuxième interaction observée concerne l'effet moyen sur la CEC du sol Dior des doses croissantes de goëthite, en présence ou non de phosphore.

En l'absence de phosphore, il peut paraître curieux que la CEC des traitements G₅ soit en moyenne (fig. 3.1) égale voire inférieure à celle des traitements G₁, puisqu'on a apporté au sol cinq fois plus d'un matériau qui possède une CEC propre, égale à 3,4 mé/100 g. Il semble donc qu'un certain nombre de sites d'échanges électronégatifs ait été bloqué par la goëthite, ce qui est vraisemblable puisque cet hydroxyde (dont le ZPC est voisin de pH 8,5) a un comportement nettement électropositif dans les conditions de l'expérience, comme le confirment les mesures de ΔpH de la figure 4.

En présence de phosphore, par contre, on n'observe pas en moyenne d'amélioration de la CEC, comparée aux traitements sans phosphore, que dans le cas des apports G₅.

Il semble que dans le cas du sol Dior seul, ou amendé par une dose G_1 de goëthite, les sites d'adsorption possibles pour P sont en fait bloqués par des groupements silanols Si-OH fortement fixés sur les surfaces adsorbantes, et qui ne sont pas générateurs de charge comme le sont les ions phosphates. Ces charges additionnelles n'apparaissent qu'en présence d'une concentration élevée d'ions $H_2PO_4^-$ dans la solution du sol (d'après le dispositif expérimental suivi, la quantité de P appliquée est cinq fois plus forte pour les traitements G_5 que pour G_1 , puisque l'on apporte 2 mg P/g de goëthite), et ces ions déplacent alors la silice, qui est mise en solution, libérant ainsi les sites pour l'adsorption P (OBIHARA, RUSSEL, 1972).

b) Sur le plan de la signification pratique de ces résultats on peut remarquer que, dans cette expérience, l'apport organique massif, correspondant au traitement $MO_5 G_0 P_0$ (soit équivalent environ à un apport de 50 t/ha de matière sèche) a augmenté la CEC du sol Dior de 63 % de sa valeur initiale (0,72 mé/100 g à 1,17 mé/100 g). Comparativement, l'amendement minéral massif, correspondant au traitement $MO_0 G_5 P$ (soit environ 500 t/ha de matériau ferrugineux et 1 t/ha de P), a presque doublé la CEC du même sol (0,72 mé/100 g à 1,41 mé/100 g).

Ces résultats ne sont pas aussi prometteurs qu'on aurait pu le souhaiter, mais on peut tout de même considérer, qu'à la différence de l'apport organique massif, l'amendement minéral a toute chance d'avoir un effet de longue durée sur la CEC du sol Dior, et donc correspondre à un changement très profond de la nature et de la capacité de production de ce sol.

En outre, il est raisonnable de croire qu'on peut améliorer l'efficacité de cet amendement, en jouant par exemple sur les modalités de son apport, avant l'incorporation au sol, de façon à pallier la compétition de P avec la silice.

Il faudrait surtout tester d'autres matériaux ferrugineux qui pourraient avoir un pouvoir d'adsorption et une surface spécifique plus élevée que celui du matériau utilisé. En particulier les matériaux issus des cuirasses ferrallitiques d'Afrique, servant couramment aux travaux publics, et qui, dans l'ensemble, sont constituées d'une majorité de sesquioxydes de Fe et Al amorphes, donc à fort pouvoir d'adsorption, devraient mieux correspondre aux caractéristiques recherchées.

Enfin, soulignons que cette expérience de laboratoire à caractère exploratoire, a été volontairement réalisée dans des conditions de sol extrêmement difficiles, le sol Dior ne contenant, rap-

pelons-le, que 2 % d'éléments fins. Or il existe certainement, en Afrique de l'Ouest, des sols qui, comme cela a été montré ailleurs (KENG et UEHARA, 1973), peuvent directement fixer le phosphore et par là, accroître leur charge nette de surface, ce qui devrait permettre alors une stabilisation de la matière organique des sols à un niveau plus élevé, objectif prioritaire pour l'augmentation de la capacité de production de cette zone géographique.

CONCLUSION

Cette expérience de laboratoire a montré qu'il était possible d'accroître (doubler) la CEC d'un sol très sableux, tel que les sols Dior du Sénégal, en utilisant des amendements minéraux à bas prix de revient dans ce pays, tels que de la poudre de « latérite » et des phosphates tricalciques. Une comparaison a été faite avec ce que l'on pouvait espérer, dans les mêmes conditions expérimentales, d'un apport massif de matière végétale laissée en incubation durant soixante jours, à 35 °C, dans ce même sol maintenu à sa capacité de rétention, l'accroissement de CEC obtenu a été, dans ce cas, plus réduit.

La portée pratique de cette expérience à caractère exploratoire, reste pour l'instant limitée. Des études complémentaires pourraient être entreprises, en optimisant les conditions expérimentales, et en utilisant d'autres types de sols et d'amendements.

On a pu cependant vérifier que l'adsorption de phosphore sur un matériaux ferrugineux augmentait sensiblement la CEC de ce matériau, et que ce phénomène pouvait être sensiblement modifié par la présence de matière organique et vraisemblablement, d'acide monosilicique plus ou moins ionisé.

Remerciements

Cette étude a été réalisée à l'Université de Hawaï, grâce à un financement IRAT, et sous la direction scientifique des Dr G. UEHARA et J. SILVA que nous remercions vivement.

Bibliographie citée

- ALLISON, 1973. — Soil organic matter and its role in crop production. *Els. Sc. Publ. Cons.*, Amsterdam.
- KENG et UEHARA, 1973. — Chemistry, mineralogy and taxonomy of oxisols and ultisols. *Soil and Crop Sc. Soc. of Florida*, 33, 119-26.
- MEKARU et UEHARA, 1972. — Anion adsorption in ferruginous tropical soils. *Soil Sc. Soc. Am. Proc.*, 36, 296-300.
- OBIHARA (C.H.), RUSSEL (E.W.), 1972. — Specific adsorption of silicate and phosphate by soils. *J. Soil. Sci.*, 23, 1, 105-7.
- PIERI, 1977. — Minéralogie et propriétés de surface de deux sols sableux du Sénégal. En cours de publication.

06329

ADAPTATION DES METHODES DE CONSERVATION DES SOLS AUX CONDITIONS ECOLOGIQUES ET SOCIO-ECONOMIQUES DE L'AFRIQUE DE L'OUEST

par E.J. ROOSE *

Maître de Recherche Principal en Pédologie - ORSTOM - BP V 51, Abidjan.

RESUME. — L'analyse à l'aide de l'équation de WISCHMEIER de plus de cinq cents résultats annuels de mesure de l'érosion observée en une vingtaine de stations réparties en Afrique de l'Ouest a permis de cerner la cause et de montrer l'importance relative des différents facteurs de l'érosion. Il en découle que les méthodes biologiques de conservation des sols sont bien plus efficaces et mieux adaptées aux conditions écologiques et socio-économiques de ces régions tropicales humides que les coûteuses méthodes de terrassement.

Mots-clé : mesure érosion, équation WISCHMEIER, méthodes biologiques, conservation, méthodes terrassement, Afrique de l'Ouest.

INTRODUCTION

Sous la plupart des climats, mais plus spécialement en région tropicale, le développement de l'agriculture pose nécessairement des problèmes de conservation de l'eau et des sols ; aussi l'homme a-t-il inventé des techniques anti-érosives adaptées aux circonstances écologiques, économiques et sociologiques locales. Le but de cette note serait de définir ces conditions afin de sélectionner les techniques conservatrices les mieux adaptées.

En Afrique de l'Ouest, la densité de population est généralement très faible (1 à 10 hab./km² en forêt et 5 à 25 hab./km² en savane), si bien que les cultures sont dispersées sur les pentes modérées des surfaces ondulées du vieux continent. Aux courtes périodes d'exploitation des terres (2-3 ans) succèdent de longues jachères (10 à 30 ans) durant lesquelles sont régénérées les propriétés physiques et chimiques de l'horizon superficiel du sol, grâce aux remontées biologiques d'origines végétales et animales. Si les pluies sont souvent violentes et agressives, elles sont généralement suffisantes pour faire croître une végétation abondante qui protège entièrement le sol. Il s'en suit qu'en milieu naturel tropical, en dehors de la zone sahélienne, l'érosion mécanique est moins active que l'érosion chimique.

Cependant, on assiste, depuis une vingtaine d'années, à un regroupement de la population dans certaines zones sous l'effet conjugué des pressions démographiques, administratives et économiques : on trouve par exemple de 50 à 100 hab./km² à Korhogo, en Côte-d'Ivoire, sur le plateau Mossi, en Haute-Volta, à Boukombé et dans la région côtière du Bénin. Avec la réduction de la jachère et la disparition du manteau forestier, sont apparus localement des phénomènes d'érosion accélérée. De plus, sous l'effet de la croissance de la demande en matières premières (coton, arachide, riz, sisal, etc.), on a cru bon d'étendre les défrichements par de puissants moyens mécaniques. Devant les échecs trop souvent constatés de la mécanisation en région tropicale, les agronomes accusèrent la fragilité des sols tropicaux et découvrirent la faiblesse de leurs réserves minérales : la végétation luxuriante ne se maintient que grâce à une « circulation » extrêmement rapide des éléments nutritifs entre le stock du sol, l'immobilisation par la plante et la minéralisation de la litière.

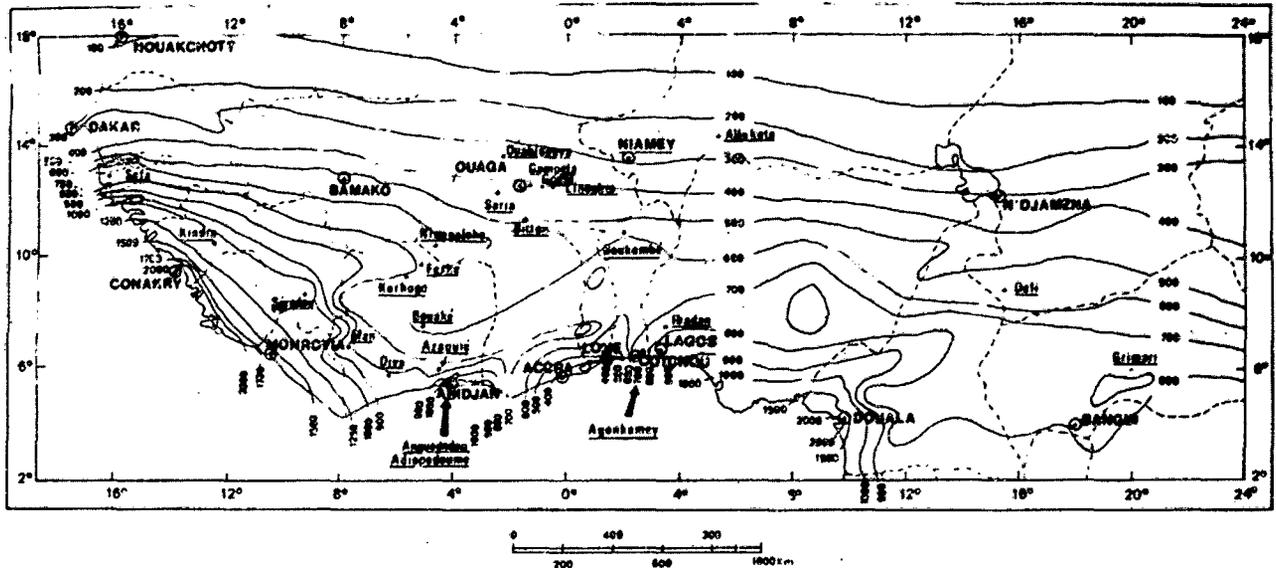
Face au problème préoccupant de la mise en valeur de ces immenses surfaces, l'ORSTOM et les Instituts Français de Recherches Appliquées ont mis en place, sous l'impulsion du Pr F. FOURNIER (1954-1967), tout un réseau de parcelles expérimentales de mesure de l'érosion et du ruissellement.

ROOSE (E.J.). — Maître de recherche en Pédologie à l'ORSTOM, actuellement laboratoire de Biologie appliquée, Université d'Orléans, 45100 Orléans - Cedex.

Vingt ans plus tard, on dispose de plus de cinquante résultats annuels collectés dans une vingtaine de stations réparties dans toute l'Afrique de l'Ouest d'expression française (voir les villes soulignées sur la carte). Beaucoup de résultats ne concernent que des circonstances locales, mais

leur analyse à l'aide de l'équation de prévision de l'érosion (WISCHMEIER et SMITH, 1960), permet d'évaluer l'importance des causes et des facteurs déterminant l'érosion et d'en déduire les méthodes conservatoires les mieux adaptées à ces régions.

ESQUISSE DE LA REPARTITION DE L'INDICE D'AGRESSIVITE CLIMATIQUE ANNUEL MOYEN (RUSA DE WISCHMEIER) EN AFRIQUE DE L'OUEST ET DU CENTRE
SITUATION DES PARCELLES D'EROSION



D'après les données pluviométriques rassemblées par le Service Hydrologique de l'ORSTOM et arrêtées en 1975.

Dressée par ROOSE (E.J)
 Maître de Recherche en Pédologie - ORSTOM - B.P 20 Abidjan

LE DISPOSITIF

Les résultats cités ici proviennent principalement de treize stations de mesure de l'érosion en nappe et en rigole sur une cinquantaine de parcelles de 100 à 5.000 m², situées dans cinq pays de l'Afrique de l'Ouest (voir carte et tableau I). Le climat varie de la forêt dense sub-équatoriale en Basse Côte-d'Ivoire (pluie = 2.100 mm) à la steppe sahélienne du Niger (pluie = 500 mm). A part la station d'Allokoto, située sur vertisol, toutes les autres stations sont installées sur des sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux à argile kaolinique presque exclusive.

LA PLUIE, CAUSE PRIMAIRE DE L'EROSION EN NAPPE

Tout transport exige une source d'énergie. Sur les vieilles surfaces érodées du continent africain comme dans la Grande Plaine américaine où les

pentcs cultivées sont moyennes à faibles, c'est l'énergie cinétique des gouttes de pluie qui déclenche la destruction des agrégats du sol, tandis que le ruissellement assure le transport des particules détachées. Cependant, lorsque la pente augmente, le ruissellement devient à son tour abrasif et son énergie finit par l'emporter sur celle de la pluie.

En étudiant les régressions liant la pluie au ruissellement et à l'érosion sur parcelles nues à Adiopodoumé (ROOSE, 1973), on a constaté que la hauteur des pluies explique mal, à elle seule, les phénomènes d'érosion ; il faut faire intervenir simultanément l'humidité du sol avant la pluie et l'intensité maximale de la pluie pendant un laps de temps suffisamment long (20 mn pour les transports solides et 10 mn pour le ruissellement).

En zone méditerranéenne et saharienne, HEUSH (1970) et ROOSE (1971, 1975) estiment que c'est l'averse exceptionnelle décennale ou centennale

qui imprime sa physionomie au paysage. Par contre, le niveau d'érosion en milieu tropical sec ou humide dépend de la somme des dix ou vingt plus fortes pluies de l'année plutôt que de l'averse

exceptionnelle, étant donnée l'abondance du couvert végétal (ROOSE, 1973). Tout ceci est en accord avec l'indice d'érosivité climatique proposé par WISCHMEIER et SMITH (1958, 1960).

Tableau I

EROSION (t/ha/an) ET RUISSELLEMENT (% des précipitations annuelles)
SOUS DIVERSES COUVERTURES VEGETALES EN AFRIQUE DE L'OUEST

Stations	Pente (%)	Erosion (t/ha/an)			Ruissellement (% des pluies annuelles)			Sources
		Milieu naturel	Sol nu	Culture	Milieu naturel	Sol nu	Culture	
Adiopodoumé (1954-1973) : ORSTOM	4,5	—	60	—	—	35 (98)	—	Roose 1973 1976
Forêt secondaire sempervirente	7	0,03	138	0,1 à 90	0,14	33 (95)	0,5 à 30 (27)	
Sol ferrallitique appauvri	20	0,2	570	—	0,7 (12) (*)	24 (76)	—	
P : 2.100 mm : 4 saisons	65	0,20 à 1	—	—	0,6 à 2,2 (16)	—	—	
Anguédédou (1966-1972) : IFAC - ORSTOM Plantation hévéa II C. Niv. Sol ferrall. app./sables 3 aires P : 2.000 mm : 4 saisons	29	—	—	0,6 à 0,3	—	—	0,3 à 0,9	Roose 1970
Azaguié (1966-1973) : IRCA - ORSTOM Forêt secondaire sempervirente Bananaeraie irriguée Sol ferrall. remanié/schistes P : 1.800 mm : 4 saisons	14	0,05 à 0,7 Md = 0,150	—	0,9 à 4,6 Md = 1,83	0,4 à 4 Md = 1,9 Max. = (31)	—	5 à 10 Md = 7 Max. = (74)	Roose Godefroy 1976
Diva (1967-1974) : LFCC - ORSTOM Forêt semi-décidue Sol ferrall. remanié/granite P : 1.750 mm : 4 saisons	9	0,5	—	—	1	—	—	Roose Jadin 1969
Bouaké (1960-1973) : IRAT - ORSTOM Savane arbustive dense Sol ferrall. rajeuni/granite P : 1.200 mm : 4 saisons	4	b. 0,20 n.b. 0,01	18 à 20	0,1 à 26	b. 0,3 (1,6) n.b. 0,03	15 à 30	0,1 à 26	Roose Bertrand 1972 Bertrand 1967
Korhogo (1967-1975) : ORSTOM Savane arbustive claire Sol ferrall. remanié/granite P : 1.400 mm : 2 saisons	4	b. 0,1 à 0,2	3 à 9	—	b. 5 (50)	35	—	Roose 1975
Ouagadougou (1967-1973) : CTFT - ORSTOM - IRAT Savane arborée claire Sol ferrug. less./granite P : 850 mm : 2 saisons	0,5	b. 0,15 n.b. 0,01	10 à 20	0,6 à 8	b. 10 (50) n.b. 2,5 (10)	40 à 60 (70)	2 à 32 (60)	CTFT 1974 Roose 1974
Séfa (Sénégal) (1954-1968) : ORSTOM - IRAT Forêt claire Sol ferrug. lessivé P : 1.300 mm : 2 saisons	1 à 2	b. 0,02 à 0,50 n.b. 0,02 à 0,20	30 à 55	2 à 20	b. 0,3 à 1,5 n.b. 0,1 à 1,2	25 à 55	8 à 40	Roose 1967 Charreau 1972
Cotonou (Bénin) (1964-1968) : ORSTOM Fourré dense Sol ferrall. mod./sables zaires P : 1.300 mm : 4 saisons	4	0,3 à 1,2	17 à 27,5 après défrichement	10 à 85	0,1 à 0,9 (2,5)	17 (69)	20 à 35 (70)	Verney Volkoff Willaime 1965-1970 Roose 1973
Boukoumbé (Bénin) (1960-1961) : Eaux et Forêts - ORSTOM Savane parc Sol ferrug. less. gravill./schistes P : 1.100 mm : 2 saisons	3,7	—	—	0,2 à 1,6	—	—	1 à 12 Max. = (75)	Colombani Fauck 1961 Willaime 1962 Verney-Willaime 1965
Allokoto (Niger) (1966-1971) : CTFT Savane arbustive Vertisol/calcaire P : 500 mm : 2 saisons	3,0	—	—	0,1 à 18,5	—	—	1 à 22 Max. = (70)	Delwaulle 1973

Note. — Les chiffres () représentent des coefficients max. de ruissellement pendant une pluie unitaire de fréquence décennale. Les indications b. et n.b. signifient « brûlé » ou « non brûlé » ; Md : médiane.

Le dépouillement de milliers de pluviogrammes nous a amenés à constater qu'il existe une relation simple entre l'indice d'érosivité climatique moyen annuel sur cinq à dix ans (Ram) et la hauteur de pluie moyenne annuelle pour la période correspondante (Ham) telle que :

$$\text{Ram/Ham} = 0,5 \pm 0,05 \quad (\text{éq. 1})$$

Ce rapport s'est vérifié en une vingtaine de points dispersés en Afrique de l'Ouest, à l'exception des stations situées aux alentours des massifs montagneux ainsi qu'en bordure de la mer. Cette relation nous a permis de dresser une esquisse de la répartition de cet indice climatique R pour l'ensemble de l'Afrique de l'Ouest (ROOSE, 1975). Il en découle que l'agressivité climatique est très élevée en région tropicale humide (Abidjan, R = 1.200) et décroît presque parallèlement aux isohyètes jusqu'au Sahel (Ouagadougou, R = 430). Ceci implique un parallélisme existant entre les précipitations annuelles moyennes d'une part, la hauteur de l'averse décennale et les courbes « intensité x durée » d'autre part (BRUNET-MORET, 1963-1967) : les pluies sont donc du même type dans toute cette zone.

On peut conclure qu'en zone tropicale humide, l'agressivité des pluies est très élevée (R = 1.000 à 2.000 entre Abidjan et Conakry), comparativement à celles qu'on a relevées aux USA (R = 50 à 650) (WISCHMEIER, 1962) et autour du bassin méditerranéen (R = 50 à 350) (KALMAN, 1967 ; MASSON, 1971 ; MASSON et KALMS, 1971) pourtant réputé pour son climat érosif. De plus, la

répartition des pluies au cours de l'année est loin d'être homogène : il peut faire sec pendant un à six mois et pleuvoir à verse pendant quelques semaines : à Abidjan, par exemple, il peut pleuvoir 240 mm en vingt-quatre heures et 1.300 mm en quatre à huit semaines.

LE COUVERT VEGETAL

C'est de loin le facteur conditionnel le plus important. En effet, tant que le couvert végétal est continu, qu'il s'agisse de forêt, de fourrés, de savanes, de pâturages ou d'un simple paillis, les phénomènes d'érosion sont médiocres malgré l'agressivité des pluies, la fragilité des sols et la pente (voir tableau I). La mise à feu de la savane, surtout si elle est tardive, augmente sensiblement le ruissellement et sa charge solide (ROOSE, 1974). Mais lorsque le sol est totalement dénudé comme c'est le cas après les défrichements mécanisés, les pertes en terre sont multipliées par 100 à 1.000 et le ruissellement par 20 à 50.

Sous culture, les phénomènes d'érosion sont intermédiaires et varient, dans une très large mesure, en fonction du type de plante, de la vitesse avec laquelle elle recouvre le sol et des techniques culturales mises en œuvre pour favoriser sa croissance. La densité et la précocité de la plantation, un minimum de travail du sol, une fertilisation bien adaptée et la restitution des résidus de culture jouent un rôle prépondérant.

Tableau II

FACTEUR C ANNUEL MOYEN POUR DIVERSES CULTURES

	C annuel moyen	
Sol nu	1	
Forêt, fourré dense, culture bien paillée	0,001	
Savane et prairie en bon état	0,01	
Savane ou prairie brûlée ou surpâturée	0,1	
Plante de couverture à développement lent ou plantation tardive première année	0,3 à 0,8	
Plante de couverture à développement rapide ou plantation hâtive première année	0,01 à 0,1	
Plante de couverture à développement rapide ou plantation hâtive deuxième année	0,01 à 0,1	
Maïs, mil, sorgho (en fonction des rendements)	0,4 à 0,9	
Riz de plateau en culture intensive	0,1 à 0,2	
Coton, tabac en deuxième cycle	0,5 à 0,7	
Arachide (en fonction du rendement et de la date de plantation)	0,4 à 0,8	
Manioc, première année et igname (en fonction de la date de plantation)	0,2 à 0,8	
Palmier, hévéa, café, cacao avec plantes de couverture	0,1 à 0,3	
Ananas à plat (en fonction de la pente) :		
— Avec résidus brûlés	0,2 à 0,5	
— Avec résidus enfouis	0,1 à 0,3	
— Avec résidus en surface	0,01	
Ananas sur billons cloisonnés (pente 7 %)	0,1	

L'influence des différents types de plantes sur le développement de l'érosion provient surtout de leur vitesse à envahir le terrain. Pour couvrir 90 % de la surface du sol et maîtriser l'érosion, il a fallu un mois à *Panicum maximum*, six semaines à *Cynodon æthiopicus* et à l'arachide, deux mois au maïs et au *Stylosanthes guyanensis* et six mois

au manioc et à l'ananas. Si la saison des pluies violentes coïncide avec la période de croissance des végétaux, l'érosion sera très variable d'une plante à l'autre ; mais une fois le sol couvert, les pertes en terre sont médiocres, quelle que soit l'architecture des plantes (en entonnoir ou en parapluie).

Le facteur C de l'équation de WISCHMEIER rend bien compte de l'influence fondamentale du couvert végétal et de l'adaptation des techniques culturales aux conditions écologiques régionales. En ne tenant compte que d'une valeur globale annuelle, ce facteur C varie de 0,9 à 0,1 pour les principales cultures de l'Afrique de l'Ouest. Il peut descendre à 0,01 sous savane et 0,001 sous culture paillée et sous forêt dense (voir tableau II).

LA PENTE

Les auteurs s'accordent pour reconnaître le rôle important que joue la pente (longueur, forme et surtout inclinaison) dans le développement de l'érosion lorsque le sol n'est pas entièrement couvert (ROOSE, 1973). FOURNIER (1967) fait cependant remarquer que celle-ci peut quelquefois démarrer sur des pentes inférieures à 1 % (exemple Samaru au Nigéria (KOWAL, 1972) et Saria et Gampela en Haute-Volta (ROOSE, 1974) où l'érosion = 4 à 20 t/ha/an pour des pentes de 0,5 %). ZINGG (1940), résumant les expérimentations effectuées sur des sols des régions tempérées américaines montre que les pertes en terre croissent de façon exponentielle avec l'**inclinaison de la pente**, l'exposant moyen étant voisin de 1,4.

Au Nigéria, LAL (1975) a trouvé que, sur un sol ferrallitique remanié riche en graviers (= alfisol), l'érosion croît avec la pente selon une courbe exponentielle d'exposant 1,2 lorsque le sol est nu, mais qu'elle est indépendante de la pente (1 à 15 %) si on laisse en surface une quantité suffisante de résidus de culture. Par contre, HUD-

SON (1973) en Rhodésie, et ROOSE (1975) en Côte-d'Ivoire, trouvent des exposants supérieurs à 2 pour différents sols tropicaux peu couverts. WISCHMEIER et SMITH (1960) estiment par contre qu'une équation du second degré s'ajuste mieux qu'une fonction logarithmique.

L'influence de la **longueur de la pente** étant variable selon les circonstances, un groupe de travail réuni à Purdue a finalement adopté pour l'usage courant l'exposant 0,5 pour exprimer l'influence de la longueur de la pente sur les pertes en terre. L'équation liant l'érosion à la pente s'écrit :

$$\text{facteur SL} = \frac{\sqrt{L}}{100} (0,76 + 0,53 S + 0,076 S^2) \quad (\text{éq. 2})$$

où L est la longueur de la pente en pieds et S l'inclinaison en %.

A Adiopodoumé **sur sol nu** et en moyenne sur cinq ans, on a trouvé des résultats voisins de ceux de la courbe théorique de WISCHMEIER et SMITH, mais très variables d'une année à l'autre (ROOSE, 1973). **Sous culture**, les résultats varient également très fort en fonction de l'intensité de la couverture végétale et des techniques culturales (voir tableau III). Quant au ruissellement, lorsque l'inclinaison de la pente augmente, il diminue sur sol nu et il a tendance à augmenter sous culture à partir de certains seuils. A Séfa, au Sénégal (ROOSE, 1967), il semble que de très faibles variations de pente (0,5 %) suffisent à entraîner des variations sensibles à la fois de l'érosion et du ruissellement (voir tableau III).

Tableau III
EFFET DE LA PENTE SUR LES PHENOMENES D'EROSION
EN FONCTION DU COUVERT VEGETAL ET DU SOL

Adiopodoumé 1956-1972	Pente (%)	Erosion (t/ha/an)			Ruissellement (K _r %)				
		Forêt	Sol nu	Culture	Forêt	Sol nu	Culture		
Sol ferrallitique sur matériaux argilo-sableux tertiaires	4,5	—	60	19	—	35	16		
	7	0,03	138	75	0,14	33	24		
Pluie moyenne = 2.100 mm	23	0,1	570	295	0,7	24	24		
	65	0,4	—	—	1,5	—	—		
Séfa (Sénégal). Cultures sarclées de 1955 à 1962. Sol ferrugineux tropical lessivé à taches et concrétions				pente 1,25 %		1,50 %		2 %	
Erosion moyenne (t/ha/an)				5		8,6		12	
Ruissellement moyen annuel (%)				16		22		30	

Théoriquement, l'érosion augmente avec la longueur de la pente car le ruissellement s'accumule, se concentre, prend de la vitesse et augmente son énergie. En pratique, les forces de frottement du sol motteux et de la végétation sont telles que l'influence de la longueur de pente varie considérablement selon les circonstances. C'est ainsi qu'au Bénin, WILLAIME et al. (1962, 1965, 1967) ont observé que l'influence de la longueur

de pente n'est ni constante ni très élevée. Cette influence incertaine de la longueur de pente sur les phénomènes d'érosion en splash et en rigole remet en cause l'efficacité des techniques anti-érosives du type des terrasses, banquettes et fossés de diversion qui sont trop souvent appliqués sans discernement sous des climats très variés (ROOSE, 1974).

Du point de vue scientifique, ce facteur topographique mériterait d'être précisé car l'influence de la pente n'est pas indépendante du couvert végétal, des techniques culturales, du sol et, probablement, du type de climat (ROOSE, 1973, 1975). Cependant, en attendant de disposer de données suffisantes, on peut s'appuyer sur l'indice topographique de WISCHMEIER (éq. 2) ou sur une équation exponentielle :

$$SL = C \times L^{0,5} \times S^{1,2 \text{ à } 2} \quad (\text{éq. 3})$$

C = constante dépendant des autres facteurs, L = longueur de pente en mètres et S = inclinaison en %.

Elle donne satisfaction dans la plupart des cas pratiques (HUDSON, 1973 ; ROOSE, 1975).

LA RESISTANCE DU SOL A L'EROSION

Vers 1945-1950, de nombreux agronomes alarmèrent l'opinion publique sur l'ampleur des phénomènes d'érosion observés en région tropicale : à peine débarrassés de leur végétation luxuriante, ces sols s'épuisent et sont dégradés en quelques années par l'érosion, même sur faible pente (voir cultures mécanisées de Séfa au Sénégal). D'où la fâcheuse renommée des sols tropicaux d'être extrêmement fragiles. En réalité, si les réserves nutritives et les matières organiques du sol évoluent rapidement (d'ailleurs dans les deux sens) en région tropicale, tous les sols tropicaux ne sont pas particulièrement sensibles à l'agressivité mécanique des pluies. Comme en région tempérée (WISCHMEIER, SMITH, 1960 ; WISCHMEIER, JONHSON, CROSS, 1971), il existe, en région tropicale, une large gamme d'érodibilité des sols (EL SWAIFI, 1975).

En ce qui concerne les sols à argile kaolinitique dominante (oxysol, alfisol, latosols) que nous avons testés sous pluies naturelles en parcelles nues standard, selon la méthode préconisée par WISCHMEIER, nous avons observé généralement une très bonne résistance mécanique à l'érosion (K voisin de 0,05) pendant les deux ou trois premières années après défrichement (ROOSE, 1974 ; CHARREAU, IITA, 1972). Ensuite, l'index K varie beaucoup d'une année à l'autre, mais tend vers des valeurs moyennes :

K = 0,08 à 0,12 sur sols ferrallitiques issus de sédiments argilo-sableux,

K = 0,12 à 0,15 sur sols ferrallitiques issus de granite,

K = 0,15 à 0,18 sur sols ferrallitiques issus de schiste,

K = 0,20 à 0,30 sur sols ferrugineux tropicaux divers issus de granite,

K = 0,01 à 0,05 sur divers sols gravillonnaires dès la surface.

Ces sols ont généralement une bonne perméabilité d'ensemble (10 à 120 cm/h d'infiltration au Müntz à double anneau) mais forment rapidement une pellicule de battance peu perméable, surtout s'ils sont mal couverts, pauvres en matières organiques et riches en limons et sables fins (2 à 100 microns), comme c'est le cas des sols ferrugineux tropicaux. L'application du nomographe de WISCHMEIER, JONHSON et ROOSE (1971) pour évaluer la sensibilité des sols à l'érosion a donné des résultats satisfaisants sur les sols testés, à condition d'y ajouter un coefficient modérateur tenant compte de la charge en gravier de l'horizon arable (DUMAS, 1965 ; ROOSE, 1974-1975).

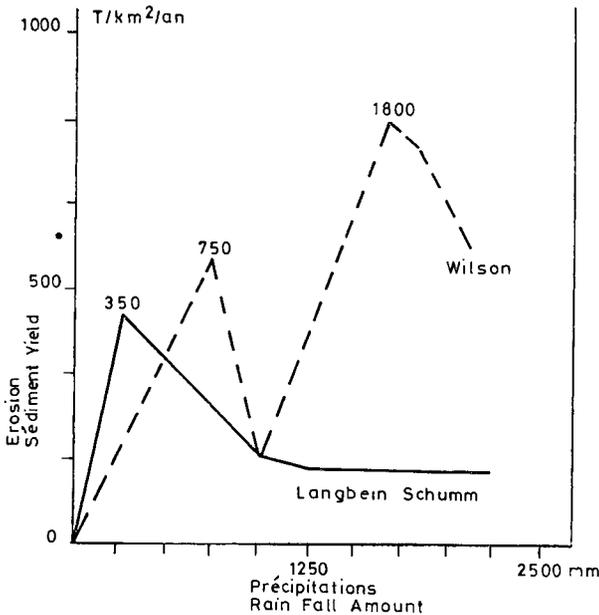
En définitive, il semble donc bien que les phénomènes spectaculaires d'érosion observés en Afrique de l'Ouest, soient dus à l'agressivité très élevée des pluies plutôt qu'à une fragilité particulière des sols tropicaux. Pour améliorer encore leur résistance, il convient d'augmenter les restitutions de matières organiques et d'éviter la formation des pellicules de battance (travail du sol, fertilisation et disposition en surface des résidus de culture).

CONCLUSIONS : LES TECHNIQUES ANTI-EROSIVES

Il faut prendre ici le terme de techniques anti-érosives au sens le plus large : il couvre toutes les pratiques agricoles permettant d'améliorer la conservation sur place des eaux de pluie et des sols. Pour définir la philosophie de la lutte anti-érosive, on a passé en revue les conditions écologiques qui règnent sur la majorité des surfaces cultivées de l'Afrique de l'Ouest : pluies très érosives, pentes moyennes à faibles, sols en général perméables mais sensibles à la battance, peu à moyennement érodibles. Les conditions socio-économiques sont celles de pays en voie de développement peu peuplés dont la productivité agricole est peu rentable, les ressources financières et les moyens mécaniques sont réduits.

Plusieurs auteurs ont montré qu'il existait une relation complexe non linéaire entre les transports de sédiments des fleuves (sédiment yield) et la hauteur de pluie annuelle (FOURNIER, 1949 ; LANGBEIN, SCHUMM, 1958 ; WILSON, 1973). Dans une première section de la courbe (voir fig. 2), correspondant aux zones sèches continentales (jusqu'à 350-750 m selon les auteurs), l'érosion croît avec la pluie, car la végétation est rare et les sols peu perméables. Ensuite, la courbe décroît, car plus les précipitations annuelles augmentent et plus la végétation protectrice est dense.

Enfin, au-delà de 900-1.000 mm, les transports de sédiments croissent à nouveau jusque vers 1.800 mm, probablement à cause des transports solubles (augmentation de l'altération chimique).



En Afrique de l'Ouest, la première section de courbe correspond aux zones désertiques et sahéliennes (jusqu'à 400-600 mm) où il est d'autant plus nécessaire d'appliquer des méthodes mécaniques pour modérer l'érosion et le ruissellement que la végétation se développe très lentement. Les deuxième et troisième sections de la courbe correspondent aux zones de savanes soudanaises, puis aux forêts de plus en plus denses à mesure qu'on s'approche de la zone équatoriale. C'est là le domaine privilégié d'application des méthodes biologiques de lutte anti-érosive qui consistent à favoriser le rôle protecteur des végétaux. En fait, les méthodes mécaniques et biologiques ne s'opposent pas ; elles se complètent, mais les terrassements coûteux sont souvent inutiles en zone tropicale suffisamment humide lorsque les moyens biologiques sont utilisés correctement (ROOSE, 1974).

Par conséquent, en dehors de la zone sahélienne, les circonstances économiques condamnent l'utilisation des diverses méthodes de terrassement lourd qui sont coûteuses à installer, difficiles à entretenir et non rentables. Pour cette raison, et parce que les techniques de terrassement sont largement décrites dans tous les manuels, nous nous arrêterons plus particulièrement aux moyens biologiques de favoriser l'infiltration des pluies, de conserver la fertilité des

sols et d'arrêter la destruction du capital foncier par l'érosion, tout en assurant une productivité élevée et permanente du domaine agricole.

Dans ces conditions écologiques et socio-économiques, la lutte anti-érosive devrait pouvoir s'organiser autour de trois thèmes :

1) Adaptation des techniques culturales en vue de la conservation de l'eau et de la fertilité des sols.

Pour sauvegarder la productivité des terres, il faut avoir recours à toute une série de mesures conservatrices simples qui ont pour rôle de favoriser le couvert végétal et de maintenir à un niveau satisfaisant la fertilité et, en particulier, le stock de matières organiques du sol. Citons :

- la plantation hâtive et dense, car la majorité des transports solides s'effectuent lors des premières averses ;
- une fertilisation minérale adéquate pour obtenir une production végétale élevée ;
- le choix de variétés vigoureuses, bien adaptées au climat, et résistantes aux maladies ;
- une politique de conservation des matières organiques (fumier, paillage et restitution des résidus de cultures) ;
- l'association de cultures dérobées aux cultures annuelles et de plantes de couverture sous les plantations arbustives ;
- deux années de jachère améliorée par les légumineuses (*Pueraria* et *Centrosema* en zone humide, *Stylosanthes* en zone sèche) alternant avec des périodes d'exploitation d'autant plus brèves que les sols sont vite épuisés ;
- rotation dans le temps et alternance dans l'espace de cultures couvrantes et de cultures sarclées ouvertes ;
- travail adapté au type de sol, en grosses mottes et réduit à la bande de semis sur sol ferrallitique, au contraire assez profond et effectué en fin de cycle sur sols ferrugineux ;
- buttage ou billonnage cloisonné ou paillé.

2) Aménagement du terroir en fonction de ses potentialités de production.

Il s'agit d'adapter aux conditions tropicales la classification des terres selon leur potentialité et les aménagements qu'elles exigent pour leur mise en valeur :

- intensification des cultures sur les terres les meilleures et les moins en pente afin de mettre en défense les terres épuisées ;

- limitation de la culture mécanisée à des parcelles de moins de 4 % de pente sur sol sableux et moins de 7 % sur sol argileux ;
- orientation des travaux culturels perpendiculairement à la plus grande pente ;
- l'exploitation des terres de plus de 7 % ne peut se faire que si le sol reste couvert en permanence (pâturage, verger sur terrasses individuelles à contre-pente, forêt) ;
- entretien d'un bon drainage du réseau routier afin qu'il ne se transforme pas en ravine ;
- transformation des ravines existantes en exutoires aménagés (protection biologique).

3) Fixation de l'agriculture à l'intérieur de structures en courbes de niveau.

L'intensification de l'agriculture entraîne nécessairement une augmentation des temps de travaux, des investissements et du coût de production en général, ce qui est incompatible avec une agriculture nomade. Sur les pentes cultivables, il faut donc organiser des structures permanentes telles que des bandes de 25-50 mètres de large, cultivées en suivant la direction générale des courbes de niveau principales s'appuyant sur un réseau de bandes anti-érosives enherbées en permanence. Cette méthode, qui a fait ses preuves en Côte-d'Ivoire tant en culture industrielle qu'en milieu villageois encadré, permet de fixer un cadre cadastral à l'intérieur duquel il sera facile d'appliquer les techniques d'intensification de l'exploitation agricole tout en modifiant progressivement la topographie (ROOSE, BERTRAND, 1971). Ces bandes anti-érosives (2 à 10 m de large), consistent en un tapis graminéen permanent destiné à bloquer

en quelques mètres l'érosion et une bonne partie du ruissellement provenant du champ cultivé. En cinq à dix ans, on obtient ainsi un paysage de champs en pente douce s'appuyant sur des talus enherbés.

Toutes ces méthodes simples sont à la portée des paysans qu'il faut à tout prix rendre responsables du maintien de la productivité de leur terroir.

Il y a quinze ans, on ne proposait, pour lutter contre l'érosion, que deux alternatives : soit des terrassements exigeant des interventions extérieures très lourdes, soit des mises en défense supprimant la production. On dispose aujourd'hui de toute une gamme de techniques simples, faisant intervenir les lois de la nature, pour lutter contre l'énergie des pluies. Elles visent le respect de la vocation et de la capacité de production de chaque terroir et l'intensification de l'exploitation des meilleures terres grâce à l'adaptation aux conditions tropicales des techniques culturales. Elles se traduisent, sur le terrain, par l'aménagement global des versants, l'extension du couvert végétal, une politique de conservation des matières organiques et l'augmentation de la rugosité et de la perméabilité de la surface du sol. Plus le climat est sec, et plus on est obligé de faire appel à des moyens mécaniques pour pallier aux déficiences du couvert végétal. En zone tropicale humide, par contre, les techniques biologiques de conservation de l'eau et du sol prennent une importance capitale et le travail du sol pourrait, semble-t-il, être réduit.

Depuis peu, productivité du terroir et conservation du sol vont de pair (HUDSON, 1973).

Bibliographie

BERTRAND (R.), 1967. — L'érosion hydrique et la conservation des sols en pays Baoulé. Coll. « Fertilité des sols tropicaux », Tananarive, 1967, n° 106, pp. 1281-95.

BRUNET-MORET (Y.), 1963. — Etude générale des averses exceptionnelles en Afrique Occidentale : République de Haute-Volta. Rapport multigr., ORSTOM, Comité Inter-Etats d'Etudes Hydrauliques, 23 p.

BRUNET-MORET (Y.), 1967. — Etude générale des averses exceptionnelles en Afrique Occidentale : République de Côte-d'Ivoire. Rapport ORSTOM, Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques multigr., 20 p.

CHARREAU (C.), 1972. — Problèmes posés par l'utilisation agricole des sols tropicaux pour des cultures annuelles. Séminaire IITA, Ibadan, 1972, 54 p.

DUMAS (J.), 1965. — Relation entre l'érodibilité des sols et leurs caractéristiques analytiques. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 3, 4, pp. 307-33.

EL-SWAIFY (S.A.), 1975. — Susceptibilities of certain tropical soils to erosion by water. IITA, Ibadan, 12 p. multigr., tabl., bibliogr. (Colloque sur la conservation et l'aménagement du sol dans les tropiques humides, Ibadan, 30 juin au 4 juillet 1975.)

FOURNIER (F.), 1949. — Les facteurs climatiques de l'érosion du sol. Assoc. Géogr. Française, Bull. 203, pp. 97-103.

FOURNIER (F.), 1954. — La parcelle expérimentale. Méthode d'étude expérimentale de la conservation du sol, de l'érosion et du ruissellement. Extrait du rapport de la Mission OECE « Etude des sols ».

FOURNIER (F.), (1967). — La recherche en érosion et conservation des sols sur le continent africain. *Sols africains*, 12, 1, pp. 5-53.

HEUSCH (B.), 1970. — L'érosion du pré-Rif. Une étude quantitative de l'érosion hydraulique dans les collines marneuses du Pré-Rif occidental. (In : *Annales de la Recherche Forestière au Maroc*, numéro spécial. Etudes sur l'érosion, 1970, t. 12. Rabat, pp. 9-176.)

HUDSON (N.W.), 1973. — Soil Conservation. BT, Batsford Limited London, 320 p.

KALMAN (R.), 1967. — Le facteur climatique de l'érosion dans le bassin du Sebou (Maroc). Projet Sebou, 32 p. multigr.

KOWAL (J.), 1972. — The hydrology of a small catchment basin at Samaru, Nigéria. 4. Assessment of Soil erosion under varied land management and vegetation cover. In : *Samaru Research*, Bull. 149, pp. 134-47.

LAL (R.), 1975. — Soil management systems and erosion control. IITA, Ibadan, 7 p. multigr. (Colloque sur la conservation et l'aménagement du sol dans les tropiques humides, Ibadan, 30 juin au 4 juillet 1975.)

LANGBEIN (W.B.), SCHUMM (S.A.), 1958. — Yield of sediment in relation to mean annual precipitation. *Am. Geophys. Union Trans.*, 39, pp. 1076-84.

MASSON (J.M.), 1971. — L'érosion des sols par l'eau en climat méditerranéen. Méthode expérimentale pour l'étude des quantités de terre érodée à l'échelle du champ. Thèse Doct. Ing. Univ. Sciences et Techniques du Languedoc. CNRS, n° AO 5445, 213 p.

MASSON (J.M.), KALMS (J.M.), 1971. — Analyse et synthèse des facteurs de l'érosion sur le bassin versant de la Têt à Vinca. EDF/Lab. Hydrologie Univ., Montpellier, note 1471, 90 p.

ROOSE (E.J.), 1967. — Dix années de mesure de l'érosion et du ruissellement au Sénégal. *Agron. Trop.*, 22, 2, pp. 123-52.

ROOSE (E.J.), BERTRAND (R.), 1971. — Contribution à l'étude de la méthode des bandes d'arrêt pour lutter contre l'érosion hydrique en Afrique de l'Ouest. Résultats expérimentaux et observations sur le terrain. *Agron. Trop.*, 26, 11, pp. 1270-83.

ROOSE (E.J.), 1971. — Note technique concernant l'érosion hydrique au Maroc. Bull. de liaison des Ing. Forestiers du Maroc, n° 6, pp. 47-52.

ROOSE (E.J.), 1972. — Comparaison des causes de l'érosion et des principes de lutte anti-érosive en région tropicale humide, tropicale sèche et méditerranéenne. Communication aux Journées d'Etude du Génie Rural à Florence, du 12-16 septembre 1972, pp. 417-41.

ROOSE (E.J.), 1973. — Dix-sept années de mesures expérimentales de l'érosion et du ruissellement sur un sol ferrallitique sableux de Basse-Côte-d'Ivoire. Contribution à l'étude de l'érosion hydrique en milieu intertropical. ORSTOM, Abidjan, 125 p. multigr. Thèse Doct. Ing., Fac. Sci. Abidjan, 1973, n° 20.

ROOSE (E.J.), 1974. — Contribution à l'étude de la résistance à l'érosion de quelques sols tropicaux. Communication au Congrès de Science du Sol de Moscou, 1974.

ROOSE (E.J.), 1974. — Conséquences hydrologiques des aménagements anti-érosifs. In : XIII^e Journées de l'Hydraulique, Paris, septembre 1974, question 3, rapport 10, 6 p.

ROOSE (E.J.), 1974. — Contribution à l'étude de l'influence de la sécheresse sur l'évolution actuelle de certains sols ferrugineux tropicaux en zone sahélienne. ORSTOM, Abidjan, 18 p., multigr.

ROOSE (E.J.), 1975. — Natural mulch or chemical conditioner for reducing soil erosion in humid tropical areas. In : *Soil Conditioners*, SSSA Special Publication n° 7, chap. 12, pp. 131-7.

ROOSE (E.J.), 1975. — Quelques techniques anti-érosives appropriées aux régions tropicales. ORSTOM, Abidjan, 7 p., multigr. (Colloque sur la conservation et l'aménagement du sol dans les tropiques humides, Ibadan, 30 juin-4 juillet 1975.)

ROOSE (E.J.), 1975. — Application de l'équation de prévision de l'érosion de Wischmeier et Smith en Afrique de l'Ouest. ORSTOM, Abidjan, 22 p., multigr. (Colloque sur la conservation et l'aménagement du sol dans les tropiques humides, Ibadan, 30 juin au 4 juillet 1975.)

ROOSE (E.J.), 1975. — Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest. Vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales. ORSTOM, Abidjan, 72 p., multigr.

VERNEY (R.), VOLKOFF (B.), 1967. — Etude de l'érosion sur « terres de Barre ». Erosion sous culture de maïs sans fumure minérale, 1966. Rapport multigr., ORSTOM, Cotonou, 18 + 17 p., 7 tabl.

WILSON (Lee), 1973. — Variations in mean annual sediment yield as a function of mean annual precipitation. *Am. J. Science*, 273, 4, pp. 335-49.

WILLAIME (P.), 1962. — Etudes pédologiques de Boukombé. ORSTOM, Mission Dahomey, 76 p., multigr., + annexes.

WILLAIME (P.), 1965. — Erosion « normale » sur terres de Barre. Rapport ORSTOM, multigr., 7 p. + annexe 9 p.

WISCHMEIER (W.H.), SMITH (D.D.), 1958. — Rainfall energy and its relationship to soil loss. *Trans. Amer. Geophys. Union*, 39, pp. 285-91.

WISCHMEIER (W.H.), SMITH (D.D.), 1960. — A universal soil-loss estimating equation to guide conservation farm planning. 7th Intern. Congr. Soil Science, vol. 1, pp. 418-25.

WISCHMEIER (W.H.), 1962. — Rainfall erosion potential. Geographic and location differences of distribution. *Agricultural Engineering*, n° 43, pp. 212-5.

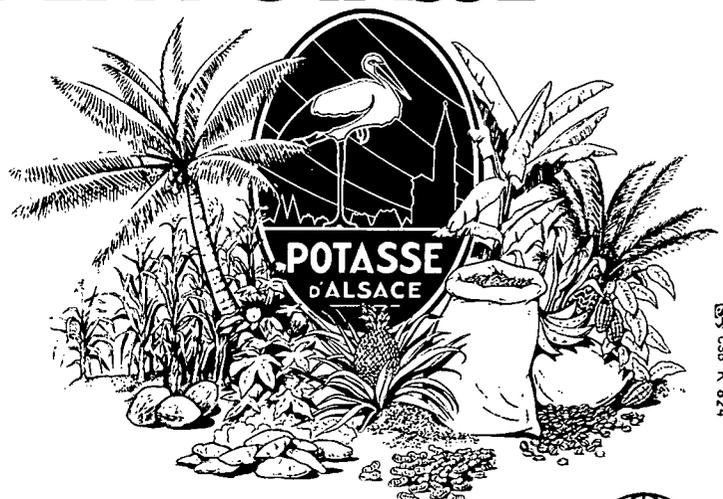
WISCHMEIER (W.H.), JOHNSON (C.B.), CROSS (B.V.), 1971. — A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *J. of Soil and Water Conservation*, 26, 5, pp. 189-92.

ZINGG (A.W.), 1940. — Degree and length of land slope as it affect soil loss and runoff. *Ag. Eng.*, 21, pp. 59-64.

LES CULTURES TROPICALES AIMENT LA POTASSE

QUALITE
RENDEMENT
PROFIT

engrais
potassiques



GROUPE EVC

SOCIÉTÉ COMMERCIALE DES POTASSES ET DE L'AZOTE

62-68, rue Jeanne d'Arc - 75646 PARIS CEDEX 13

Tél. : 584.12.80 Téléc. : P.E.M.C. 20191 F



L'HÉTÉROISIS :

approches physiologiques et perspectives

par A. BERVILLE

RESUME. — L'hétérosis est présenté comme un phénomène global inaccessible à l'analyse biochimique dans son ensemble. En contrepartie, l'originalité des approches fragmentaires par les différentes fonctions de base du métabolisme est source de méthodes utilisables en sélection.

Quelques données générales permettent de préciser la situation de choix que présentent les organites cellulaires par leur spécialisation fonctionnelle et comme carrefour des informations nucléaires et cytoplasmiques.

Une bibliographie permet de situer les résultats expérimentaux et de dégager les perspectives que l'on peut en attendre dans la pratique. Un cas concret est examiné à partir de résultats obtenus sur le palmier à huile.

De nombreuses questions qui restent sans réponse sont formulées, elles orienteront les recherches à venir pour l'obtention de marqueurs précoces de la vigueur hybride.

Mots-clé : hétérosis, vigueur hybride, spécialisation fonctionnelle, informations nucléaires, informations cytoplasmiques, sélection.

INTRODUCTION

Les effets dépressifs de l'autofécondation sont surtout marqués chez les plantes allogames. Les croisements entre plantes « déprimées » permettent de retrouver une vigueur inattendue qui se manifeste pour l'ensemble du végétal. Cette vigueur hybride, ou hétérosis, a été quantifiée chez de nombreuses espèces pour les paramètres liés à la croissance et au développement des plantes : hauteur, surface des feuilles, précocité, rendement en matière fraîche ; rendement en matière sèche, productivité en grains ; chacun des caractères précédents est le résultat d'une longue séquence d'événements physiologiques complexes, eux-mêmes programmés par de nombreux gènes susceptibles d'une variabilité dont la détection fournira un matériel de base à l'amélioration des plantes.

Dans cette note, nous tentons de montrer comment les différentes approches biochimiques de l'hétérosis s'insèrent dans l'étude de la biologie générale de la plante. Chaque approche correspond aux différentes fonctions représentées par les principales voies métaboliques.

La limite du champ d'investigation par les seules techniques biochimiques apparaît alors, d'où la nécessité de les compléter par des études biométriques qui permettent de quantifier des phénomènes complexes inabornables par l'analyse biochimique.

Par exemple, il est illusoire pour le biochimiste de vouloir décortiquer la séquence métabolique qui conduit à la taille supérieure de l'hybride alors que le biométricien et le généticien n'ont aucune difficulté à en faire l'analyse.

Un des buts poursuivis par cette revue bibliographique sommaire est de montrer les difficultés de l'approche d'un phénomène global tel que l'hétérosis par des techniques biochimiques qui conduisent à un morcellement des phénomènes. En contrepartie, l'originalité de l'approche est source de méthodes utilisables en sélection.

L'approche physiologique apparaît très particulière. Le biochimiste va choisir une réaction ou une séquence de réactions très limitées d'une chaîne métabolique. Il pourra *in vivo* ou *in vitro*, contrôler les paramètres susceptibles de modifier l'expression de quelques enzymes ou complexes enzymatiques impliqués dans cette séquence.

Ces restrictions ont pour conséquence l'isolement du système, en particulier la méconnaissance, en aval dans la chaîne, du rôle que joue le système étudié. De même, l'intégration du système dans l'ensemble du métabolisme reste hors de la portée du physiologiste, en particulier parce qu'il n'a aucune méthodologie lui permettant de déterminer les systèmes de régulation directs ou indirects modulant *in vivo* l'expression de la séquence étudiée.

Le physiologiste cherche donc à étudier les fonctions de base du métabolisme qui correspondent à des maillons relativement bien définis des chaînes métaboliques telles que celle de la photosynthèse, celle du métabolisme auxinique, celle de la respiration. Cependant, il ne saura pas comment s'intègrent les différents systèmes les uns par rapport aux autres. Cette situation inhérente à l'approche physiologique, va à l'encontre des préoccupations du sélectionneur qui s'intéresse au bilan métabolique général de la plante.

L'approche physiologique de l'hétérosis nécessite l'intégration de données génétiques (hétérozygotie, hérédité du cytoplasme, relations entre les gènes) et de données métaboliques portant sur de nombreux systèmes enzymatiques intervenant vraisemblablement dans tout le métabolisme (DEMARLY, 1972-1974).

LES BASES THEORIQUES

Les organites cytoplasmiques représentent des situations de choix pour explorer les mécanismes de l'hétérosis en raison de leur structure, des unités fonctionnelles qu'ils représentent et des techniques de séparation et d'études mises au point.

La mitochondrie et le chloroplaste ont été l'objet de nombreuses études qui portent sur l'hétérosis. Nous examinerons rapidement quels sont les principaux éléments de base qui pourraient être le siège des manifestations de l'hétérosis.

La mitochondrie.

Tout d'abord, dans les mitochondries, le métabolisme oxydatif est un ensemble de réactions qui contribue à l'oxydation des produits de la glycolyse et de la dégradation des lipides. Le transfert des électrons des substrats à l'oxygène se fait par palier grâce à des protéines particulières dont les cytochromes sont un exemple. L'énergie potentielle est récupérée sous forme d'**ATP** par l'enzyme de couplage ou **ATP** ase à un certain nombre d'étapes clés appelées sites de couplage.

Le même enzyme, quand il fonctionne en sens inverse, fournira l'énergie nécessaire aux réactions endergoniques.

La localisation cytoplasmique de ces réactions est bien définie et précise puisque cet ensemble métabolique se déroule dans les mitochondries. Ces organites peuvent être isolés et étudiés *in vitro* par leur capacité à consommer l'oxygène, fixer le phosphate dans l'**ADP**, les activités d'échange des protons. L'ensemble de ces paramètres permet de quantifier la production instantanée d'énergie par la voie respiratoire.

Les mitochondries sont constituées de protéines codées par l'**ADN** nucléaire (en grande majorité). Le noyau hybride est donc susceptible de coder au moins deux types de protéines. L'**ADN** mitochondrial code le système de synthèse de protéines propre à la mitochondrie et très certainement des protéines ou des sous-unités de protéines qui ont d'autres fonctions. La structure mitochondriale résulte de la juxtaposition de ces éléments ; elle est donc le siège d'interactions entre complexes d'origines génétiques différentes. On conçoit aisément que ces interactions augmentent très rapidement avec l'hétérozygotie nucléaire et l'hétérogénéité des informations mitochondriales.

Le métabolisme oxydatif est sans nul doute une des résultantes de ces interactions. On peut alors chercher à analyser par les variations du métabolisme oxydatif l'expression d'informations nucléaires différentes dans un même cytoplasme, soit celles de différents cytoplasmes ou d'un même génotype.

L'hétérosis étant un phénomène global, il est nécessaire de le découper en secteurs d'études ; par exemple par fonctions.

On constate, d'après les éléments précédents, qu'il y a nécessité d'analyser le rôle joué par le noyau et le cytoplasme, autrement dit de considérer l'hétérosis comme une manifestation des relations nucléocytoplasmiques.

Cette conception, qui est par ailleurs l'hypothèse de travail que nous avons adoptée, n'exclut pas l'hétérosis uniquement cytoplasmique et laisse une large part à ce que l'on appelle plus généralement les effets maternels, puisque le niveau d'expression de gènes nucléaires se trouve dans la structure mitochondriale.

Le chloroplaste.

Les mêmes remarques peuvent être faites pour les structures cellulaires mettant en contact des protéines d'origines génétiques différentes. En particulier, le chloroplaste représente formellement une structure convenable. De plus, le **DNA** chloroplastique contient davantage d'informations que le **DNA** mitochondrial. Les interactions doivent être

encore plus nombreuses. La spécialisation fonctionnelle du chloroplaste est aussi réalisée puisqu'il est le siège de la photosynthèse.

Les mécanismes élémentaires de la photosynthèse se situent au niveau des sites photosensibles récepteurs, de la formation du **NADPH**, des échanges gazeux, du dégagement d'oxygène, de la fixation du CO² par la **Ru DP** carboxylase et de la photorespiration ou bien de la fixation du CO² par la **PEP** carboxylase.

L'hybride (croissance plus intense, productivité plus importante) doit, au niveau le plus simple, nécessiter un bilan énergétique favorable, qu'il s'agisse de la production ou de l'utilisation de l'énergie cellulaire.

L'approche énergétique de l'hétérosis par les études du métabolisme oxydatif ou de la photosynthèse est donc une approche fondamentale, mais très limitée de la vigueur hybride. Les mécanismes étudiés essentiellement *in vitro* sont bien loin des fonctions complexes qui s'expriment dans la plante et qui sont recherchées pour leur intérêt agronomique. De plus *in vitro*, en l'absence des mécanismes de régulation qui existent dans le végétal, c'est en fait une mesure des potentialités énergétiques des organites : mitochondries ou chloroplastes qui est amorcée.

Ces limites n'empêchent pas de rechercher des corrélations entre des étapes métaboliques techniquement simples à mesurer et les productions agronomiques. De telles étapes sont susceptibles de fournir un test biochimique de la fonction recherchée. Aucune méthodologie ne permet d'orienter les recherches vers telle étape plutôt que vers telle autre, c'est ce qui explique la multitude de résultats fragmentaires que nous analyserons par la suite.

Le métabolisme général.

Outre les résultats acquis sur les organites cytoplasmiques, de nombreux travaux ont été entrepris par toutes sortes de techniques biochimiques disponibles. Celles-ci permettent l'étude des protéines *in vitro* aussi bien par la mesure de leurs activités enzymatiques que par leurs propriétés physiques. La spécificité des réactions catalysées permet, par le dosage du substrat ou du produit de la réaction, de suivre la réaction *in vitro*. Les protéines dépourvues d'activité enzymatique sont séparées en fonction de leur charge, de leur poids moléculaire ou reconnues par leur spécificité antigénique.

Cet ensemble d'outils biochimiques permet l'étude de nombreux enzymes ou de protéines en relation avec l'hétérosis, à partir de matériel végétal varié.

Un certain nombre de précautions sont à respecter pour interpréter les résultats de mesure d'activité enzymatique. Il peut exister une relation complexe entre l'activité enzymatique *in vitro* et la quantité d'enzyme dans les tissus *in situ*.

L'activité de l'enzyme est mesurée en présence d'une quantité de substrat qui n'est pas forcément celle que l'on trouverait *in situ*. Il peut exister une régulation de l'activité de l'enzyme par les variations de quantité de substrat. La destruction de la structure cellulaire, lors de la préparation de l'extrait, en modifiant l'environnement de l'enzyme étudié, peut modifier son activité et devenir une source d'erreurs.

Il est, par ailleurs, toujours difficile d'attribuer à un enzyme isolé un rôle dans l'efficacité de la vigueur hybride puisqu'il s'agit d'un bilan énergétique. En revanche, à partir d'une analyse séquentielle des enzymes intervenant dans une fonction, on peut commencer à déceler les manifestations de l'hétérosis. C'est d'ailleurs par une telle analyse séquentielle des enzymes impliqués dans la photosynthèse et la respiration que l'on peut situer l'impact de l'hétérosis sur les différentes fonctions des organites.

La complémentation mitochondriale.

Les dernières notions de base concernent la complémentation mitochondriale, terme ambigu qui nécessite une explication. La complémentation, au sens génétique du terme, est le rétablissement d'une activité témoin (généralement celle d'une souche sauvage) dans des hétérocaryons de champignon, ou à la suite de fusions cytoplasmiques dans le cas de mutants cytoplasmiques.

SARKISSIAN et coll. (1967) ont introduit le terme de complémentation mitochondriale en lui donnant un sens très particulier.

Un hybride et ses deux parents sont définis par leurs activités mitochondriales respectives : rapport ADP/O, consommation d'oxygène des mitochondries en présence d'un excès d'ADP, ou en ADP limitant, contrôle respiratoire... La complémentation mitochondriale consiste à mélanger *in vitro* les mitochondries des deux lignées parentales en parties égales et de mesurer l'activité du mélange. Si l'activité du mélange est significativement différente de la moyenne des activités parentales, on dit qu'il y a complémentation mitochondriale.

Dans le cas où le mélange présente la complémentation et les mitochondries de l'hybride hétérotique montrent des activités comparables, la complémentation mitochondriale apparaît comme un test de prédiction de la vigueur hybride.

Lors de la complémentation génétique, un seul enzyme est impliqué. Lors de la complémentation mitochondriale, seul le mélange *in vitro* est réalisé, les réactions à la base du phénomène observé sont absolument ignorées.

L'importance de ce test est telle, par les applications envisagées, que de nombreuses équipes ont tenté de reproduire les résultats de SARKISSIAN. Nous verrons plus loin la controverse qui est soulevée.

LES BASES EXPERIMENTALES

Le métabolisme photosynthétique.

Le taux de l'assimilation nette par unité de surface de feuilles est souvent signalé comme plus élevé chez les hybrides à un stade donné par rapport aux parents. On a tenté de relier au potentiel de migration des produits de la photosynthèse, mais il ne semble pas y avoir de corrélation entre ces deux facteurs.

Du fait des différences de stades physiologiques à un âge donné pour l'hybride et ses parents, les mesures du taux d'assimilation nette doivent être pondérées en tenant compte des retards de développement. Avec cette restriction, le taux de photosynthèse ne reflète pas toujours la vigueur de l'hybride. En ce qui concerne le cycle de HILL, MIFLIN et HAGEMAN (1966), classent un hybride de maïs comme intermédiaire des valeurs parentales. SARKISSIAN et HUFFAKER (1962) observent chez un hybride d'orge que la fixation du CO_2 par le cycle des pentoses est plus élevée que chez les parents.

La photophosphorylation non cyclique est intermédiaire pour un hybride de maïs par rapport à ses parents pour des plantes âgées d'un mois, KANA (1972). La phosphorylation cyclique est, soit identique au meilleur parent, soit au plus mauvais parent. Les activités **Ru D P carboxylase** (fixation du CO_2 par les plantes dites en C 3) et **PEP carboxylase** qui n'existe que chez les plantes dites en C 4 ne semblent pas en bonne corrélation avec la vigueur hybride. Les systèmes enzymatiques précédents ne sont pas encore suffisamment étudiés pour que l'on puisse pleinement interpréter les différences d'activités mesurées chez un hybride et ses parents.

On peut retenir de ces éléments que le taux photosynthétique représente un bilan complexe de mécanismes très différents susceptibles de réajustements au cours du développement de la plante. Il est donc difficile de supposer que l'on trouvera un haut niveau d'hétérosis pour un tel bilan.

Hétérosis d'enzymes ou de protéines.

L'activité de nombreux enzymes d'un hybride et de ses parents a été comparé *in vitro*. Un effet d'hétérosis décelé par ces activités est plutôt l'exception que la règle. Nous ne citerons que quelques exemples en essayant de regrouper les résultats par plante sans préciser toutefois les conditions techniques et le stade d'étude.

Chez le maïs, une activité supérieure a été mise en évidence chez l'hybride par ROBBINS (1962) pour la triose phosphate-déhydrogénase-aldolase et la Glucose-6-phosphate-déhydrogénase ; par ROOSE et SARKISSIAN (1968), pour l'isocitrate lyase ; par NIKOLOV et ISTATKOV (1974), pour l'isocitrate déhydrogénase, et par MARSALEK (1971) pour les peroxydases ; par MLADENOVA et IKOLOV (1976) pour la glutamate-déhydrogénase dans certaines conditions de lumière. DIMITROV et coll. (1972-1974) ont caractérisé des lignées de maïs et leurs hybrides par des fractions protéiques séparées par électrophorèse. Les constituants ont des propriétés immunologiques qui permettent la reconnaissance des génotypes. HAGEMAN et coll. (1963), mesurent une activité nitrate réductase plus élevée chez un hybride F_1 de maïs par rapport à ses parents.

Chez le sorgho, GHOSE et coll. (1974) observent que l'activité amyliase est plus intense chez l'hybride que chez ses parents.

Quant à de nombreuses activités enzymatiques liées au cycle des acides tricarboxyliques, il est logique de donner les résultats dans le cadre des activités mitochondriales.

Chez les micro-organismes, des activités différentes, selon les conditions d'extraction, ont été signalées chez la levure par BERNOFSKY et UTTER (1966), pour l'isocitrate déhydrogénase lié au **NAD** et au **NADP**. Dans le premier cas, la cinétique est influencée par l'extraction et non dans le deuxième. MUNKERS et WOODWART (1966), ont étudié un mutant de *Neurospora crassa* pour la malate-déhydrogénase dont les propriétés sont liées à l'insertion dans la membrane mitochondriale. Ce dernier fait est d'ailleurs à la base de la complémentation mitochondriale qui ne s'exprime que si le contact des membranes entre mitochondries est réalisé ; SRIVASTAVA (1972).

Le métabolisme oxydatif.

Les manifestations de l'hétérosis au niveau des mitochondries ont été signalées dès 1960 par HANSON et coll. (1960), qui trouvent une teneur en azote protéique plus forte pour les mitochondries de l'hybride. SARKISSIAN et coll. (1962-1964),

mesurent une respiration plus élevée de l'hybride (IR) et des quantités plus importantes de sucres réducteurs.

HAGEMAN et coll. (1967), pour les activités des intermédiaires du cycle de KREBS, situent un hybride de maïs au-dessus des parents. MAC DANIEL et SARKISSIAN (1966), signalent un effet d'hétérosis au niveau de la respiration et de la phosphorylation oxydative, puis précisent leurs résultats ; SARKISSIAN et MAC DANIEL (1967), en révélant un polymorphisme mitochondrial. Ils définissent alors, ce qu'ils appellent la complémentation mitochondriale et tentent d'évaluer la corrélation entre complémentation mitochondriale et hétérosis.

Par la suite, sur blés hybrides, SARKISSIAN et SRIVASTAVA (1969) et sur orges hybrides, MAC DANIEL (1971), rapportent des résultats analogues.

Devant l'intérêt que présente la complémentation mitochondriale, des études se développent sur betteraves par DONEY et coll. (1972), sur le blé, par SAGE et HOBSON (1973), sur *Cucurbita* et *Cucumis*, par GRIMWOOD (1972).

Tous les résultats cités vont dans le même sens. Ces auteurs décèlent un hétérosis mitochondrial, c'est-à-dire que les paramètres étudiés, la consommation d'oxygène et la phosphorylation oxydative sont à l'avantage de l'hybride. De plus, ces auteurs retrouvent des activités comparables en mélangeant les activités extraites des parents. C'est-à-dire qu'ils observent le phénomène de la complémentation mitochondriale.

Sur le blé, ZOBL et coll. (1972), ELLIS et coll. (1973), ne peuvent réaliser *in vitro* le phénomène de complémentation. Il est important de souligner que dans ces expériences, ils n'ont étudié que les parents sans utiliser l'hybride sexuel qui doit être un des témoins.

Sur le maïs, HANSON et coll. (1973), VAN GELDER et MEDIAMA (1975) ne révèlent ni hétérosis mitochondrial ni complémentation.

Les résultats qui portent sur l'hétérosis mitochondrial apparaissent donc contradictoires. Il semble qu'une partie des différences provienne de variations dans les conditions expérimentales utilisées par les différentes équipes.

En effet, la technique décrite par SARKASSIAN et coll. (1972), est rapide. Entre le moment du prélèvement des germes et les tests des mitochondries, il s'écoule de 10 à 12 mn, on est donc amené à réaliser des extractions sur de petites quantités de matériel (de 3 à 6 g usuellement pour le blé). Avec le maïs, la situation est identique et, de plus, la présence du scutellum est indispensable pour obtenir une manifestation de la

vigueur hybride. Quinze à seize heures après la mise en imbibition des semences, le scutellum est déjà le siège d'un métabolisme intense qui va en s'atténuant avec l'épuisement des réserves. Des études réalisées au laboratoire sur maïs, BERVILLE et coll. (1976) et sur blé, LABIB (à paraître), mettent en évidence, sans ambiguïté, un hétérosis mitochondrial, une fois disparus les effets maternels importants dans les premiers jours qui suivent la germination.

En particulier chez le blé, le cytoplasme du parent femelle, donc de l'hybride, est toujours celui de *Triticum timopheevi*. Ce cytoplasme confère à la lignée femelle une stérilité totale du pollen. SRIVASTAVA et coll. (1969), puis BERVILLE et coll. (1974), ont montré l'effet de ce cytoplasme sur la stimulation de la phosphorylation oxydative durant les quatre premiers jours qui suivent la germination. L'étude systématique de l'hétérosis chez les blés hybrides nécessite l'étude d'au moins quatre génotypes pour évaluer l'effet cytoplasme sur le génotype mâle. Sinon, on pourrait attribuer à l'hétérosis ce qui est l'effet du cytoplasme mâle stérile.

On considère donc que la partie du germe prélevé (absence ou présence du scutellum) et le choix des génotypes conditionnent largement la mise en évidence de l'hétérosis et la révélation d'effets maternels susceptibles de se manifester à la germination.

Au laboratoire, KOUAME (1976), en étudiant des mitochondries de jeunes racines prélevées sur des palmiers à huile adultes, obtient une bonne corrélation entre le rendement de ces arbres et les paramètres mesurés sur les mitochondries. Celles-ci sont étudiées sur les hybrides et leurs parents.

PERSPECTIVES

Les résultats qui viennent d'être rapportés permettent-ils de déceler une conduite à suivre pour introduire de nouveaux critères de sélection en amélioration des plantes ?

Les études biochimiques consistent à rechercher dans l'hybride les lois de l'avantage de la croissance, du rendement... Comme nous l'avons montré, ces recherches sont essentiellement orientées vers le métabolisme énergétique.

Les problèmes théoriques soulevés par de telles études sont nombreux et si les physiologistes en tirent des informations sur les principales fonctions métaboliques, le sélectionneur va chercher dans ces éléments un test de la vigueur hybride.

La question que doit se poser le sélectionneur est la suivante : ce test résultera-t-il d'une découverte fortuite ou peut-il être mis au point à la suite d'une méthodologie déterminée ?

Le physiologiste ne peut élaborer une méthodologie précise. Il ne peut guère que diversifier ses études en gardant un contact étroit avec le sélectionneur pour définir un test de prévision de l'hétérosis.

Bien entendu, le généticien dispose déjà de moyens fournis par la biométrie pour prévoir la valeur de croisements. Le test physiologique est donc recherché avec deux objectifs : d'abord parfaire la prédiction déjà déduite et ensuite permettre l'utilisation de marqueurs précoces insoupçonnables par l'approche biométrique.

Se livrer à une analyse de l'intérêt d'un test physiologique n'a d'intérêt que sur un cas concret. Le travail de KOUAME est un bon exemple.

Nous avons déjà signalé que par les paramètres respiratoires, KOUAME établit une bonne corrélation entre les valeurs des paramètres pour des mitochondries de racines et la production en graines ou en huile de ces arbres. A un regroupement des géotypes par tranche de productivité correspond le même regroupement pour un paramètre mitochondrial. Transposés dans la sélection, les résultats de KOUAME permettent une

économie de matériel végétal à suivre sur le terrain d'environ 50 %.

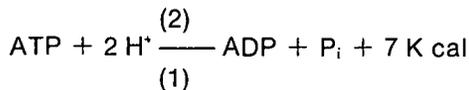
L'incidence de cette économie sur le coût de la variété est du même ordre et l'efficacité de la sélection est considérablement accrue puisque ne sont retenus que 50 % des meilleurs hybrides.

Reste à chiffrer le coût de l'analyse *in vitro*. Il est encore un peu tôt pour l'évaluer et certains éléments ne peuvent être qu'estimés. Il faudra tenir compte du facteur temps. KOUAME a abordé son travail sans posséder les techniques d'études des mitochondries de palmier à huile. La mise au point de celles-ci et l'acquisition de résultats ont nécessité dix-huit mois.

Pour terminer cette analyse des perspectives d'utilisation des tests précoces pour la prédiction de la valeur hybride, revenons sur le test de la complémentation mitochondriale. Sans entrer dans la polémique, il est évident que la maîtrise technique du phénomène est loin d'être réalisée et que l'on ne peut *a priori* en nier l'existence. Il nous paraît plus que jamais raisonnable de développer ces voies en multipliant les approches.

Abréviations

ADN	Acide déoxyribonucléique.	NADH	Nicotinamide adénine dinucléotide, forme réduite.
ADP	Adénosine 5' diphosphate.	NADP	Nicotinamide adénine dinucléotide, phosphate.
ADP — O	Nombre de molécules d'ADP transformées en ATP par atome d'oxygène consommé.	NADPH	Nicotinamide adénine dinucléotide, phosphate, forme réduite.
ATP	Adénosine 5' triphosphate. Contient une liaison riche en énergie.		Ces quatre composés sont des cofacteurs d'enzymes intervenant dans les réactions d'oxydoréduction.
ATP ase	Adénosine 5' triphosphatase. Enzyme de couplage. Il permet la récupération de l'énergie libérée lors des transferts d'électrons et le stockage sous forme d'ATP (sens 1). Dans le (sens 2), lors de l'hydrolyse de la liaison riche en énergie, il permet l'utilisation de l'énergie par d'autres synthèses.	IR	Intensité respiratoire. Consommation d'oxygène par unité de poids frais.
		Cycle de Hill	Les étapes de la photophosphorylation cyclique.
		Ru DP	Ribulose 1-5 diphosphate.
		PEP	Phosphoénolpyruvate.
		Ru DP	Carboxylase.
		PEP	Carboxylase.
			Ce sont les enzymes qui fixent le CO ₂ sur ces substrats.
NAD	Nicotinamide adénine dinucléotide.		



Bibliographie

- BERNOFSKY (C.), UTTER (M.F.), 1966. — Mitochondrial isocitrate dehydrogenases from yeast. *J. Biol. Chem.*, 241, 5461-6.
- BERVILLE (A.), LE PIERRES (D.), FEYT (H.), 1974. — Mise en évidence d'une résistance temporaire au cyanure des mitochondries de blés hexaploïdes mâles stériles cytoplasmiques. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 279, 1621-4.
- BERVILLE (A.), LABIB (Aida), THIELLEMENT (H.), KOUAME (B.), 1976. — Hétérosis mitochondrial. I. Résultats préliminaires chez un hybride simple de maïs. *Ann. Amél. Plantes*. (A paraître.)
- DEMARLY (Y.), 1972. — Régulation et hétérosis. *Ann. Amél. Plantes*, 22, 143-66.
- DEMARLY (Y.), 1974. — Hétérosis. VIIth Congress of Eucarpia. June 1974 hold in Budapest.
- DIMITROV (P.), PETKOVA (S.), NASHKOV (D.), NASHKOVA (O.), MARINKOV (E.), 1972. — Immunochemical studies of heterosis effect. In : *Zea Mays. Theoretical and Applied Genetics*, 42, 306-9.
- DIMITROV (P.), NASHKOVA (O.), PETKOVA (S.), NASHKOV (D.), MARINKOV (E.), 1974. — Immunochemical prognosis of heterosis. In : *Zea Mays. Theoretical and Applied Genetics*, 45, 91-5.
- DONEY (D.L.), THEURER (J.C.), WYSE (R.E.), 1972. — Mitochondrial complementation in sugar beet. *Crop Science*, 12, 493-4.
- ELLIS (J.R.S.), BRUNTON (C.J.), PALMER (J.M.), 1973. — Can mitochondrial complementation be used as a tool in breeding hybrid cereals? *Nature*, Vol. 241, 45-7.
- GHOSE (R.), ABROL (Y.P.), SINHA (S.K.), 1974. — Amylase heterosis and complementation in sorghum. *Plant Science letters*, 2, 173-6.
- GRIMWOOD (B.G.), 1972. — Mitochondrial respiration energy conservation and heterosis in *Cucurbita* and *Drosophila*. Thesis : University of Arizona, in 110 p.
- HAGEMAN (R.H.), ZIESERL (J.F.), LENG (E.R.), 1963. — Levels of nitrate reductase activity in inbred lines and F₁ hybrids in maize. *Nature*, 197, 263-5.
- HAGEMAN (R.H.), LENG (E.R.), DUDLEY (J.W.), 1967. — A biochemical approach to corn breeding. *Advances in Agronomy*, 19, 45-86.
- HANSON (J.B.), HAGEMAN (R.H.), FISHER (M.E.), 1960. — The association of carbohydrates with the mitochondria of corn scutellum. *Agro J.*, 52, 49-52.
- HANSON (W.D.), MORELAND (D.E.), SHRINER (C.R.), 1975. — Correlation of mitochondrial activities and plant vigor with genotypic backgrounds in maize and soybeans. *Crop Science*, Vol. 15, 62-6.
- KOUAME (B.), 1976. — Thèse de Doctorat de spécialité. Université de Paris-Sud. Bases biochimiques de l'hétérosis chez le palmier à huile (*Elaeis guineensis*).
- KRIDEL (D.I.), 1972. — Mitochondrial complementation and heterosis in *Pisum sativum*. Thesis. University of Arizona, 51 p.
- LABIB (A.). — Thèse de Doctorat de spécialité. Université de Paris-Sud (à soutenir).
- MAC DANIEL (R.G.), 1973. — Mitochondrial complementation : a plant-breeding tool for estimating combining ability of wheats and triticale. Wheat Symposium. FARGO.
- MAC DANIEL (R.G.), 1969. — Relationships of seed weight, seedling vigor and mitochondrial metabolism in barley. *Crop Science*, 9, 823-7.
- MARSALEK (L.), 1971. — A comparative physiologico-genetical study of activities of some enzymes in a heterotic single cross hybrid of maize (*Zea Mays*). *Euphytica*, 20, 131-7.
- MIFLIN (B.J.), HAGEMAN (R.H.), 1966. — Activity of chloroplasts isolated from maize inbreds and their hybrids. *Crop Science*, 6, 185-7.
- MLADENOVA (Y.), NIKOLOV (S.), 1974. — Regulatory control of Glumate deshydrogenase isozyme patterns in F₁ maize hybrids and their parental inbred lines. I. Effect of light. *C. R. Acad. Agric. G. Dimitrov*, Sofia, vol. 7, n° 2, 25-30.
- MUNKERS (K.D.), WOODWART (D.O.), 1966. — On the genetics of enzyme locational specificity. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, 55, 1217-24.
- NIKOLOV (S.), ISTAKOV (S.), 1974. — A study on the polymorphism of isocitrate dehydrogenase in heterosis combinations of maize. *C. R. Acad. Agric. G. Dimitrov*, Sofia, vol. 7, n° 1, 65-8.
- ROBBINS (W.J.), 1962. — Hybrid nutritional requirement. Heterosis, J.W. Gowen, Ed. Iowa State College Press, 14-48.
- ROOS (E.E.), SARKISSIAN (I.V.), 1968. — Isocitric deshydrogenase and isocitric lyase in heterotic and non heterotic maize (*Zea mays*, L.). (*Crop Science*, 8, 683-6.
- SAGE (G.C.M.), HOBSON (G.E.), 1973. — The possible use of mitochondrial complementation as an indicator of yield heterosis in breeding hybrid wheat. *Euphytica*, 22, 61-9.
- SARKISSIAN (I.V.), KESSINGER (M.A.), HARRIS (W.H.), 1964. — Differential rates of development of heterotic and non heterotic young seedlings. I correlation of differential morphological development with physiological differences in germinating seeds. *Proc. Nat. Acad. Science of USA*, 51, 212-8.
- SARKISSIAN (I.V.), MAC DANIEL (R.G.), 1967. — Mitochondrial polymorphism in maize. I. Putative evidence for *de novo* origin of hybrid specific mitochondria. *Proc. Nat. Acad. Sci. of USA*, 57, 1262-6.
- SARKISSIAN (I.V.), SRIVASTAVA (H.K.), 1967. — Mitochondrial polymorphism in maize. II further evidence of correlation of mitochondrial complementation and heterosis. *Genetics*, 57, 843-50.
- SARKISSIAN (I.V.), SRIVASTAVA (H.K.), 1969. — High efficiency heterosis and homeostasis in mitochondria of wheat. *Proc. Nat. Acad. Sci. of USA*, 63, 302-9.
- SARKISSIAN (I.V.), SRIVASTAVA (H.K.), 1970. — High efficiency of oxidative phosphorylation in mitochondria of wheat. *Can. J. Biochem.*, 48, 692-8.
- SCHNEITER (A.A.), MAC DANIEL (R.G.), DOBREN (A.K.), SCHONHORST (M.H.), 1974. — Relationship of mitochondrial efficiency to forage yield in alfalfa. *Crop Science*, 14, 821-4.
- SINHA (S.K.), KHANNA (R.), 1972. — Photosynthetic, 6, 195-6.
- SINHA (S.K.), KHANNA (R.), 1975. — Physiological, biochemical and genetic basis of heterosis. *Advances in Agronomy*, 27, 123-74.
- SRIVASTAVA (H.K.), SARKISSIAN (I.V.), SHANDS (H.L.), 1969. — Mitochondrial complementation and cytoplasmic male-sterility in wheat. *Genetics*, 63, 611-8.
- SRIVASTAVA (H.K.), 1970. — Studies of biochemical bases of mitochondrial heterosis in wheat. Thesis. Texas A and M University, in 130 p.
- VAN GELDER (W.M.J.), MIEDEMA (P.), 1975. — Significance of mitochondrial complementation for plant breeding : negative evidence from a study on maize. *Euphytica*, 24, 421-9.
- ZOBL (R.), FISCHBECK (G.), KEYDEL (F.), LATZKO (E.), 1972. — Complementation of isolated mitochondria from several wheat varieties. *Plant. Physiol.*, 50, 790-1.

06330

AMELIORATION DU MAIS ET VARIABILITE GENETIQUE

par S. RAUTOU

RESUME. — Les progrès actuels en amélioration variétale du maïs sont presque stationnaires. Cela résulte, en partie, de l'étroitesse de la variabilité génétique du matériel végétal utilisé.

Les objectifs recherchés par le sélectionneur étant l'accroissement du niveau du rendement et de la régularité de celui-ci, l'auteur indique brièvement les relations qui existent entre ces deux paramètres et les modes d'action des gènes. Parmi ces derniers, le mode génique additif est le plus efficace ; il se manifeste surtout chez le matériel végétal à base génétique large.

L'auteur propose ensuite des méthodes, d'une part pour améliorer la variabilité génétique d'un matériel végétal en augmentant la fréquence des génotypes intéressants, en particulier en utilisant la méthode de la sélection récurrente et, d'autre part, pour élargir la variabilité génétique par des moyens : introgression génique, par croisement avec des populations exotiques, mutagenèse et éventuellement fusion protoplastique. Puis il souligne l'importance du maintien et de la conservation des variabilités géniques et cytoplasmiques du matériel végétal disponible.

La recherche de méthodes visant à identifier, avec plus d'efficacité, les constitutions génotypiques et cytoplasmiques du matériel végétal, notamment par des procédés physiologiques autres que le processus sexuel, doit être amplifiée. L'auteur cite plusieurs exemples qui illustrent diverses orientations données à ces recherches.

Mots-clé : maïs, méthodes de sélection, stabilité génétique, mode génique additif, sélection récurrente, introgression génique, population exotique, mutagenèse, fusion protoplasmique.

Les progrès concernant l'amélioration variétale dépendent de la variabilité génétique dont on dispose. Pour le maïs, ceux-ci sont, depuis de nombreuses années, presque stationnaires.

Si l'on examine, dans le temps, les progrès accomplis en matière d'amélioration de la production du maïs aux Etats-Unis, on constate que ceux-ci ont été nets pendant deux périodes (fig. 1). L'une correspond à la période 1930-1950 pendant laquelle le producteur américain a bénéficié des effets de l'hétérosis avec la venue des hybrides F₁. A la fin de cette période, les progrès variétaux ont été moins nets, mais heureusement par la suite, pendant la période 1950-1965, les Américains ont appris l'utilisation des engrais azotés surtout, et appliqué des techniques efficaces de désherbage. Il en a résulté une élévation du niveau du rendement en grain, due en partie aussi à de légers progrès variétaux. Ces derniers concernent d'une part les facteurs de la régularité des rendements et, d'autre part, la production des semences hybrides de qualité, rendue plus facile grâce à l'utilisation de l'androstérilité cytoplasmique notamment. Depuis, les progrès sont ralentis.

Avant d'examiner comment cette situation va évoluer, il est utile d'essayer de connaître les causes qui ont contribué à cet état de fait pour y porter remède.

Quelques-unes peuvent être avancées :

- connaissance imparfaite de la physiologie du maïs, notamment celles portant sur la photosynthèse, la protéosynthèse, les relations entre ces deux processus, les migrations des métabolites, etc. ;

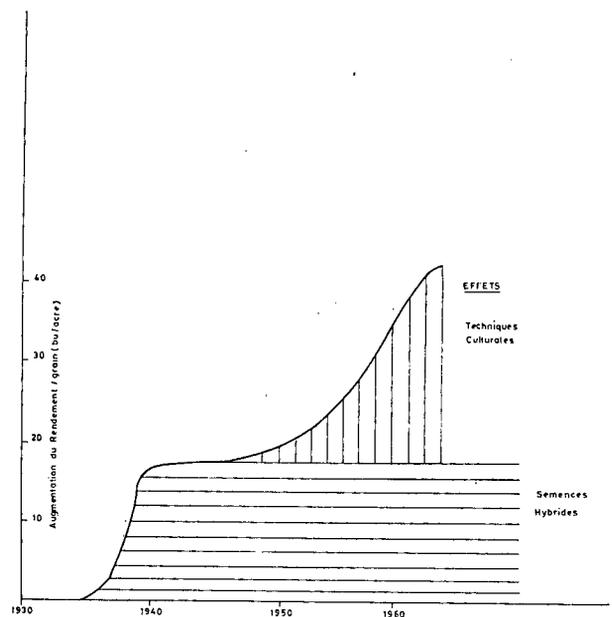


FIGURE 1. Rendement du Maïs en IOWA signalé par HO GEVERS (13)

- utilisation incomplète de la variabilité génétique mondiale ;
- méconnaissances des causes de l'hétérosis ayant pour conséquence la mise au point de méthodes de sélection peu efficaces ;
- méthodes statistiques ne permettant pas d'isoler les meilleurs génotypes, et notamment d'évaluer de façon précise les interactions génotypes \times milieux.

L'objet de cet exposé est limité aux progrès que l'on peut attendre d'une meilleure utilisation de la variabilité génétique mondiale.

Depuis 1950, les sélectionneurs américains se sont inquiétés de la stagnation du niveau des rendements résultant de l'étroitesse de la variabilité génétique utilisée. TIMOTHY, en 1963, estime que les maïs américains et canadiens représentent 2,5% de la variabilité génétique mondiale. EBERHART et MOLL pensent que si, dès le début de l'utilisation de l'hétérosis, on avait amélioré les populations de pays au lieu d'en tirer directement des lignées par autofécondation, on aurait observé des progrès plus spectaculaires chez les hybrides et accru, chez les populations, la fréquence des génotypes intéressants.

C'est pour pallier les conséquences néfastes de cette étroitesse, que les sélectionneurs américains ont pris diverses mesures pour utiliser au mieux la variabilité génétique disponible : classement des lignées d'après leur origine en groupes A et B, production d'hybrides à partir de lignées non fixées : apparition des notions de broad-lines, d'homéostasie, production de synthétiques pour bénéficier au maximum des recombinaisons géniques. Pour élargir la variabilité, on a commencé l'étude des populations exotiques (précoces, tropicales et subtropicales) en vue de l'introgression de gènes nouveaux dans le matériel végétal adapté. Enfin, on a parfois fait appel à la mutagenèse pour, en particulier, rompre l'équilibre génique d'un matériel de départ.

Quelle est maintenant la situation en matière de variabilité génétique ? Les principales lignées du Corn Belt peuvent être classées, d'après leur origine, dans cinq groupes héréditaires représentés dans le tableau I. Les meilleurs hybrides actuellement cultivés résultent du croisement de lignées issues de **Stiff Stalk Synthetic** avec des lignées tirées de la population **Lancaster**. Aussi, les lignées **A 632**, **Mo 17** et **B 37** entrent-elles respectivement pour 15,2, 7,0 et 6,8% de la production totale des semences commerciales utilisées aux Etats-Unis en 1975 (34). En Europe, les lignées **F 7** et **F 2** entrent dans la composition de la plupart des hybrides précoces.

En matière de variabilité cytoplasmique, la situation n'est pas plus brillante. Le cytoplasme normal est présent dans 88% de la production américaine de semences utilisées en 1975, et les cytoplasmes androstériles C et S respectivement pour 7,0 et 2,0%.

Quelle est l'origine des lignées américaines qui seront mises à la disposition des sélectionneurs, en particulier des sélectionneurs français, dans les prochaines années ?

Si l'on se réfère à des renseignements prélevés dans le rapport du groupe de travail des sélectionneurs des Stations officielles du Centre-Nord, reportés dans le tableau II et concernant le jugement de la valeur hybride de nouvelles lignées en 1975, on constate peu de changement dans l'origine. Une enquête faite par M. S. ZUBER en 1975, et dont les conclusions sont reportées dans le tableau III, montre aussi que l'évolution de la variabilité génétique utilisée est très lente. Ce fait s'explique en partie par les difficultés rencontrées pour modifier celle-ci.

INTERETS AGRONOMIQUES DE LA DISPOSITION D'UNE LARGE VARIABILITE GENETIQUE

Le sélectionneur de maïs a pour objectif principal l'obtention d'hybrides à la fois productifs en grain, et possédant une bonne adaptation à des milieux divers, laquelle conditionne la régularité de la production. De plus, la disposition des lignées vigoureuses et productives en grain apporte la sécurité dans un programme de production de semences. La production en grain de l'hybride dépend de sa vigueur qui est liée à l'hétérosis. La bonne adaptation de l'hybride à des milieux variés est acquise lorsque l'interaction : hybride \times milieux est très faible.

Examinons brièvement les relations qui existent entre ces objectifs et les gènes qui composent un matériel végétal.

La figure 2 et les tableaux IV, V, VI et VII montrent la participation des gènes et de leurs allèles — concernant un locus et deux loci — à l'expression de l'hétérosis selon diverses hypothèses admises : mode d'action additif par accumulation de gènes, et mode d'action non additif résultant d'interactions alléliques et géniques : dominance, superdominance et épistasie.

Sans entrer dans le détail, pour ne pas sortir du cadre du sujet traité, la figure 3 représente, schématiquement, le comportement possible d'hybrides sous divers milieux (7). En définitive, le sélectionneur doit obtenir un hybride possédant, à la fois un rendement moyen élevé avec un coefficient de régression b voisin de 1, et une déviation moyenne des rendements par rapport à la droite de régression non significative.

Le tableau VIII indique les relations qui existent entre le mode d'action des gènes et la productivité en grain de la lignée, ainsi que pour l'hybride, entre le mode d'action et la productivité en grain et l'adaptation. On constate que le mode d'action additif, par accumulation de gènes favorables à la vigueur, participe plus efficacement à la réalisation de ces objectifs que le mode non additif.

Le problème n'est pas si simple que celui présenté dans la figure 2 et les tableaux IV, V, VI, VII. Il se complique du fait qu'il peut exister à chaque locus une série allélique plus ou moins importante ; si n est le nombre d'allèles, le nombre de combinaisons alléliques à chaque locus est $n(n+1)/2$. Le tableau IX donne pour cinq loci et pour chaque locus — avec une série allélique particulière — le nombre de génotypes possible qui s'élève ici à 34.020 ; pour 20 loci, et deux allèles à chaque locus, le nombre de génotypes dépasse 3 milliards.

L'efficacité du travail du sélectionneur est donc conditionnée à la base, d'une part par la production d'un matériel de départ visant à recueillir le maximum de génotypes intéressants et d'autre part, à améliorer celui-ci en augmentant la fréquence de ces génotypes. En procédant ainsi, on peut beaucoup espérer en matière d'amélioration variétale si l'on pense, en outre, que la variabilité génétique actuelle exploitée est restreinte.

Pour établir le plan concernant la suite de cet exposé, on peut s'inspirer de celui qu'adopterait un sélectionneur commençant un programme de sélection et ne disposant de presque rien en matière de variabilité génétique.

Dans un premier temps, pour satisfaire les impératifs commerciaux immédiats demandés par sa maison et apporter des crédits au budget recherches, il utilisera du matériel de départ à base génétique étroite : lignée, descendance d'hybride simple et de recroisement ; se référer pour cela aux cas des lignées **F 7** et **F 2**.

Suit une période où le sélectionneur fait appel à du matériel végétal à base génétique plus large, tel que des descendances d'hybride double, de top-cross et de populations de pays. Beaucoup de sélectionneurs français sont parvenus à ce stade.

Avec le temps, le sélectionneur dispose davantage de matériel végétal et ses connaissances sur la valeur de celui-ci se précisent, ceci lui permet, dans une troisième étape, d'améliorer la variabilité génétique en produisant des composites et des synthétiques dans le but de bénéficier des recombinaisons géniques. Lorsque ces travaux sont avancés et exploités, il peut poursuivre alors l'étude des variétés exotiques en vue de l'introgession de gènes nouveaux dans le matériel végétal adapté à ce qu'il réalise dans une autre période. Si les progrès escomptés par ces travaux sont impossibles ou trop aléatoires, le sélectionneur peut recourir à la mutagenèse et peut-être aussi à la fusion de protoplastes.

Enfin, parvenu à ce stade, une part importante du budget devrait être réservée à des recherches visant à identifier plus facilement, du point de vue génotypique, le matériel végétal. Ces recherches sont intéressantes par deux aspects : production de matériel à base génétique très large par complémentation génique, et obtention d'hybrides à effets hétérotiques élevés en déterminant, par des moyens autres que le croisement, les partenaires de départ d'une sélection réciproque.

MATERIEL DE DEPART A BASE GENETIQUE ETROITE

Parmi le matériel de départ à base génétique étroite, citons pour mémoire l'introduction dans la formule d'un hybride nouveau de lignées étrangères — sens large — comme ce fut le cas des lignées F7 et F2 utilisées par les maisons de sélection.

Une lignée peut être améliorée pour un caractère monogénique en utilisant la méthode du recroisement. Pour aboutir à un bon résultat, il faut réunir plusieurs conditions. D'abord choisir un ou, de préférence, plusieurs géniteurs apportant manifestement le caractère, de façon à ne conserver que la descendance croisée où le caractère n'est pas altéré par des gènes modificateurs. Le caractère doit être facilement décelable pour être retenu à chaque cycle. Enfin, au moins lors des derniers cycles de recroisement, la lignée récurrente est utilisée comme parent femelle afin de sauvegarder la variabilité cytoplasmique actuelle.

S'il s'agit de transférer à une lignée un caractère de nature polygénique, on utilise la méthode mise au point par RINKE (23), (voir annexe A). Cette méthode, utilisée par l'INRA depuis de nombreuses années, s'est révélée très efficace pour adapter des lignées tardives intéressantes à des milieux défavorisés du point de vue de la chaleur sans trop déprécier les autres caractères agronomiques.

Le recroisement permet aussi l'obtention de lignées isogéniques en plusieurs versions cytoplasmiques. Ce travail d'amélioration est entrepris à l'INRA en vue de la production d'hybrides multiplasmés, avec ou sans l'aide de l'androstérilité cytoplasmique, dans le but de réduire la vulnérabilité des hybrides aux accidents climatiques et parasitaires.

Une autre catégorie de matériel est constituée par la descendance d'hybrides résultant du croisement d'un petit nombre de lignées (de 2 à 4). Chaque lignée apporte dans la descendance un certain nombre d'allèles dominants qui peuvent être identiques ou différents de ceux apportés par les autres lignées. Pour accroître l'efficacité de son travail, le sélectionneur a intérêt à utiliser des F2 à base génétique la plus large possible. Si les descendances proviennent d'hybrides simples, le sélectionneur est donc amené à trier

un grand nombre de F2 avant d'effectuer des départs en lignée. Comment déterminer les descendances les plus prometteuses ? Ce sont celles qui ont les variances génétiques additives les plus élevées ; écrit sous une autre forme : ce sont les descendances dont la fréquence des lignées productives en grain est la plus élevée. Il y a, en effet, une corrélation positive entre la productivité en grain de la lignée, et la richesse en allèles dominants de son génotype, mode d'action génique additif.

On procède ainsi à l'INRA pour identifier les F2 les plus intéressantes. D'abord on produit les croisements F1 : par exemple une lignée « clé » présentant quelques caractères agronomiques déficients est croisée avec une lignée ou, de préférence, avec plusieurs lignées correctrices très différentes du point de vue génétique. Les F2 sont produites à raison de 2 à 3 kg de semences pour chacune d'elle. Chaque F2 est semée sur une parcelle comprenant 200 plants, le reste de la semence est stocké en chambre conditionnée. On effectue, par parcelle, une centaine d'autofécondations. Ensuite, par F2 : on observe la centaine d'épiligne et l'on détermine à maturité le pourcentage des lignées les plus productives et suffisamment résistantes à la verse. Les stocks des F2 dont la fréquence est la plus élevée servent à semer autant de parcelles qu'il y a de F2 retenues à raison de 2.000 à 3.000 plantes par parcelle. Enfin, les départs en lignée sont effectués en procédant à plusieurs centaines d'autofécondations par F2.

MATERIEL DE DEPART A BASE GENETIQUE LARGE

Le matériel de départ à base génétique large est composé de : population ou variété de pays, croisement intervariétal, top-cross, c'est-à-dire de croisement entre une population et une lignée ou un hybride simple, synthétique et composite. Le départ direct en lignée dans cette catégorie de matériel n'est pas à conseiller car, souvent, il présente des défauts : sensibilité à la verse des tiges, tardiveté, manque de prolificité en épis, etc., qui réduisent l'efficacité de la sélection. En éliminant les lignées présentant ces défauts, on perd définitivement des allèles dominant d'autres caractères liés momentanément aux génotypes conditionnant ces caractères indésirables. Aussi, est-il conseillé d'améliorer le matériel de départ en recherchant un double objectif : d'une part, concentration, dans celui-ci, des génotypes les plus intéressants et, d'autre part, pression légère de sélection, mais continue, pour réduire les caractères indésirables. Le sélectionneur dispose pour cela de plusieurs méthodes.

La plus connue et la plus générale est la **sélection récurrente**. Pour tirer le plus de profits de celle-ci, le sélectionneur doit tenir compte des remarques suivantes :

- la sélection récurrente doit s'appliquer à du matériel à base génétique très large,
- il faut éviter de perdre des gènes pour conserver, au cours des cycles successifs d'amélioration, la variabilité génétique intacte ; cela est résolu en retenant un nombre suffisamment important d'épis sélectionnés pour débiter un nouveau cycle,
- rechercher la production du maximum de recombinaisons géniques en opérant des brassages efficaces de gamètes pendant un temps suffisamment long.

Le sélectionneur arrête la poursuite de ces travaux d'amélioration lorsqu'il constate que les performances du dernier cycle n'apportent aucune amélioration par rapport à celles du cycle précédent. Il peut alors utiliser le matériel obtenu comme source de départ de nouvelles lignées, et aussi poursuivre l'amélioration de ce matériel en rompant l'équilibre génique, par l'introgession de gènes nouveaux ou par la mutagenèse.

La **méthode TROYER** décrite lors de la réunion de la section « Maïs-Sorgho » d'EUCARPIA, tenue à Versailles les 15, 16, 17 septembre 1975, est utilisée à l'INRA pour rendre plus précoces des synthétiques américaines prolifiques en épis trop tardives, tout en conservant la prolificité en épis et la variabilité génétique d'origine.

La méthode de **sélection massale**, réhabilitée par GARDNER (10), (voir annexe B), en réduisant l'hétérogénéité du milieu et en favorisant l'extériorisation des potentialités productives des plantes grâce à l'application de bonnes techniques culturales, se révèle aussi efficace que la méthode de sélection récurrente beaucoup plus lente. Elle est utilisée à l'INRA pour améliorer la prolificité en épis de synthétiques introduites jugées insuffisantes pour ce caractère.

Comme cela a été signalé précédemment, l'**autofécondation** est un procédé draconien qui appauvrit les génotypes en allèles dominants. Dans la technique classique de sélection qui juge la valeur hybride des lignées après plusieurs années d'observations, une quantité importante de ces allèles dominants sont définitivement perdus ; le niveau de l'hétérosis des hybrides s'en trouve donc réduit. HALLAUER a mis au point la méthode de **sélection récurrente réciproque « full-sib »** — décrite lors de la réunion d'EUCARPIA à Versailles — qui a le mérite de retenir ces allèles dès le début du programme d'obtention des lignées. Parallèlement à l'obtention d'hybrides et pour le cas qui nous intéresse, cette méthode conduit à l'amélioration cyclique récurrente des deux populations de départ concernées par cette sélection réciproque. L'INRA, en 1977, projette d'appliquer cette méthode à deux synthétiques prolifiques en épis de son obtention, l'une issue de lignées américaines, l'autre de lignées européennes.

Le matériel de départ original ou amélioré représente un capital génique qui, dans le temps, doit être conservé intact des points de vues de la faculté germinative des semences et de la variabilité génétique.

PRODUCTION DE MATERIEL DE DEPART PAR INTROGRESSION DE GENES NOUVEAUX

La variabilité génétique du matériel adapté aux zones tempérées, peut être élargie considérablement par le transfert dans ce dernier de patrimoines héréditaires provenant de maïs non adaptés. Ceux-ci sont constitués par des maïs très précoces et des maïs tropicaux et subtropicaux ; on peut y ajouter les genres voisins de celui du maïs.

Des collections ont été constituées pour être étudiées et maintenues :

Mexique	CIMMYT	12.000 variétés
Mexique	INIA	7.000 variétés
Colombie	ICA Medellin	2.000 variétés
Pérou	La Molina	1.600 variétés
Argentine	INTA	1.000 variétés
Etats-Unis	Iowa	2.300 variétés
Europe (2)	Wageningen-Bergame- Belgrade	6.000 variétés

Il reste à prospecter l'Afrique, le Sud-Est de l'Asie, l'Australie, l'URSS.

Pour pouvoir multiplier et étudier les maïs non adaptés dans les zones tempérées, puis ensuite les utiliser, il est indispensable de réduire les effets indésirables du photopériodisme. Il serait possible de faire fleurir ces maïs à une période plus proche de celle où fleurissent les maïs adaptés, en les soumettant à des jours courts pendant les cinq premières semaines du cycle évolutif de la plante. Cette technique permettrait d'effectuer les croisements entre eux ; mais il est peut-être plus facile de les produire en zones tropicales ou subtropicales.

Pour étudier de manière approfondie, en zones tempérées, les maïs sensibles à la photopériode, il serait utile de les transformer en version plus précoce, plus courte, tout en conservant l'isogénie pour les autres caractères. La méthode mise au point par ROSENOW et MILLER pour obtenir des versions isogéniques, précoces et courtes de sorgho afro-asiatiques, pourrait être utilisée, le géniteur adapté apportant précocité et nanisme pouvant être un hybride simple brachytique 2. La F1 et la F2 sont produites en zone à jour court, puis la F2 est semée en région à jour long où les plantes précoces et courtes sont croisées entre elles. Les semences ainsi produites sont de nouveau semées en zone à jour court où sont effectués : le croisement avec la variété « exotique » récurrente, ainsi que la production de la descendance F2. Les cycles de recroisement se poursuivent tantôt en jour court, tantôt en jour long, jusqu'à l'isogénie pratique.

Quels progrès peut-on attendre de l'introgession de gènes nouveaux ? D'abord signalons quelques résultats antérieurs. Les maïs de l'Amérique latine résultent de croisements entre maïs et téosinte, et d'une sélection massale effectuée par l'homme pendant plusieurs siècles dans les descendance.

Les maïs de l'Amérique du Nord à grain denté, issus de descendance hybrides entre maïs dentés du Sud des Etats-Unis et de maïs cornés du Nord, sont l'étape finale d'une évolution qui s'est étendue sur une période d'une centaine d'années.

D'après WELLHAUSEN (32), BROWN (4) et LONNQUIST (19), on peut trouver parmi les populations exotiques des géniteurs pour l'amélioration des hybrides nord-américains :

- aptitude à la combinaison : maïs des Caraïbes, Coastal tropical flint. Des groupes de variétés cultivées sur la côte Ouest de l'océan Pacifique et dans les Andes, aussi, s'associent bien avec les maïs des Etats-Unis. La synthétique **Eto**, de la Station Tulio Ospina à Medellin, Colombie, est très intéressante à plusieurs points de vue ;
- tolérance au froid : Conico, Serrano ;
- tolérance à la chaleur : Barrietal, San Juan, El Carmen ;
- tolérance au peuplement élevé : Conico ;
- prolificité en épis : Chandelle ;
- productivité en grain : Tuxpèno, Vandèno, Zapalote, Celaya ;
- résistance à *Helminthosporium turcicum* : Tuxpèno ;
- etc.

Comment utiliser ce matériel végétal exotique ? Le sélectionneur, en zone tempérée, peut associer diversement le matériel végétal adapté et le matériel non adapté en réalisant quatre catégories de croisement :

1. matériel adapté × matériel adapté ;
2. matériel adapté × matériel non adapté (variétés tropicales et subtropicales) ;
3. matériel adapté × matériel non adapté (variétés très précoces) ;
4. matériel non adapté (variétés très précoces) × matériel non adapté (variétés tropicales et subtropicales).

L'adaptation des maïs latino-américains et nord-américains s'est faite progressivement pendant une longue période de temps. Le sélectionneur donc, doit éviter d'exercer sur les descendance de ces catégories de croisement, en particulier des catégories 2 et 3, une pression de sélection trop rigoureuse pour l'adaptation. Passant outre, il risque d'éliminer définitivement de nouveaux gènes liés avec les gènes conditionnant la mauvaise adaptation. Le recroisement, suivi de la production de descendance obtenus par panmixie pendant une durée suffisamment longue — cinq ans pour LONNQUIST et GARDNER — est une technique de sélection qui permet un dosage progressif de gènes exotiques, pas plus de 25 % à chaque cycle, dans le matériel adapté.

Elle favorise aussi les recombinaisons et les cassures de liaisons géniques indésirables. Une telle action vient d'être entreprise par l'INRA, en coopération avec l'IRAT, qui a consisté dans un premier temps à croiser des synthétiques INRA avec des maïs africains améliorés par l'IRAT, puis à produire les croisements avec, comme parent récurrent, soit les synthétiques INRA, soit les maïs africains.

AMELIORATION DE LA VARIABILITE GENETIQUE PAR D'AUTRES PROCÉDES

Si la recherche de gènes, conditionnant certains caractères agronomiques parmi la variabilité génétique disponible et mondiale s'avère trop aléatoire, le sélectionneur peut recourir à la mutagenèse. La production de mutants peut être aussi utile pour améliorer légèrement une caractéristique sans trop déprimer les autres ou bien, comme cela a été signalé précédemment, pour rompre un équilibre génique dans un matériel de départ. D'après MANGELSDORF, l'introgession de gènes de téosinte (*Euchloena mexicana*) favoriserait la mutation des gènes du maïs, plus instables.

Un autre moyen pour créer de la diversité génétique pourrait être la fusion de protoplastes qui permettrait d'obtenir des cellules hybrides entre maïs et genres apparentés, ou même entre maïs et sorgho, en se passant du processus sexuel.

MAINTIEN ET ELARGISSEMENT DE LA VARIABILITE CYTOPLASMIQUE

Les variétés de maïs actuellement cultivées ont un cytoplasme dit « normal ». On ignore encore la nature de ce cytoplasme, mais il est probable qu'il existe au sein de celui-ci une grande variabilité qu'on n'est encore pas en mesure de préciser. Aussi est-il sage de conserver intacte la variabilité actuelle, en particulier comme cela a été signalé lors de la conversion de lignées par croisement.

La vulnérabilité des variétés aux parasites croît à mesure que la variabilité génétique se rétrécit. La part de la vulnérabilité qui revient au cytoplasme est plus élevée que celle qui est inhérente au noyau. Aussi l'obtention d'hybrides multiplasmés est une solution pour régulariser la production et pour différer l'apparition de nouvelles maladies.

C'est dans cette voie que, depuis peu, l'INRA poursuit la transformation de lignées « clés » en lignées isogéniques sous plusieurs versions cytoplasmiques.

RECHERCHES SUR L'UTILISATION RATIONNELLE DE LA VARIABILITE GENETIQUE POUR L'OBTENTION D'HYBRIDES PRODUCTIFS EN GRAINS

Afin d'obtenir un hétérosis élevé au niveau de l'hybride, le sélectionneur conduit une sélection réciproque à partir de deux sources de départ très diversifiées génétiquement. Le choix des deux partenaires est basé sur les performances du croisement de ceux-ci. Ainsi l'INRA, après avoir amélioré la prolificité en épis d'une dizaine de synthétiques, sélectionnera les partenaires respectifs d'après les performances en croisements diallèles de ces synthétiques.

Cette technique classique est lente. D'autres tests plus rapides accroîtraient l'efficacité de la sélection.

Certains ont été essayés sur le maïs et sur d'autres plantes, mais leur efficacité reste à préciser.

Quelques-uns de ceux-ci sont basés sur des caractéristiques des nucléoprotéines. Ainsi le nombre de nœuds chromosomiques de la garniture comme les dimensions et la localisation de ceux-ci sont en relation avec l'introgession de gènes provenant de téosinte (*Euchloena mexicana*). A un nombre élevé correspond une introgession massive. La détermination de ces caractéristiques pourrait servir à identifier des blocs héréditaires.

La nature des nucléoprotéines variant avec le matériel génétique, des chercheurs ont pensé identifier cette nature grâce à la sérologie. Les nucléoprotéines du grain de pollen d'une lignée A sont injectées dans le corps d'un lapin. Les antigènes A du pollen provoquent, dans le sérum, la formation d'anticorps spécifiques de A. Le sérum recueilli est alors utilisé pour juger l'importance de la réaction : anticorps \times antigène, qui se manifeste par le dépôt d'un précipité. La réaction anticorps A \times antigène A donne une quantité importante de précipité que l'on évalue arbitrairement à 100. Dans la réaction : anticorps A \times antigène B — provenant du pollen d'une lignée B — on observe le dépôt d'une quantité de précipité d'autant moins importante que la nature des nucléoprotéines étudiées diffère. Des chercheurs ont observé une corrélation négative entre la quantité relative de précipité et le niveau de l'hétérosis manifesté chez des hybrides de maïs et des hybrides d'avoines.

Les chloroplastes capturent l'énergie lumineuse et les mitochondries utilisent celle-ci pour la croissance des plantes. Le taux de respiration des mitochondries de l'hybride excède celui des parents. L'efficacité de la conservation de l'énergie par les mitochondries, mesurée par le rapport ADP/O, est plus grande chez les hybrides : on observe un hétérosis mitochondrial.

MC DANIEL, en 1971, décrit la complémentation mitochondriale. Celle-ci est l'interaction positive que l'on observe lorsque les mitochondries de lignées sont mélangées *in vitro*. Le mélange mécanique des mitochondries de deux lignées montrant un hétérosis en combinaison hybride, exhibe une augmentation d'activité par rapport à celle qu'on observe lorsque les mitochondries de chaque parent sont manipulées séparément. La valeur du rapport ADP/O du mélange des mitochondries est comparable à celle que l'on observe chez les mitochondries de l'hybride. La sélection gagne en efficacité en utilisant la complémentation mitochondriale plutôt que l'hétérosis mitochondrial, puisque la première ne nécessite pas le croisement entre les lignées. Malheureusement, les résultats obtenus sont controversés (communication personnelle d'octobre 1973 de A. PETER PETERSON, professeur, Département de l'Agronomie, Université de l'Iowa).

Une des causes du ralentissement des progrès, que l'on observe depuis vingt-cinq ans, en matière d'amélioration variétale du maïs est l'étroitesse de la variabilité génétique disponible. Depuis cette époque, peu a été fait pour la diversifier.

La France est un des rares pays où la prospection, l'introduction et le maintien des variétés-sources sont laissés à l'initiative personnelle. D'autre part, l'élargissement de la variabilité génétique doit s'effectuer lentement et intéresser simultanément plusieurs catégories de matériel végétal comme, par exemple : matériel adapté \times matériel adapté, matériel adapté \times matériel non adapté. Ces travaux exigent des moyens importants, souvent trop lourds financièrement pour les maisons françaises de sélection. Des organismes comme PRO-MAIS, l'INRA et l'IRAT ont un rôle à jouer dans ce domaine.

ANNEXE A

METHODE RINKE

RINKE observant que les lignées tardives de maïs, sélectionnées dans le centre du Corn Belt, étaient plus « sophistiquées » que les lignées précoces, a mis au point une méthode pour transformer celles-ci en version précoce tout en conservant leurs qualités agronomiques.

Sa méthode consiste dans le transfert d'un caractère polygénique — ici la précocité — par croisement en utilisant comme parent récurrent le tardif. Pour permettre de retenir à chaque génération croisée les plantes les plus précoces, il fait jouer la loi des grands nombres.

Pour illustrer la méthode RINKE, prenons un exemple dont le but est l'obtention d'une lignée isogénique ou très apparentée à la lignée W 64 A mais plus précoce.

Pour cela, W 64 A est croisée avec une lignée qui apporte la précocité. On produit la F₂ en quantité suffisante pour ensemercer **une parcelle importante**, plus de 1.000 plantes, pour donner un ordre de grandeur. Dans cette descendance, on sélectionne la plante la plus précoce mais, pour ne pas se tromper, on en retient 20 à 30 que l'on croise avec la lignée récurrente tardive W 64 A. Chaque épi est battu séparément et **toute la descendance** est semée sur une ligne. Au moment de la floraison, on sélectionne parmi les 20 à 30 épis-lignes les 2 à 3 plus précoces. Dans chacun des 2 à 3 épis-lignes retenus on choisit 20 à 30 plantes les plus précoces que l'on croise avec W 64 A.

Les épis croisés sont égrenés individuellement et **toutes les semences de chacun d'eux** sont semées sur une ligne ; on dispose donc sur le terrain de 40 à 90 épis-lignes comprenant deux à trois familles. A la floraison, dans la famille la

plus précoce, on choisit, dans les 2 à 3 épis-lignes les plus précoces, les 20 à 30 plantes les plus précoces que l'on croise avec W 64 A.

Le sélectionneur poursuit ainsi les cycles de croisement jusqu'à l'isogénie s'il le désire ; sans aller jusque-là, d'après notre expérience, il faut pousser au moins jusqu'au troisième croisement pour récupérer la majeure partie des gènes intéressants.

Après l'arrêt des croisements, on applique la méthode de sélection généalogique aux descendance les plus précoces, tout en effectuant les autofécondations pour fixer les lignées.

Nous utilisons la méthode RINKE depuis 1963, c'est-à-dire depuis qu'elle a été connue. Le premier résultat obtenu, la lignée F 478, version précoce de W 401, nous a montré que la méthode était très efficace. Aussi l'utilisons-nous couramment pour transformer de bonnes lignées « clés » tardives, et pour rendre plus précoces des géniteurs de résistances ou de qualités, souvent tardifs. Ces géniteurs rendus plus précoces, étant sur le plan pratique de la sélection, d'un manière plus aisée et permettant une sélection plus efficace.

Nous conseillons vivement cette méthode aux sélectionneurs privés qui commencent un programme d'amélioration. Les premiers résultats de l'application de la méthode RINKE permettent de combler le vide qui existe entre le moment de l'apparition des hybrides produits à partir de lignées non originales, et celui de l'arrivée d'hybrides issus de croisements entre lignées originales, lesquelles peuvent provenir d'un matériel végétal de départ que l'on a préparé.

ANNEXE B

METHODE GARDNER

Sélection massale « améliorée »

Sélection massale « améliorée ».

La sélection massale basée sur l'observation du phénotype, telle qu'on l'a pratiquée autrefois pour l'amélioration des caractères quantitatifs, s'est révélée inefficace car les effets résultant de l'action de l'hétérogénéité du milieu masquaient ceux dus aux génotypes.

GARDNER, en améliorant les techniques culturales et expérimentales, réduit les causes d'erreur

dus à l'hétérogénéité du milieu et montre, avec d'autres chercheurs, que la sélection massale appliquée à **du matériel végétal à base génétique large**, est aussi efficace que les méthodes de sélection classiques plus longues et plus coûteuses actuellement utilisées — comme par exemple celle consistant à comparer des « top-crosses » (mot au sens large) obtenus avec un parent commun pour le jugement de l'aptitude générale à la combinaison de lignées.

La raison qui explique surtout l'efficacité de la méthode est la détection plus précise des plantes, dans une population à base génétique large, possédant des gènes liés à la vigueur et favorables à l'expression d'une aptitude générale élevée à la combinaison (mode d'action additive).

METHODE

Les améliorations des techniques culturales et expérimentales apportées par GARDNER, visent d'une part à permettre à chaque plante d'exprimer au maximum ses potentialités productives (sol très fertile, abondamment fertilisé, propre, irrigable) et, d'autre part, à réduire surtout l'hétérogénéité du sol (sol peu hétérogène, semis à espacements réguliers, etc.).

La population ou la synthétique est semée à espacements réguliers sur une bande de terrain. La pollinisation peut être soit libre, dans ce cas la parcelle doit être isolée et les descendances

seront sélectionnées d'après les caractères maternels (épi half-sib), soit contrôlée par autofécondation, des précautions alors sont prises pour effectuer cette opération en temps opportun.

Au moment de la récolte, la bande est divisée en sous-parcelles ; à l'intérieur d'une sous-parcelle, la récolte de chaque plante est séchée avant l'égrenage, puis pesée. Le sélectionneur conserve les grains des plantes les plus productives de chaque sous-parcelle dans une proportion fixée arbitrairement, pouvant varier de 15 à 25 % pour donner un ordre de grandeur, mais suffisamment élevée pour conserver la variabilité génétique.

Dans une prochaine étape, les croisements sont effectués entre des descendances sélectionnées pour favoriser les recombinaisons. Après brassage des gamètes, la nouvelle population peut servir de matériel pour un deuxième cycle de sélection massale, ou pour tirer des lignées autofécondées.

Références bibliographiques

- ANDERSON (E.), BROWN (W.L.). — Origin of cornbelt maize and its genetic significance. In *Heterosis* Iowa State College Press. Ames, 1952.
- BRANDOLINI (A.G.). — European races of maize. *Proceed. 24th Annual Corn and Sorghum Research Conference*, 36-48, 1969.
- BROWN (W.L.). — Physical characteristics of corn of the future. *Proceed. 20th Annual Corn and Sorghum Research Conference*, 7-16, 1965.
- BROWN (W.L.). — A broader germplasm base in corn and sorghum. *Seedmen's digest*, February 1976.
- COMSTOCK (R.E.). — Selection procedures in corn improvement. *Proceed. 19th Annual Corn and Sorghum Research Conference*, 87-94, 1964.
- EBERHART (S.A.). — Yield stability of single-cross genotypes. *Proceed. 24th Annual Corn and Sorghum Conference*, 22-35, 1969.
- FINLAY (K.W.), WILKINSON (G.N.). — The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. *Aust. J. Agric. Res.*, 14, 742-54, 1963.
- FRANCIS (C.A.). — Photoperiod sensitivity and adaptation in maize. *Proceedings of the twenty-seventh annual Corn and Sorghum Research Conference*, 119-31, 1972.
- HALLAUER (A.R.). — Inbred and Hybrid development from improved Maize populations. Réunion de la Section « Maïs et Sorgho » d'Eu-carpia, Versailles, septembre 1975.
- GARDNER (C.O.). — The role of mass selection and mutagenic treatment in modern corn breeding. *Proceed. 24th Annual Corn and Sorghum Conference*, 15-21, 1969.
- GENTER (C.F.). — Early generation progeny evaluation in corn. *Proceed. 18th Annual Corn and Sorghum Research Conference*, 30-6, 1963.
- GENTER (C.F.). — Inbreeding without inbreeding depression. *Proceed. 22th Annual Corn and Sorghum Research Conference*, 82-90, 1967.
- GEVERS (H.O.). — Development of composites and other germplasm. *Proceedings of the first South African Maize Breeding Symposium*, pp. 44-7, 1974.
- JOHNSTON (G.S.). — Manifestations of teosinte and "Tripsacum" introgression in corn belt maize. *Bussey Institution of Harvard University, Cambridge Massachusetts*, 1966.
- LEOFFEL (F.A.). — S₁ crosses compared with crosses of homozygous lines. *Proceed. 19th Annual Corn and Sorghum Research Conference*, 95-104, 1964.
- LONGLEY (A.E.), TAKEO (A.), KATO (Y.). — Chromosome morphology of certain races of maize in Latin America. *CIMMYT, Research Bulletin* n° 1, 1-112, 1965.
- LONNQUIST (J.H.). — Progress from recurrent selection procedures for the improvement of corn population. *University of Nebraska. College of Agriculture Research, Bulletin* 197, July 1961.
- LONNQUIST (J.H.). — Gene action and Corn Yields. *Proceed 18th Annual Corn and Sorghum Research Conference*, 37-44, 1963.
- LONNQUIST (J.H.). — Consideration and experiences with recombinations of exotic and corn belt maize germplasms. *Proceedings of the twenty-ninth Annual Corn and Sorghum Research Conference*, 102-17, 1974.
- MANGELSDORF (P.C.). — The origin and evolution of maize. *Advances in Genetics*, 1, 161-207, 1947.
- MULTI-FACETED RESEARCH ON SORGHUM IN ETHIOPIA, SENEGAL AND CANADA. — *International Research Center-News*, 26 mai 1976.
- NELSON (H.G.). — The use of exotic germplasm in practical corn breeding programs. *Proceedings of the twenty-sevent Annual Corn and Sorghum Research Conference*, 115-8, 1972.
- RINKE (E.H.), SENTZ (J.C.). — Moving corn-belt germplasm north ward. *Proceed. 16th Annual Corn and Sorghum Conference*, 53-6, 1961.
- ROBINSON (H.F.), COMSTOCK (R.E.), HARVEY (P.H.). — Genetics variances in open pollinated varieties of corn. *Genetics*, 40, 45-60, 1955.
- ROSS (W.M.). — Use of population breeding in sorghum problems and progress. *Proceed. 28th Annual Corn and Sorghum Conference*, 30-43, 1973.
- RUSSELL (W.A.). — Effects of exotic cytoplasm on agronomic characters of two maize inbred lines. *Iowa State Journal of Research*, vol. 47, n° 2, 141-7, 1972.
- SPRAGUE (G.F.). — Genetic vulnerability to diseases and insects in corn and sorghum. *Proceed. 27th Annual Corn and Sorghum Conference*, 96-105, 1971.
- STRINGFIELD (G.H.). — Developing heterozygous parent stocks for maize hybrids. *Dekalb Agr. Research, Inc.*
- THOMPSON (D.L.). — Reducing genetic vulnerability of corn. *Proceed. 28th Annual Corn and Sorghum Conference*, 82-91, 1973.
- TROYER (A.F.), BROWN (W.L.). — Selection for early flowering in corn. *Crop Sci.*, 12, 301-4, 1972.
- WELLHAUSEN (E.J.). — Exotic germ plasm for improvement of corn belt maize. *Proceed. 20th Annual Corn and Sorghum Research Conference*, 31-45, 1965, avec références bibliographiques concernant les variétés des différents pays d'Amérique Centrale et du Sud ainsi que ceux de l'Inde.
- WITTEWER (S.H.). — Factors limiting corn yields. *Proceed. 21th Annual Corn and Sorghum Research Conference*, 71-6, 1966.
- ZUBER (M.S.). — Corn germ plasm base in the U.S. Is it narrow-ing, widening, or static ? *Proceedings of the thirtieth annual corn and Sorghum Research Conference*, 277-86, 1975.

Tableau I
APPARENTEMENT DES PRINCIPALES LIGNEES DE MAIS
UTILISEES DANS LE CORN BELT AMERICAIN

1. STIFF STALK SYNTHETIC			
— Apparentées à B 14 :		— Apparentées à OH 43 :	
A 632	B 68	A 619	OH 43
A 634	H 100*	H 88	OH 545
B 14 A	OH 514	H 95	Va 26
— Apparentées à B 37 :		H 98*	
B 37	H 84		
B 76	H 93	3. REID YELLOW DENT : H 49 - W 64 A	
— Autres lignées :		4. ILLINOIS HIGH YIELD : H 55 - H 96 - H 98*	
B 73, H 100*, N 28		5. AUTRES LIGNEES NON APPARENTEES :	
		B 77 - B 79 - H 60 - H 99 - OH 551 - R 177.	
2. LANCASTER		* Apparentées à deux groupes différents.	
— Apparentées à C 103 :			
C 103	Va 59		
C 123	Va 61		
Mo 17			

Tableau II
ORIGINE DE QUELQUES LIGNEES RECENTES
Obtentions de Stations de Recherches Officielles du Comité Centre-Nord (1)
jugées pour leur valeur hybride en 1975

I - GROUPE DE MATURITE 100-300
Sur testeurs : A 509 × MS 1334 et W 59 E × W 629 A.

Lignée	Origine	Lignée	Origine
CG 11	Pride 4 sel.	Pa 71-45	Pa 32 deriv. from FSC lot 271 (1955)
CG 12	Pride 4 sel.	Pa 71-47	Pa 32 deriv. from 1961-84-84
CG 13 ^a	Golden Glow	Pa 71-56	(CH 157 × Hookers "A") CH 157
CG 14	Wigor (European)	A 69-3	Minn. Syn C.
CG 15	Wigor (European)	A 69-4	Minn. Syn C.
CM 44	A 117 × CMV 3 ²	A 71-28	(A 509 × E 50) E 50 ³
CM 47	Italy	A 71-29	(A 509 × E 51) E 51
CM 48	Greece	A 71-34 ^a	(ND 203 × A 635) A 635 ³
CM 64	CM 2 × Rainbow	A 71-35	(ND 203 × A 635) A 635 ³
CM 75	CM 7 × Sweet	A 71-38 ^a	(MT 42 × A 634) A 634
CM 80	CM 7 × Sweet	A 71-41 ^b	(WD × E 58) E 58 ³
CM 139	CMV 3 × B 14 ²	ND 71-53	(ND 230 × ND 408) ND 408
CM 174	CMV 3 × B 14 ²	ND 71-41	(ND 230 × ND 405) ND 230
SD 9 ^a	O.P. variety	ND 71-60	(ND 230 × ND 408) ND 408
SD 24	(B 14 × Gaspé) Ø 1 × B 14	ND 71-61	(ND 230 × ND 408) ND 230
SD 28	B 8 ₂ × (unknown inbred)	ND 71-36	(ND 230 × ND 480)

II - GROUPE DE MATURITE 400-600
Sur testeurs : W 64 A × A 632 et A 619 × C 123.

Lignée	Origine	Lignée	Origine
Oh 564	Oh 51 A × Syn. - 9/16 Oh 26, 1/16 Oh 51, 5/16 - Oh 51 A, 1/16 - Oh 56 A	A 73-1	(A 509 × C.I. 21 E) C.I. 21 E ²
Oh 565	Oh 51 A × Syn. - 9/16 Oh 26, 1/16 Oh 51, 5/16 - Oh 51 A, 1/16 - Oh 56 A	A 73-2	(A 509 × H 51) H 51 ²
Oh 566	Oh 51 A × Syn. - 9/16 Oh 26, 1/16 Oh 51, 5/16 - Oh 51 A, 1/16 - Oh 56 A	A 73-3	(W 59 M × H 51) H 51 ²
Oh 567	Oh 51 A × Syn. - 9/16 Oh 26, 1/16 Oh 51, 5/16 - Oh 51 A, 1/16 - Oh 56 A	A 73-4	(A 509 × H 52) H 52 ²
Oh 568	Oh 51 A × Syn. - 9/16 Oh 26, 1/16 Oh 51, 5/16 - Oh 51 A, 1/16 - Oh 56 A	A 73-5	(A 554 × H 61) H 61 ²
E 43-25 (Ind.)	(R 181 B × Oh 43) S	N 165	Hazen Yellow O.P.
A 71-9	(W 59 M × Hy) Hy ³	Pa. 71-59	CH ₂ × (C.I. 29 × Tr) Tr
A 71-11	(MS 1334 × L 317) L 317 ²	Pa. 71-63	(M 14 × K 155) TR × (M 14 × K 155) WF 9 × (TR × C.I. 28 A)
A 71-18	(A 509 × C 103) C 103 ²	Pa. 71-69	CH 157 × PPP (K 64 × Mex. 155)
		Mich. 75-1	(L 317 × MS 211) × 8670
		Mich. 75-2	MS 201 × 8670
		Mich. 75-3	(Ferden O.P. F 36 × F 53) × 8670
		Mich. 75-4	MS 153 × MS 68

(1) Comité Centre-Nord : Georgie ; Illinois ; Indiana ; Iowa ; Kansas ; Kentucky ; Minnesota ; Missouri ; Nebraska ; North Caroline ; North Dakota ; Ohio ; Ontario ; Pensylvanie ; Virginie ; Washington ; Wisconsin.

Tableau III
ORIGINE DU MATERIEL DE DEPART
POUR L'OBTENTION DES LIGNEES EN COURS DE SELECTION
(enquête 1975 — American Seed Trade Association — faite par M.S. ZUBER) (34)

Matériel végétal de départ	Effort entrepris
Hybride simple	21,2
Trois voie	3,0
Hybride double	1,7
Back cross	16,4
Variété de pays	3,8
Exotique × matériel adapté	15,0
Synthétique	19,3
Population améliorée par sélection cyclique	14,9
Autres	4,8

MODES D'ACTION GENETIQUE

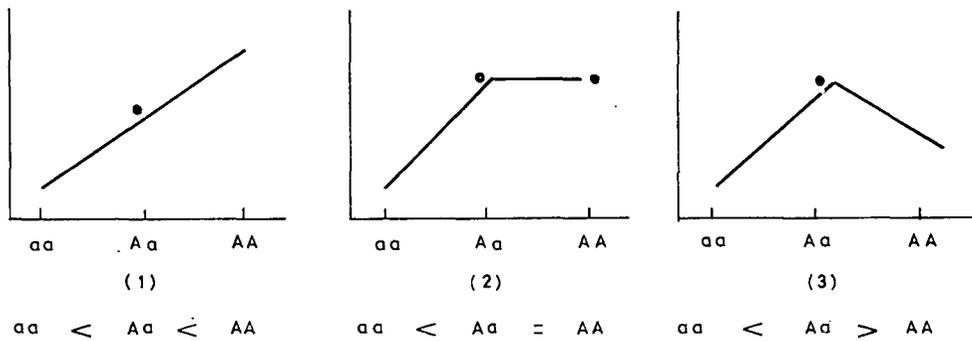
FIGURE 2 : I - à un locus

Mode additif (1) : accumulation d'allèles dominantes

Mode non additif : interactions alléliques

- dominance (2)

- super dominance (3)



II à deux loci

Mode additif : accumulation de gènes (tableau IV)

Mode non additif : interactions alléliques et génétiques ;

- dominance avec ou sans épistasie (tableau V et VI)

- super dominance sans épistasie (tableau VII)

TABLEAU IV

	AA	Aa	aa
BB	4	3	2
Bb	3	2	1
bb	2	1	0

TABLEAU V

	AA	Aa	aa
BB	4	4	0
Bb	4	4	0
bb	0	0	0

TABLEAU VI

	AA	Aa	aa
BB	4	4	2
B	4	4	2
bb	2	2	0

TABLEAU VII

	AA	Aa	aa
BB	2	3	1
B	3	4	2
bb	1	2	0

FIGURE 13

Adaptation

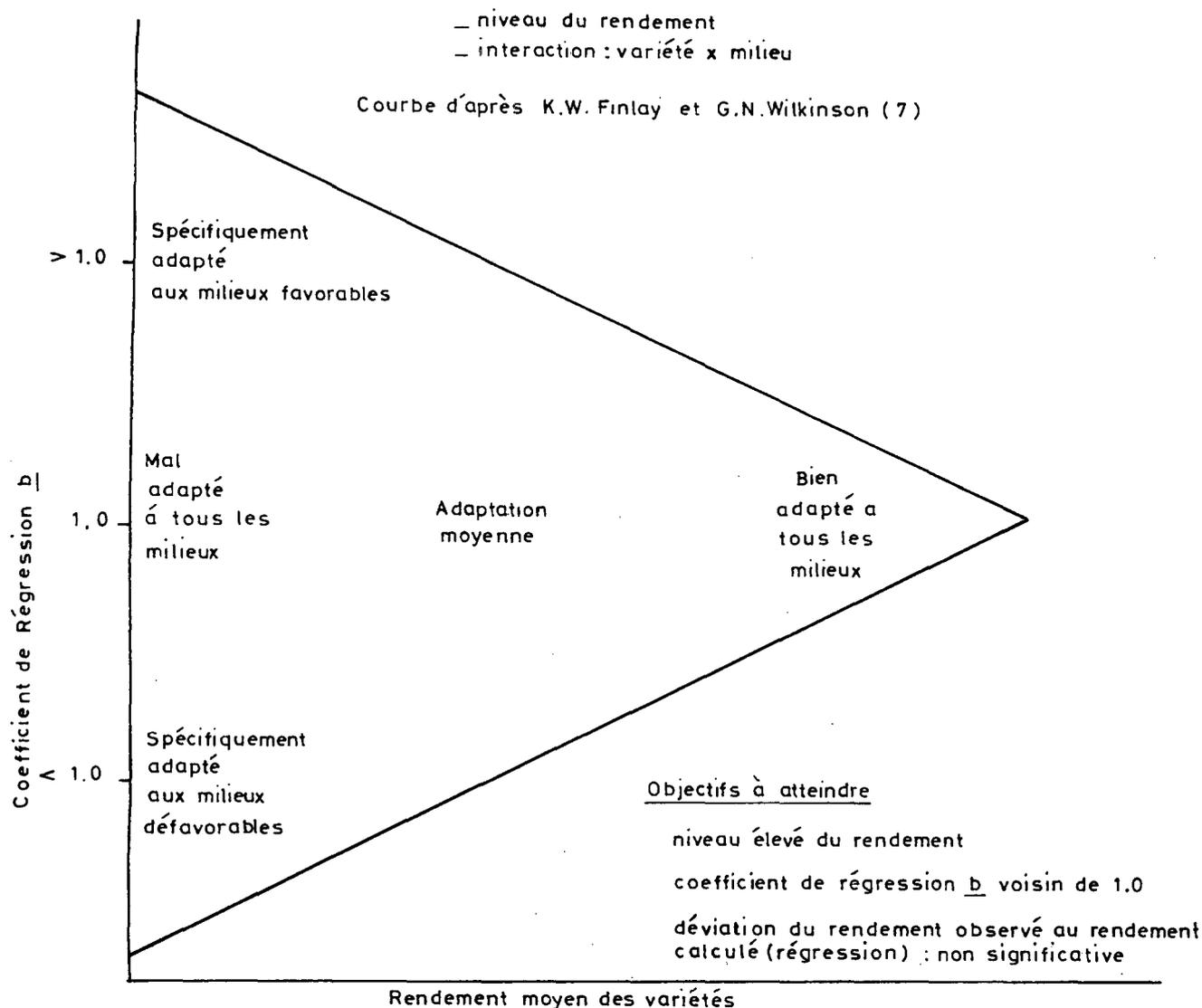


Tableau VIII
VARIABILITE GENETIQUE ET AMELIORATIONS VARIETALES

Mode d'action	Partie héréditaire sur lignée	Aptitude à la combinaison (valeur hybride)	Intérêts agronomiques	Conséquences sur techniques de sélection
Additif :	Fixable	Générale	<ul style="list-style-type: none"> participation élevée à la production grain. Large adaptation. 	<ul style="list-style-type: none"> Expérimentation précise, nombreuses répétitions en peu de situations.
Non additif : — Interactions alléliques. — Interactions génétiques.	Non fixable	Spécifique	<ul style="list-style-type: none"> participation à la production du grain. Faible adaptation. 	<ul style="list-style-type: none"> Expérimentation multilocale.

Tableau IX
REPRESENTATION SYMBOLIQUE DE GENES ET D'UN GENOTYPE
R.E. Comstock (5)

Gène	Allèles	Nombre de combinaisons alléliques
A	A ₁ A ₂ A ₃	6
B	B ₁ B ₂	3
C	C ₁ C ₂ C ₃ C ₄ C ₅	15
D	D ₁ D ₂ D ₃ D ₄ D ₅ D ₆	21
E	E ₁ E ₂ E ₃	6
Un génotype possible	A ₂ A ₂ B ₁ B ₂ C ₂ C ₃ D ₃ D ₆ E ₂ E ₃	

Si n allèles à un locus : n (n + 1)/2 combinaisons alléliques.

NOTE SUR LA CREATION D'UN COMPOSITE DE MAIS AFRICAINS

par Jean-Leu MARCHAND

RESUME. — L'IRAT a entrepris la création d'un composite de maïs africains et son amélioration sur une base régionale. Les raisons de ce travail sont exposées et la technique utilisée pour la création du composite est décrite.

Mots-clé : maïs africain, composite, base régionale, méthode de création.

Lors de la réunion des sélectionneurs de l'IRAT à Bouaké (Côte-d'Ivoire) en 1973, J. LE CONTE a proposé aux chercheurs concernés la création d'un composite de maïs africains et son amélioration sur une base régionale (LE CONTE, 1974). Ce travail, qui a débuté dès 1974, aboutit, fin 1976, au composite africain. Le brassage de ce composite ayant soulevé certaines difficultés, il paraît utile de décrire cette première étape.

POURQUOI CREER UN COMPOSITE AFRICAIN ?

Plusieurs raisons ont poussé à la création d'un composite formé d'écotypes africains et à son amélioration sur une base régionale :

— ces écotypes ont été multipliés dans les conditions de la culture traditionnelle pendant plus de 300 générations et ont donc acquis une tolérance appréciable aux aléas du climat et de la culture. La première raison est donc de **sauvegarder cet acquis** sous la forme aisément maniable d'un composite. La seconde raison est que ces écotypes représentent les formes actuellement les mieux adaptées au milieu tropical africain. Cette adaptation est précieuse pour atteindre l'un de nos objectifs majeurs de sélection, la **stabilité du rendement** et la large adaptabilité ;

— l'expérience montre que ces écotypes, malgré, ou à cause, de cette bonne adaptation à la culture traditionnelle, ont des potentialités de rendement réduites et une base génétique faible. Leur brassage permet de pallier ces deux inconvénients en fournissant un composite de **large base génétique** et de **rendement amélioré** (LE CONTE, 1974) ;

— de nombreux travaux (JACQUOT, 1974) ont montré l'importance des tests multiloaux pour la recherche de la stabilité du rendement. Ceci nous a conduit à envisager ce travail sur une **base régionale** ;

— un **composite** se prête particulièrement bien à une amélioration par les méthodes de la sélection récurrente (MARCHAND, 1975), méthodes très utilisées depuis les premiers travaux du CIMMYT (WELHAUSEN, 1965) et bien adaptées aux objectifs et aux moyens de la recherche agronomique en zone intertropicale ;

— enfin, afin de préserver une possibilité d'amélioration intervariétale ultérieure, et en tenant compte des pays où l'IRAT était présent, la décision fut prise de limiter le choix des écotypes au type flint de la zone de savane.

La création du composite africain (nommé composite Y) et son amélioration à l'échelle d'une région permettent donc :

de sauvegarder le pool génétique des maïs flint de la savane d'Afrique de l'Ouest,

de mettre à disposition des instances nationales un composite à large base génétique, apte à une vulgarisation immédiate ou susceptible d'être amélioré localement.

La création, prévue à plus long terme, d'un composite Z, complémentaire sur le plan de l'hétérosis du composite Y, permettra d'aborder ultérieurement, si nécessaire, la création d'hybrides.

RASSEMBLEMENT DES ECOTYPES AFRICAINS

Zone concernée.

L'IRAT intervient dans cinq pays (Bénin, Côte-d'Ivoire, Haute-Volta, Mali, Sénégal) d'Afrique de l'Ouest où le maïs est une culture traditionnelle d'une grande importance en alimentation humaine. Les surfaces cultivées en maïs dans ces pays atteignent environ 600.000 ha (statistiques de la FAO, 1971) et sont susceptibles de progresser rapidement dans les années à venir, en raison notamment du remplacement du sorgho par le maïs, de rendement supérieur.

Figure 1.

ZONES D'ORIGINE DES ECOTYPES ENTRANT DANS LE COMPOSITE AFRICAIN



Les maïs de cette zone, de type flint, le plus souvent jaunes, seraient venus des Caraïbes via l'Europe et la vallée du Nil au début du XVII^e siècle. Ils couvrent une zone comprise entre 8° et 13° de latitude nord (climat soudano-guinéen à une saison des pluies) et se différencient des maïs dentés blancs de la zone subéquatoriale à deux saisons des pluies, originaires du Brésil.

Rassemblement des écotypes.

La participation des différents pays concernés a permis de rassembler à Bouaké, station centrale maïs, des écotypes venant de l'ensemble de la zone (fig. 1). Certains sont parvenus sous forme d'écotypes ou de variétés locales individualisés, d'autres sous forme de composites regroupant plusieurs écotypes. Une prospection complémentaire, rendue nécessaire par la faible représentation de ce pays dans le matériel disponible, a été réalisée au Mali par M. LE CONTE en 1974 (1).

Nous nous sommes trouvés, en fin de compte, devant 94 entrées individualisées, représentant 145 écotypes de départ, qu'il a fallu brasser.

BRASSAGE DU COMPOSITE Y

Equilibre entre les entrées.

Deux formules étaient envisageables pour la pondération des entrées du composite :

— soit donner un poids égal à chaque pays, quel que soit le nombre d'écotypes qui le représentent,

— soit donner un poids égal à chaque écototype, les composites locaux pesant le nombre d'écotypes qui les constituent.

La première formule favorise les régions marginales (Niger par exemple) et ne tient pas compte des variations à l'intérieur d'un pays (il y a au moins autant de différences entre un écototype de Man et un écototype de Korhogo, tous deux ivoiriens, qu'entre celui-là et un écototype de Sikasso, au Mali).

La seconde formule favorise les régions où les prospections les plus complètes ont été réalisées, mais risque d'accumuler des écotypes peu différents. C'est cette solution qui a été choisie car, la zone Sud-Mali, Sud-Haute-Volta et Nord-Côte-d'Ivoire représentant plus de 80 % des surfaces en maïs de la région concernée, il était logique de lui donner un poids correspondant dans le composite.

(1) Le financement de cette prospection a été fourni par la Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique (Paris).

Les 145 écotypes entrant dans le composite Y se répartissent comme suit :

— Sud-Mali, Sud-Haute-Volta et Nord-Côte-d'Ivoire	127
— Sénégal (Casamance)	5
— Nord-Bénin	11
— Niger	2
	145

Cycles variétaux et méthodes de brassage.

Le principal problème, au cours des brassages d'un composite, est d'assurer à chaque entrée une pollinisation égale par toutes les entrées.

Ceci est réalisé aisément par le brassage par polycross, chaque entrée étant croisée manuellement avec toutes les autres. Mais cette méthode devient très lourde quand le nombre des entrées augmente, et pratiquement irréalisable avec les 94 numéros que nous avons.

La seconde méthode, qui a été retenue, est la méthode de HARRISSON (Irish Method). Elle consiste à semer, en isolement, une ligne de chaque entrée comme femelle et un mélange mécanique de toutes les entrées comme mâle (les entrées femelles sont castrées manuellement). Le problème est, avec cette méthode, d'assurer à chaque constituant du parent mâle une chance égale de féconder chaque ligne femelle, donc d'obtenir la concordance des floraisons.

Les écotypes à brasser avaient des précocités (durée semis-floraison mâle) très différentes, allant de quarante jours après semis pour la plus précoce à soixante-six jours après semis pour la plus tardive, soit un décalage de vingt-six jours.

Il fallait permettre à la variété la plus précoce, utilisée comme mâle, de féconder la plus tardive prise comme femelle et vice versa.

Réalisation pratique des brassages.

Les concordances de floraison nécessaires ont été obtenues grâce à des semis décalés :

- les 94 entrées femelles ont été divisées en trois groupes :
 - un groupe précoce,
 - un groupe tardif,
 - un groupe intermédiaire recouvrant en partie les deux autres.

Ces trois groupes ont été semés, pour le premier brassage, avec un décalage de dix jours :

- le groupe tardif au jour J,
- le groupe intermédiaire à J + 10,
- le groupe précoce à J + 20,

ceci pour obtenir que les trois groupes soient en floraison en même temps (fig. 2). Pour les deux brassages suivants, les décalages étaient réduits à sept jours.

— le mélange mécanique des entrées, servant de parent mâle a, lui, été semé trois fois, aux jours J, J + 10 et J + 20, à l'intérieur de chaque groupe (fig. 3).

De la sorte, une entrée femelle du groupe tardif (semis au jour J) doit pouvoir être fécondée par :

- les variétés tardives du parent mâle du semis du jour J,
- les variétés intermédiaires du parent mâle du semis du jour J + 10,
- les variétés précoces du parent mâle du semis du jour J + 20.

A l'inverse, une entrée femelle du groupe précoce, semée au jour J + 20, peut aussi, grâce aux trois dates de semis du parent mâle, être fécondée par les variétés des différentes précocités (fig. 2).

Fig. 2. — Schéma des floraisons

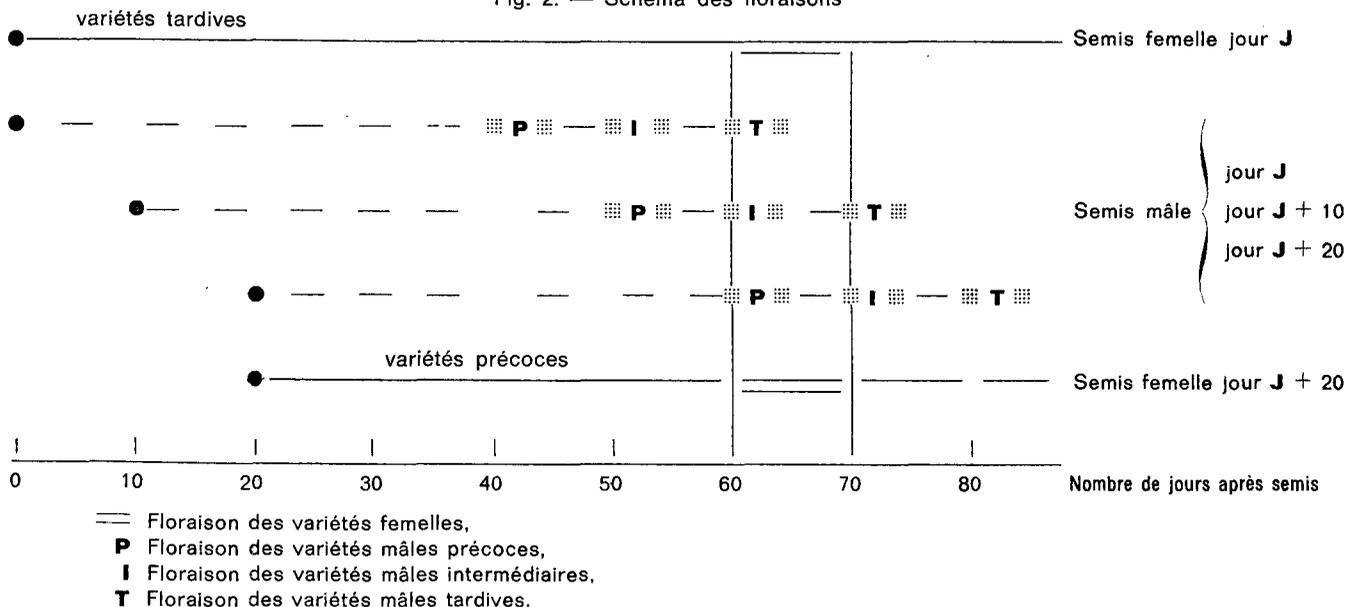


Figure 3.

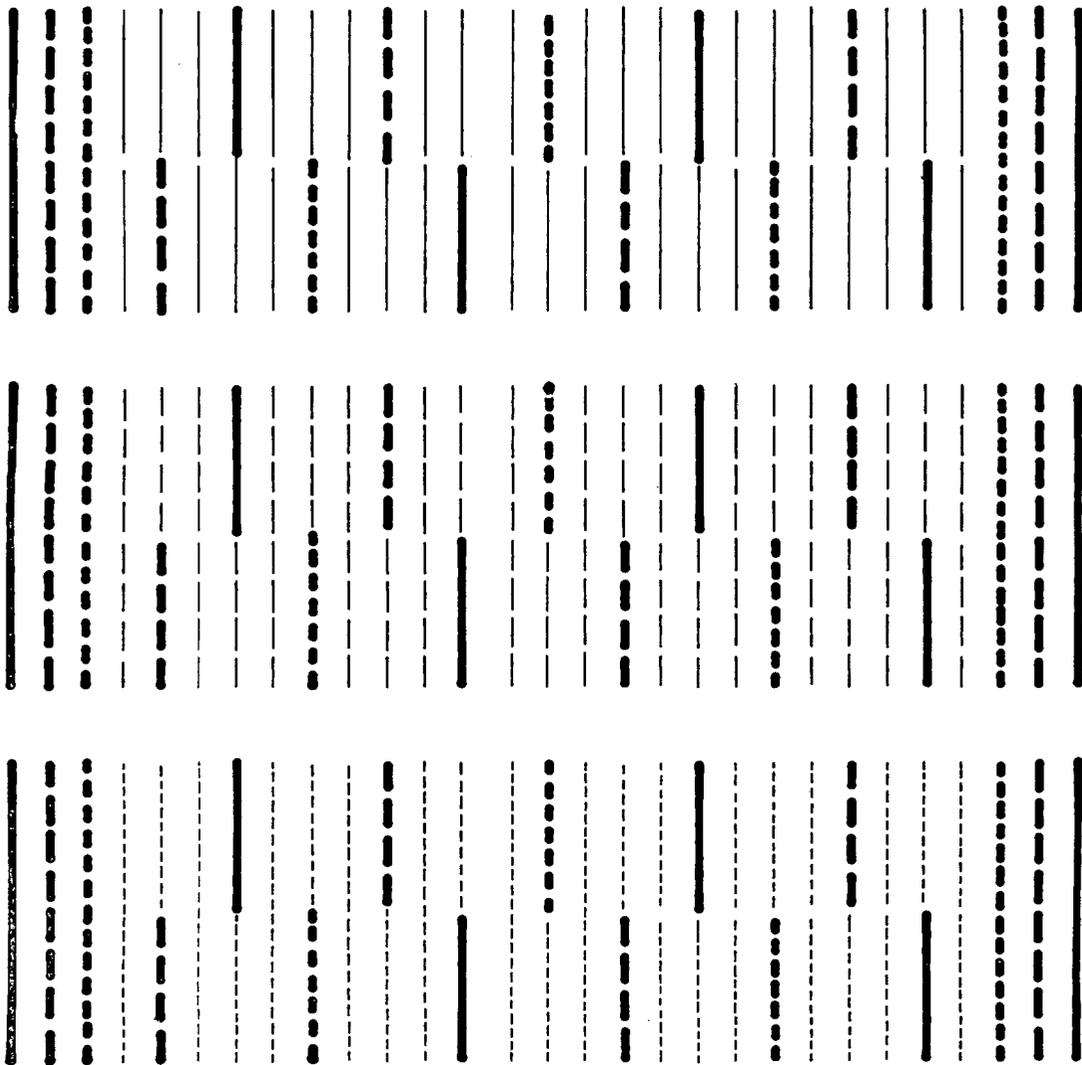
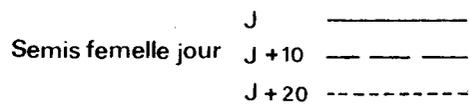
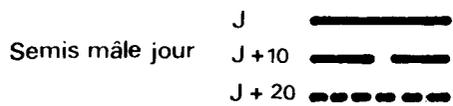


Schéma du plant de semis . Les lignes femelles mesurent 5m de long , chaque bloc est fermé de 2 volets et bordé de lignes mâles .



Résultats.

Fin 1976, trois brassages ont été réalisés :

— le premier en cycle unique 1975 (semis fin juin-début juillet), a souffert de la sécheresse et de fortes attaques d'insectes et de maladies ;

— le second, en contre-saison 1975, a bénéficié d'une irrigation abondante et d'un milieu sain ;

— le troisième, en cycle unique 1976, a moins souffert de la sécheresse (semis deuxième quinzaine de mai).

Afin d'avoir une idée, même approximative, de l'efficacité des brassages, nous avons calculé les écarts, pour la précocité et la hauteur d'épi, entre les dix variétés représentant chaque extrême. Pour éliminer un effet possible de la date de semis, les moyennes des cycles et des hauteurs d'épis ont également été calculées pour les variétés figurant dans le groupe intermédiaire et l'un ou l'autre des autres groupes. Ce calcul a mis en évidence un effet net de la date de semis qui, par exemple pour le troisième brassage, augmente de plus de quatre jours l'écart de floraison entre les variétés extrêmes.

Compte tenu de ce biais, l'écart entre les dix variétés les plus précoces et les dix variétés les plus tardives, qui était de vingt-deux jours lors du premier brassage (variété origine) n'est plus que de treize jours lors du troisième brassage (variétés ayant déjà subi deux brassages). De même, l'écart entre les dix variétés ayant la plus forte hauteur d'épi et les dix variétés ayant l'épi le plus bas est de 80 cm environ au cours du troisième bras-

sage, alors qu'il atteignait 1 m entre les variétés origine.

Il y a donc une homogénéisation nette, mais encore insuffisante.

Améliorations à apporter à la technique de brassage.

L'homogénéisation réalisée en deux brassages (les variétés issues du troisième brassage n'ont pas encore été comparées) est loin d'être négligeable. Il semble donc que la technique utilisée soit efficace. Cependant, certaines améliorations peuvent être apportées :

— une comparaison rapide de la précocité de floraison des variétés extrêmes entre chaque brassage permettrait de connaître, au lieu de l'estimer, l'intervalle entre les extrêmes, donc de mieux calculer les décalages de semis ;

— une bonne connaissance des précocités des variétés est nécessaire avant tout brassage. Les données que nous possédions, trop fragmentaires, nous ont fait commettre quelques erreurs dans le classement des variétés dans les groupes de précocité ;

— il est indispensable de contrôler le mieux possible le milieu, sous peine de voir se modifier, parfois fortement, la précocité de certaines variétés. Si le sol n'est pas très homogène, il est prudent de semer au moins deux répétitions.

Moyennant ces précautions, il semble que la technique décrite ici soit efficace pour brasser de nombreuses variétés de cycles très variés.

Bibliographie

- JACQUOT (M.), 1974. — La régularité du rendement, un important objectif général de sélection. *L'Agronomie Tropicale* (Paris, France), XXIX, 6-7, 724-38.
- HARRISSON (M.N.), 1967. — Selection of source material and methods of formation of composite for maize breeding. Eastern African Cereals Research Conference, septembre 1967.
- LE CONTE (J.), 1974. — Les composites et leur application au maïs. *L'Agronomie Tropicale* (Paris, France), XXIX, 6-7, 715-23.
- MARCHAND (J.L.), 1975. — La sélection récurrente, objectifs et méthodes. *L'Agronomie Tropicale* (Paris, France), XXX, 3, 217-30.
- WELHAUSEN (E.J.), 1965. — Exotic germ plasm for improvement of corn belt maize. Proceeding of the 20th Annual Hybrid Corn Industry Research Conference, 31-45.

DIMENSIONS DES EXPLOITATIONS ET MODERNISATION AGRICOLE EN MILIEU WOLOF-SALOUM (SENEGAL)

par

Paul KLEENE * et Yves BIGOT **

RESUME. — Une méthode de classification des exploitations agricoles est présentée. Elle est basée sur le critère de dimension socio-démographique, considérée comme variable indépendante. Le croisement de cette variable avec des variables de modernisation permet d'évaluer les taux de pénétration des innovations techniques parmi les différentes catégories des paysans. L'application de la méthode, au cas des Unités expérimentales, fait preuve de sa simplicité. La nécessité d'orienter les programmes de vulgarisation davantage vers les petites et moyennes exploitations a été explicitée quantitativement.

Mots-clé : exploitations agricoles, dimension socio-démographique, modernisation, innovations techniques, unité expérimentale, Sénégal.

INTRODUCTION

La dimension des exploitations agricoles au Sénégal est un problème auquel sont confrontés les responsables du développement rural ainsi que les chercheurs chargés du transfert Recherche-Développement. La présente étude a été faite d'un point de vue socio-économique ; elle propose une nouvelle façon de considérer la dimension des exploitations agricoles ainsi que leur répartition en classes de dimensions différentes. Il ne s'agit pas uniquement d'introduire une notion nouvelle, mais d'indiquer également une méthode simple qui puisse être appliquée facilement sur le terrain par et au profit des opérations de développement rural. La démonstration s'appuie sur les résultats d'une enquête menée par les auteurs fin 1973, début 1974, dans les Unités expérimentales du Sine-Saloum (1).

L'enquête s'insère dans le cadre plus général de ce que MALASSIS (1973) a appelé « la recherche des structures réelles de production », dont la connaissance est indispensable à toute intervention en milieu rural.

Dans la région du Sine-Saloum, au Sénégal, il a été tout d'abord nécessaire de déterminer clairement ce que c'est que l'Unité de production agricole. Cela nous avait conduit, dans un premier article (2), à en donner la définition suivante :

L'exploitation agricole wolof coïncide soit avec le carré, soit avec une fraction de celui-ci, le ménage exploitant. Elle est composée d'un centre de décision principal et de plusieurs centres de décision secondaires :

- l'exploitation principale, conduite par le chef d'exploitation ;
- l'ensemble des sous-exploitations, conduites individuellement par chaque homme ou femme, qui dépend du chef d'exploitation pour sa nourriture.

Cette connaissance permet d'identifier et de repérer, d'une façon précise, les Unités de production qui constituent la clientèle des opérations de développement. Egalement, elle nous renseigne sur le fonctionnement interne de l'exploitation et, par là, sur les voies de pénétration que suivent les thèmes techniques pour arriver aux différentes couches à l'intérieur de l'exploitation (3).

(1) Unité expérimentale : dispositif de recherche agro-socio-économique implanté, au nombre de deux, dans le Sine-Saloum au Sénégal, dans le but d'expérimenter à petite échelle les modes de développement rural les plus appropriés pour la zone ; support : une coopérative agricole regroupant 200 à 300 exploitations avec 1.800 à 2.400 habitants (voir Tourte, 1974).

(2) KLEENE (P.). — Notion d'exploitation agricole et modernisation en milieu Wolof-Saloum (Sénégal), dans : *L'Agronomie Tropicale*, vol. XXXI, n° 1, janvier-mars 1976.

(3) Les principales conclusions du premier article ont été résumées en annexe A.

(*) KLEENE (P.). — Socio-économiste, Ingénieur de Recherches IRAT de 1969 à 1974, chargé de recherches au Koninklijk Instituut voor de Tropen, Mauritskade 63, Amsterdam.

(**) BIGOT (Y.). — Agro-économiste, Ingénieur de Recherches IRAT, BP 635, Bouaké (Côte-d'Ivoire).

Cependant, ce premier article n'avait pas traité de la dimension des exploitations ni de leur classification ou de leur répartition fréquentielle. C'est l'objet du présent article.

L'objectif est de fournir à la vulgarisation une méthode lui permettant de mieux cerner sa clientèle paysanne, surtout d'un point de vue quantitatif. Pour faire son travail, la vulgarisation ne peut pas s'adresser aux paysans « en général », mais elle a besoin de faire une distinction entre différentes catégories de paysans, ayant les mêmes caractéristiques. Une telle classification doit se baser sur quelques indicateurs pertinents pour le développement. Afin de sauvegarder la simplicité de méthode, il faut que ces indicateurs soient facilement observables, et en nombre limité.

La vulgarisation est souvent obligée, pour des raisons d'efficacité, de diffuser les thèmes, d'abord à une petite catégorie de paysans de pointe, moins vulnérables aux risques des changements. Néanmoins, si, par la suite, on ne met pas tout l'effort sur la promotion des groupes de paysans disposant de revenus moyens et faibles, on risque une koulakisation très rapide, qui sera en contradiction avec les objectifs de développement au Sénégal. La présente étude offre une méthode d'évaluer la pénétration de la modernisation agricole parmi les différentes catégories de paysans.

METHODOLOGIE

APPROCHE DE CLASSIFICATION DE LA CLIENTELE PAYSANNE

Selon les objectifs qu'on se fixe, les possibilités d'établir une classification des exploitations paraissent infinies : on peut se baser sur la surface cultivée, la surface disponible, le niveau d'équipement, le nombre des individus, le nombre des personnes actives, la classe sociale, etc. En agro-économie, la classification des exploitations est faite le plus souvent dans le but de définir quelques exploitations types, qui se prêtent à l'élaboration de modèles d'exploitation normatifs, destinés à l'orientation du conseil de gestion. Une telle classification repose sur la détermination d'un critère clé, exprimant le facteur de production le plus limitant (4). Au cas où la situation foncière est bien fixée (existence d'un cadastre), et relativement constante, comme c'est le cas en Europe par exemple, la classification des exploitations se fait souvent selon la disponibilité du facteur

(4) Voir par exemple CORDONNIER et al. (1970), p. 112 : « Quels que soient les critères sur lesquels porte la sélection, on doit toujours considérer en premier lieu ceux qui présentent le plus grand caractère de fixité ou de rigidité, dans la mesure où ils dessinent de façon contraignante les limites imposées à l'entreprise : ainsi la dimension de l'entreprise est une contrainte plus sévère que la répartition des cultures. »

terre (par exemple exprimée en SAU). Pour le Sine-Saloum, une telle approche a été suivie par NEUMAN (1973), dans le cadre d'une enquête agro-économique sur 240 exploitations de pointe (≥ 9 actifs/exploitation). Deux inconvénients majeurs s'opposent, dans le contexte actuel de l'agriculture sénégalaise, à suivre cette approche :

- a) elle exige la mesure des nombreuses parcelles que comptent les exploitations ; il s'agit d'un travail difficile, qui doit être fait avec précision ; sans cela, on risque d'obtenir des données fantaisistes (5) ;
- b) le facteur terre ne se présente pas (encore) comme le facteur de production le plus limitant. On constate, dans un terroir donné, un rapport hommes/terre peu variable ; la surface cultivée (variable dépendante) est fonction du nombre des actifs (variable indépendante), plutôt que l'inverse. Cette adaptation est possible grâce au système relativement souple de prêts de terre (KLEENE, 1974 a).

L'objectif de notre étude n'étant pas exclusivement économique, nous avons préféré la main-d'œuvre au facteur terre, en tant que variable pertinente de classification des exploitations. On considère le nombre des actifs d'une exploitation comme variable indépendante. C'est une donnée socio-économique, dont la variation est déterminée, d'une part par le « hasard démographique » (6), d'autre part, par un complexe de variables relatives au système social (7).

Dans la conception du Wolof du Sine-Saloum, être riche et avoir de nombreux dépendants familiaux sont deux faces de la même médaille, ce que l'on n'obtient que par la grâce de Dieu. Aussi est-ce une double aspiration poursuivie par l'homme. Ce comportement est conforme à ses expériences et fait preuve d'un bon sens de rationalité (8).

Ainsi la taille démographique d'une exploitation est une donnée de base, prépondérante par rapport aux autres variables de dimension. Elle peut être exprimée par le nombre des actifs par exploitation, qui est, en moyenne, proportionnel au nom-

(5) Sur ce point nous ne partageons pas l'optimisme exprimé par NEUMAN (*op. cit.*, p. 13). D'ailleurs, si l'on veut couvrir valablement l'ensemble des exploitations, il faut partir d'échantillons encore plus vastes que celui de l'enquête susmentionnée ; les opérations de développement ne disposent généralement pas des moyens nécessaires pour entreprendre de telles enquêtes.

(6) La natalité et la mortalité dans cette société ne sont que très faiblement influencées par la volonté de l'homme.

(7) Cet aspect a été étudié par VENEMA, voir VENEMA (1973) et KLEENE (1974 b).

(8) Nous sommes d'accord avec HILL (1972), qui critique l'approche exclusivement démographique pour expliquer l'inégalité économique entre paysans : "One of the main themes of this book is that such a demographic approach is misleadingly rigid and deterministic..." (*op. cit.*, p. 57). Si nous considérons la dimension démographique de l'exploitation comme variable indépendante, cela n'est justifié, bien sûr, que dans le cadre limité de notre étude, qui n'a pas pour objet d'expliquer la causalité du phénomène de dimension.

bre total des individus. Aussi cette variable a l'avantage de pouvoir être observée facilement à l'aide d'une enquête démographique simple : l'inventaire des personnes actives fournit en même temps une bonne estimation pour l'ensemble des effectifs (9).

A partir de cet élément des variables de modernisation ont été introduites afin d'aboutir à des classifications destinées à orienter les conseils en vulgarisation. La démonstration est réalisée à l'aide de croisements simples avec des variables comme l'équipement, la traction bovine, l'amélioration foncière (10). Il est à souligner qu'il s'agit de facteurs de progrès dont l'observation à grande échelle est à la portée d'un organisme de développement. Autant il est dangereux de surcharger les vulgarisateurs de tâches d'enquêtes, autant faut-il éviter de sous-estimer leur compétence dans le domaine de l'observation du milieu paysan. Cette activité a d'ailleurs l'avantage d'être très formatrice, à condition qu'elle soit supervisée par une cellule d'études, de préférence détachée de la structure de commandement des interventions.

La classification présentée ici se prête à être utilisée dans le cadre du « conseil de vulgarisation », tel que celui élaboré par RICHARD (1974), à l'aide d'un graphe. Cependant elle ne prétend pas fournir une véritable typologie des exploitations, qui ne pourra être élaborée qu'à partir d'enquêtes agro-économiques détaillées (11).

ENQUETE DEMOGRAPHIQUE

En octobre-novembre 1973, une enquête démographique exhaustive a été organisée sur l'ensemble des 445 exploitations des Unités expérimentales, situées respectivement dans le Sud et le Sud-Est du Sine-Saloum. Seuls les résultats des 309 exploitations wolofs sont pris en compte ici. Celles-ci sont toutes caractérisées par une structure socio-économique identique, à quelques nuances près selon les terroirs d'appartenance. Cette structure a été analysée par KLEENE (1976) à partir d'études de cas menées sur la même population.

L'enquête a pu profiter d'un fichier démographique complet, établi en 1970 et partiellement mis à jour. A partir de ce fichier et de quelques questions clés, on a identifié d'abord les exploitations indépendantes (« ménages exploitants ») au sein d'un même carré. Ensuite, on a évalué, au niveau de chaque exploitation :

- le nombre des individus,
- le nombre des actifs agricoles permanents évalués à raison de :
 - hommes : 15 à 59 ans = 1
 - femmes : 15 à 59 ans = 0,5
 - garçons de 8 à 14 ans = 0,5
 - filles de 8 à 14 ans = 0,2 ;
- le nombre des hommes actifs permanents ;
- le nombre des hommes actifs permanents et saisonniers (navétanes inclus, firdous exclus) (12), présents lors de la saison de cultures passée) ;
- le nombre des ménages dépendants par exploitation ;
- la situation de co-résidence ou de propre résidence de l'exploitation.

ENQUETE SUR L'EQUIPEMENT : MATERIEL AGRICOLE ET CHEPTEL DE TRACTION

Une autre enquête exhaustive a été entreprise dans les exploitations ainsi identifiées ; cette enquête portait sur la disponibilité d'équipement agricole lors de la campagne agricole passée. On n'a tenu compte que du matériel agricole utile, c'est-à-dire de celui disposant d'animaux de trait permettant une utilisation effective. De même, on n'a tenu compte que du matériel et du cheptel de traction en propriété et disponibles, ainsi que de ceux empruntés ou loués tout au long des périodes propres à leur utilisation spécifique. Donc, on a retenu comme critère : la disponibilité effective de l'équipement dans l'exploitation lors de l'année de l'enquête. Il faut souligner que la période et la nature de la présence dans l'exploitation doivent être précisées consciencieusement. On observe de nombreux prêts et locations entre exploitations, notamment concernant des paires de bœufs, des semoirs et des houes.

RESULTATS

CARACTERISTIQUES SOCIO-DEMOGRAPHIQUES

L'enquête démographique porte sur 309 exploitations wolof, regroupant 3.201 habitants au total. On compte en moyenne 10,4 habitants par exploitation, dont la moitié (52 %) est considérée comme active (5,4 personnes actives en moyenne par exploitation).

(9) Déjà le classement des exploitations selon le seul critère du nombre des actifs fournit à la vulgarisation une base de travail utile.

(10) Voir la définition plus loin.

(11) De nombreux éléments en sont déjà disponibles, on les trouve notamment dans les travaux de BIGOT (1974), MONNIER (1973), RAMOND (1972) et TARDIEU (1970).

(12) *Navétane* : étranger, saisonnier, qui passe la saison de cultures dans l'exploitation, où il est logé et nourri ; le plus souvent, il bénéficie d'une parcelle du chef d'exploitation pour la cultiver, contre des prestations de travail agricole.

Firdou : étranger, ouvrier temporaire pour des travaux de récolte et le battage des arachides.

Le tableau I donne la répartition des fréquences des exploitations selon le nombre des actifs (dimension socio-démographique). Cette distribution

fait apparaître un nombre plus élevé de petites que de grandes exploitations.

Tableau I
REPARTITION DES EXPLOITATIONS ET DE LA POPULATION
PAR CATEGORIE DE DIMENSION SOCIO-DEMOGRAPHIQUE

Catégories d'exploitations (selon le nombre total d'actifs permanents)	Fréquences relatives (%)		Fréquences cumulées (%)	
	en nombre d'exploitations	en part de la population masculine permanente	en nombre d'exploitations	en part de la population masculine
≤ 1,5	13	5	13	5
1,5 à 3 exclus	24	11	37	16
3 à 4,5 exclus	26	24	63	40
4,5 à 6 inclus	18	22	81	62
6 à 7,5 inclus	10	15	91	77
7,5 à 9 inclus	7	12	98	89
> 9	2	11	100	100
Totaux	100	100		

Le souci de raisonner en termes de « part de la population touchée », a conduit à la présentation du graphique 1. Celui-ci exprime la répartition fréquentielle cumulée du nombre des exploitations et du nombre des individus se trouvant dans ces exploitations, selon la catégorie de dimension. Le nombre des individus est représenté par le nombre des hommes actifs permanents. Comme la population masculine active est uniformément répartie dans les exploitations, elle donne une bonne indication pour la répartition de la population totale.

Il apparaît au graphique 1 qu'un nombre important d'individus se trouve dans les exploitations de dimensions grande à moyenne.

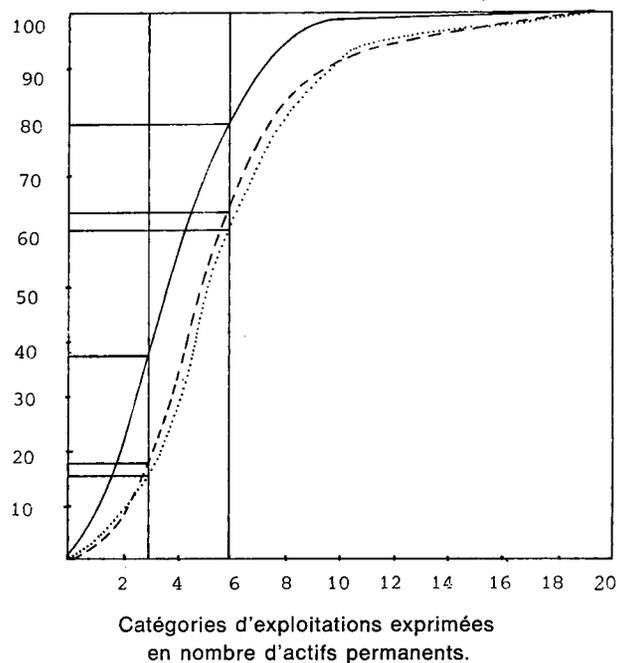
APPORT DE TRAVAILLEURS SAISONNIERS

Au lieu de ne considérer que la population permanente des exploitations, constituée d'individus apparentés et associés, on peut tenir compte également des travailleurs saisonniers (13). Ceux-ci, avec les actifs permanents, représentent la force de travail réelle lors d'une saison de culture donnée. L'effet de la venue de ces travailleurs en 1973 est présenté au tableau II. Il se trouve que l'apport de saisonniers a été très important pour les exploitations de 1,5 à 3 actifs, allant jusqu'au doublement de leurs effectifs en hommes actifs. Les plus grandes exploitations attirent relativement moins de saisonniers que les exploitations de taille moyenne.

(13) Dans le sens de navetanes.

Graphique 1

Répartition des fréquences cumulées des exploitations par catégorie de dimension.



- ensemble des exploitations : pourcentages ;
- - - ensemble de la population masculine permanente, saisonniers exclus : pourcentages.
- ensemble de la population masculine active permanente, saisonniers inclus : pourcentages ;

Tableau II
EFFETS DES TRAVAILLEURS SAISONNIERS
SUR LA REPARTITION FREQUENTIELLE DE LA CLIENTELE PAYSANNE

Catégories d'exploitations (selon le nombre total d'actifs permanents)	Part des saisonniers par rapport à la population masculine permanente (%)	Fréquences relatives de la population masculine, saisonniers inclus (%)	Fréquences cumulées de la population masculine, saisonniers inclus (%)
≤ 1,5	+ 17	4,6	4,6
1,5 à 3	+ 53	13,3	17,9
3 à 4,5	+ 26	24	41,9
4,5 à 6	+ 31	22,8	64,7
6 à 7,5	+ 22	14,5	79,2
7,5 à 9	+ 17	11,2	90,4
> 9	+ 10	9,6	100
Ensemble	+ 26	100	—

A cause du caractère temporaire et incertain du séjour des saisonniers, on constate de grandes fluctuations dans les dimensions d'exploitations individuelles d'une année sur l'autre. Cela explique en partie l'instabilité relative de la petite et moyenne exploitation agricole wolof. Les fluctuations en nombre d'actifs, qui peuvent aller du simple au double, entraînent des fluctuations proportionnelles d'autres indicateurs de ces exploitations, comme la surface cultivée, les besoins d'engrais, le produit brut, la capacité d'endettement, etc. Ce phénomène pose des problèmes particulièrement difficiles à la vulgarisation.

Au niveau de l'ensemble, on constate également des fluctuations considérables dans la présence de saisonniers selon les années. Cependant, ces fluctuations s'y font moins sentir, car l'effet des saisonniers sur la répartition fréquentielle globale n'est pas très fort, comme l'indique le graphique 1. Toutefois, on observe une certaine atténuation quant aux extrêmes de la répartition. Par la suite, on a choisi arbitrairement de ne raisonner qu'en termes de population active, saisonniers inclus, tandis que le classement, en abscisse, reste basé sur le nombre des actifs permanents, saisonniers exclus.

EXEMPLE DE CLASSIFICATION

La répartition de la clientèle paysanne selon la dimension socio-démographique de l'exploitation est continue, comme il apparaît clairement au graphique 1. Cette forme de présentation a égale-

ment l'avantage de permettre de lire le pourcentage des cas ainsi que le taux de la population concernée pour toute classe de dimension que l'on veut distinguer.

Ainsi, au tableau II, on a présenté un classement en trois catégories d'exploitations selon le nombre total de leurs actifs, correspondant aux seuils d'introduction possible des principaux thèmes techniques liés (sous forme de « package programs »).

On distingue les catégories d'exploitations suivantes :

- moins de trois actifs :
 - thèmes légers : traction asine, équine : semoir et houe monorang, fumure faible ;
- à partir de trois actifs :
 - thèmes légers, avec introduction de la traction bovine : semoir et houe bi-rangs, premiers labours d'enfouissement ;
 - thèmes lourds : dessouchage, labour, phosphatage de fond, fumure forte (« amélioration foncière ») ;
- à partir de six actifs :
 - introduction d'une deuxième paire de bœufs (ou de vaches), polyculteur à grand rendement.

Ces seuils ne constituent pas des seuils absolus, mais correspondent aux expériences de diffusion acquises jusqu'ici.

Tableau III
REPARTITION FREQUENTIELLE DE LA CLIENTELE PAYSANNE
EN TROIS CLASSES SELON DES SEUILS D'INTRODUCTION DE THEMES TECHNIQUES LIES

Catégorie d'exploitation	Taux des exploitations (%)	Taux de la population concernée	
		Saisonniers exclus (%)	Saisonniers inclus (%)
I. Moins de trois actifs	37	16	18
II. Trois à six actifs	44	46	47
III. Plus de six actifs	19	38	35
Total	100	100	100

On constate donc que 82 % de la population se trouve dans des exploitations d'au moins trois actifs, tandis que les nombreuses petites exploitations (37 % du nombre total), n'hébergent que 18 % de la population.

CATEGORIES D'EXPLOITATIONS ET DYNAMIQUE SOCIALE

Les exploitations de tailles moyenne et grande peuvent être réparties en sous-catégories selon qu'on regarde la présence de ménages familiaux (14) dans les exploitations. Celles-ci sont

décrites dans le tableau IV avec leurs principales caractéristiques. Ce tableau fournit quelques notions de l'aspect dynamique de la répartition dimensionnelle des exploitations.

Les petites exploitations de la sous-catégorie R 1 (16 % de la population) sont, dans les deux tiers des cas, des ménages exploitants, n'ayant obtenus leur indépendance économique que récemment (15). La moitié de la population se trouve dans des exploitations moyennes ou grandes à un seul ménage, tandis qu'un tiers de la population cohabite avec plusieurs ménages.

Tableau IV

CATEGORIES ET SOUS-CATEGORIES D'EXPLOITATIONS : QUELQUES CARACTERISTIQUES (% de la population concernée)

	% de la population concernée
CATEGORIE I :	
Trois actifs ; petite dimension, 1 à 2 hommes, co-résidents (16) dans les deux tiers des cas ; navetanes dans 50 % des cas.	
Sous-catégorie R 1 : famille restreinte de petite dimension	16
CATEGORIE II :	
Trois à six actifs ; dimension moyenne, 2 à 3 hommes en général, quelquefois co-résidents , navetanes dans un tiers des cas.	
Sous-catégorie R 2 : famille restreinte de dimension moyenne ; au moins deux hommes en général, dont un sourga familial ; navetanes fréquents, de règle dans le cas d'un seul homme permanent, co-résidence fréquente.	36
Sous-catégorie E 2 : famille étendue (ménages dépendants), de dimension moyenne, deux hommes au moins dont un chef de ménage dépendant, quelques navetanes	10
CATEGORIE III :	
Six actifs, grande dimension.	
Sous-catégorie R 3 : famille restreinte (sans ménage dépendant), de grande dimension, deux hommes au moins, pas de dépendance, polygamie, navetanes occasionnellement	15
Sous-catégorie E 3 : famille étendue simple : deux hommes au moins, dont un chef de ménage dépendant, quelques navetanes	15
Sous-catégorie E 4 : famille étendue , plus d'un ménage dépendant ; trois hommes au moins, dont deux chefs de ménage dépendants, ou parfois davantage	8

A court terme, on peut supposer que la structure socio-démographique se maintiendra et que le classement établi ne subira pas de modifications : on assistera qu'à un passage des individus d'une catégorie à l'autre. Même dans ce cas, il est essentiel pour la vulgarisation de tenir compte de cet aspect dynamique de la dimension socio-démographique des exploitations. Comme on le démontrera plus loin, il y a tout intérêt à encourager les tentatives, entreprises surtout par les chefs d'exploitation devenus récemment indépen-

dants, d'augmenter le nombre de leurs actifs. Aussi faut-il aider la communauté paysanne à trouver des moyens pour lutter contre la tendance à la désintégration des grandes exploitations. Cette tendance est une des expressions d'un conflit de générations étudié par VENEMA (1973).

La vulgarisation pourrait jouer un rôle utile dans ce domaine, notamment par le biais de l'éducation des adultes et de l'animation rurale au sein des groupements de base de la Coopérative (KLEENE, 1973).

(14) *Ménage* : foyer conjugal, mono- ou polygame, avec ses dépendants ; il se trouve à l'intérieur du carré ; on ne parle de ménage que quand l'(es) épouse(s) a(ont) réellement rejoint son(leur) mari.

(15) On suppose que l'autre tiers des cas, 5 % de la population, est constitué surtout de vieux ménages, ayant souffert d'une mortalité exceptionnelle dans leur foyer ; il s'agit souvent de véritables cas sociaux (communication personnelle de J.B. VENEMA).

(16) Co-résidence : résidence commune de deux ou plusieurs exploitations dans le même carré.

CATEGORIES DE DIMENSION
ET INDICATEURS DE MODERNISATION

A partir de la classification susmentionnée, les résultats de l'enquête concernant l'équipement utile ont été analysés de manière à connaître la disponibilité de ce matériel au niveau de chaque catégorie. Parmi les indicateurs de modernisation, l'équipement est primordial, car son adaptation entraîne celle des autres innovations techniques : engrais, semences améliorées, travail du sol, embauche paysanne, etc. (ANONYME, 1975).

EQUIPEMENT DE SEMIS ET SARCLAGE

Le tableau V donne la situation du niveau d'équipement de semis et de sarclage. Les critères suivants ont été retenus :

- mal équipé : plus de cinq actifs par semoir et/ou moins d'une houe par semoir ;
- moyennement équipé : cinq actifs par semoir au plus et une houe par semoir au moins ;
- bien équipé : trois actifs par semoir au plus et une houe par semoir au moins.

On observe que le quart seulement des exploitations est bien équipé, ne regroupant que 17% de la population. Les trois quarts des exploitations (83% de la population) sont mal ou moyennement équipés. Il est frappant de constater que les petites exploitations sont relativement bien équipées (53%), contrairement aux grandes exploitations, dont 53% sont mal équipées.

Tableau V
NIVEAU D'EQUIPEMENT PAR CATEGORIE DE DIMENSION
(en 1973)

Catégorie de dimension	Mal équipé		Moyennement équipé		Bien équipé		Total (%)
	Exploitations concernées (%)	Population concernée (%)	Exploitations concernées (%)	Population concernée (%)	Exploitations concernées (%)	Population concernée (%)	
≤ trois actifs	25	4	22	4	53	8	100 16
Trois à six actifs	40	18	45	21	15	7	100 44
> six actifs	53	20	42	16	5	2	100 38
Ensemble	(37)	42	(38)	41	(25)	17	100

Toutefois, il ne faut pas en conclure que l'équipement des petites exploitations est très satisfaisant. Dans beaucoup de cas, celles-ci se servent d'équipement qu'on leur prête après les travaux chez le propriétaire. Dans ces exploitations, on note souvent des retards dans les interventions culturales, qui mènent à des baisses de rendement considérables (17). C'est pourquoi il est opportun

d'évaluer dans l'équipement utile la part qui est en propriété et la part qui est empruntée. Pour les semis, un quart de la population se trouve dans des exploitations ne disposant pas de semoir en propriété (tableau VI). Dans les exploitations de dimension moyenne, le niveau d'équipement n'est pas très satisfaisant, et un quart des exploitations a recours aux emprunts.

(17) L'effet négatif sur le rendement de l'arachide en cas de décalage de la première à la deuxième période de semis utile (± 14 jours) est de l'ordre de 30% (RAMOND, 1972).

Tableau VI
EMPRUNTS DE SEMOIRS PAR CATEGORIE DE DIMENSION
(en 1973)

Catégorie de dimension	Semis manuel		Emprunts		Propriété	
	Exploitations concernées (%)	Population concernée (%)	Exploitations concernées (%)	Population concernée (%)	Exploitations concernées (%)	Population concernée (%)
≤ trois actifs	4,5	2,3	16	7,7	16,5	8
Trois à six actifs	0,5	0,5	11	12	32	34,5
> six actifs	—	—	0,4	2	14,6	33
Ensemble	5,0	2,8	27,4	21,7	63,1	75,5

De façon identique, on a évalué plus en détail la situation concernant le nombre des actifs par semoir et par houe utile, ainsi que le nombre des houes utiles par semoir utile. Quant à ce dernier rapport, dans 17 % des cas (regroupant 17 % de la population), il y a un déséquilibre par manque ou absence de houes.

TRACTION BOVINE

Pour des raisons de rentabilité, la traction bovine ne peut intéresser théoriquement que les

exploitations ayant quatre actifs au moins ; ainsi 54 % des cas, regroupant 33 % de la population, en seraient exclus (graphique 1). Dans la pratique, on retrouve cette proportion (tableau VII), bien qu'une fraction des exploitations de faible dimension arrive tout de même à rentabiliser une paire de bœufs. Toutefois il s'agit, dans 80 % des cas, de « paires confiées » par des paysans riches, dans une optique d'emboche sans charges (tableau VIII).

Tableau VII
UTILISATION DE LA TRACTION BOVINE
(en 1973)

Catégorie de dimension	% des exploitations ayant utilisé la traction bovine		% de la population concernée par l'utilisation de la traction bovine
	(dans la catégorie)	(dans l'ensemble)	
≤ 3 actifs	20	7	3,6
3 à 6 actifs	36	15,7	16,9
> 6 actifs	71	13,5	24,8
Ensemble	—	36,6	45,3

Tableau VIII
PAIRES DE BŒUFS EMPRUNTEES
(en 1973)

Catégorie de dimension	En % des exploitations ayant utilisé la traction bovine	En % de l'ensemble des exploitations	% de la population concernée par l'emprunt de paires de bœufs
≤ 3 actifs	80	5,9	2,9
3 à 6 actifs	48	7,5	8,1
> 6 actifs	27	3,7	6,7
Ensemble	—	17,1	17,7

Si la traction bovine n'est pratiquée que dans 36,6 % des exploitations, elle touche tout de même presque la moitié de la population en 1973, résultat remarquable, compte tenu du très faible taux de pénétration en 1969 (tableau VII). Le taux d'échanges de paires de bœufs est élevé, même dans les exploitations de tailles moyenne et grande.

QUELQUES CONCLUSIONS

1) Pour la catégorie des **moins de trois actifs**, on note :

- une fraction résiduelle en culture manuelle ;
- l'importance des recours aux prêts et aux locations de matériel et de cheptel (pour les quelques cas utilisant la traction bovine) ;

— un taux assez satisfaisant d'utilisation d'équipement (semoir, houe).

2) Pour la catégorie de **trois à six actifs**, on constate :

- l'utilisation de la traction bovine dans un tiers des cas, mais avec de nombreux prêts ;
- le recours au propre matériel, généralement en traction équine, pour semer.

3) Pour la catégorie de **plus de six actifs**, on observe :

- l'importance de la traction bovine avec des prêts augmentant l'utilisation des bœufs de 50 % en propre à 70 % au total des cas ;
- l'équipement mécanique néanmoins médiocre dans cette catégorie, sauf exception.

AMELIORATION FONCIERE

De toutes les innovations techniques introduites « l'amélioration foncière », diffusée depuis 1969, a été la plus poussée. Elle propose un système technique de production entièrement nouveau, permettant le doublement de la productivité du sol en maintenant ou en améliorant son niveau de fertilité. Un schéma de rotation de type quadriennal a été introduit : céréale de cycle court (mil, maïs)/arachide ou cotonnier/céréale (sorgho ou maïs)/arachide, avec traction bovine et desouchage permettant un premier labour de la première sole, puis un labour tous les deux ans, apport initial de phosphate tricalcique (400 kg/ha) et fumures complémentaires pour les diverses cultures ; du fait de la correction de la carence des sols en phosphore et du processus d'amélioration du profil cultural dus aux labours (CHARREAU et NICOU, 1971), ces schémas étaient désignés sous le nom « d'améliorations foncières ».

L'application complète de l'amélioration foncière suppose une bonne maîtrise technique par le paysan, et exige un appareil de production déjà bien développé. Une dimension de quatre actifs est considérée comme le seuil minimum d'introduction possible. La clientèle potentielle théorique se situe donc à 44 % des exploitations, regroupant 66 % de la population (graphique 1).

Tableau VIII
PENETRATION
DE L'AMELIORATION FONCIERE
(en 1975)

Catégorie d'exploitation	En % des exploitations qui appliquent l'amélioration foncière	En % de la population concernée
≤ trois actifs	—	—
Trois à six actifs	4,8	5,3
> six actifs	12	22
Ensemble	16,8	27,3

Dans la pratique, on constate que la diffusion de ce « package » s'est faite progressivement, d'abord dans les grandes exploitations sur une partie de leur surface.

RICHARD (1975) rapporte qu'en 1975, 10 % de la superficie totale était en amélioration foncière, touchant 16,8 % des exploitations, regroupant plus

d'un quart (27,3 %) de la population (tableau VIII). L'amélioration foncière s'applique en moyenne sur 4 ha, représentant 30 % de la superficie cultivée totale de ces exploitations. La partie de la superficie « améliorée » est pour 90 % sous le contrôle direct de « l'exploitation principale » (KLEENE, 1976). Compte tenu, entre autres, de la structure peu intégrée de l'exploitation wolof, qui limite pratiquement l'introduction de l'amélioration foncière, presque à la seule exploitation principale, une dimension de quatre actifs reste, dans maints cas, trop faible. Aussi, en 1975, 71 % des exploitations en amélioration foncière comptaient au moins six actifs (RICHARD, 1975).

MODELES D'EXPLOITATION

Inspirée du cheminement proposé par MALASSIS (1973), ainsi que par les résultats obtenus par « l'Amélioration foncière », la recherche a élaboré des modèles d'exploitations techniquement possible et adaptés aux structures socio-économiques réelles de production. On propose d'élaborer quatre modèles pour les classes de surface suivantes :

- a) 4 ha en rotation + 2 ha de jachère + parcours ;
- b) 8 ha en rotation + 4 ha de jachère + parcours ;
- c) 12 ha en rotation + 6 ha de jachère + parcours ;
- d) 16 ha en rotation + 8 ha de jachère + parcours ;

dont le modèle b), 8 à 12 ha, a été réalisé (RAMOND, MONNIER et CADOT, 1974).

Il est intéressant d'examiner quelles seraient les clientèles potentielles de ces modèles. Pour simplifier le raisonnement, on suppose que la disponibilité en terre ne pose pas de contraintes et que la superficie cultivée par actif se situe dans tous les cas à une moyenne de 1,7 ha (18). Les résultats ont été résumés dans le tableau IX. Deux hypothèses ont été retenues :

- a) Les modèles s'avèrent applicables à l'exploitation principale, sans intégrer les sous-exploitations des hommes et des femmes ;
- b) Les modèles s'appliquent progressivement sur l'ensemble de l'exploitation et entraînent une intégration de plus en plus forte de celle-ci.

(18) Moyenne en 1973 : 1,6 ha (BIGOT, 1974, p. 15).

Tableau IX
CLIENTELE POTENTIELLE DES MODELES NORMATIFS

Modèle	Hypothèse a			Hypothèse b		
	Nombre d'actifs	Taux des exploitations (%)	Population concernée (%)	Nombre d'actifs	Taux des exploitations (%)	Population concernée (%)
a) 4 à 6 ha	7	12	28	3,5	50	75
b) 8 à 12 ha	12	1	4	6	19	38
c) 12 à 18 ha	16	—	1	8	7	19
d) 16 à 24 ha	20	—	—	10	1	11

En l'occurrence, partant de l'hypothèse a), qui correspond le mieux à l'expérience obtenue avec « l'Amélioration foncière », il serait pour l'instant peu utile d'introduire des modèles de 12 à 18 ha, ou de 16 à 24 ha, car ils ne pourront toucher qu'une très faible partie de la population. Par contre, il est urgent d'élaborer un modèle de 4 à 16 ha, qui permettrait d'évoluer vers le modèle de 8 à 12 ha, dans les exploitations où l'intégration se réalise progressivement. En fait, « l'Amélioration foncière », avec intégration de l'embouche paysanne, a déjà amorcé ce modèle dans la pratique.

CONCLUSIONS

La possibilité, pour le paysan, d'appliquer les différents thèmes techniques est déterminée en grande partie par la dimension de son exploitation. Si la vulgarisation se donne pour tâche de promouvoir le bien-être de tous les paysans, et notamment de ceux qui sont les moins riches, elle devra pouvoir disposer d'un programme de diffusion adapté aux besoins spécifiques de chaque catégorie d'exploitation.

Il s'avère que le critère de dimension socio-démographique est le plus opportun pour faire

une distinction entre les catégories d'exploitations. Une telle classification a l'avantage de se faire avec une méthode simple, qui est à la portée d'un organisme de vulgarisation. La présentation, sous la forme de fréquences relatives cumulées, telle que celle du graphique 1, permet une lecture rapide du pourcentage des exploitations et des taux de la population concernée par catégorie de dimension.

Le croisement de ces variables de dimension avec des variables de modernisation fournit, d'une part, des taux de pénétration des thèmes techniques et, d'autre part, des dimensions de clientèles potentielles à couvrir. La méthode proposée peut également rendre plus utiles les résultats des nombreux inventaires et enquêtes que les organismes de développement ont l'habitude d'entreprendre. Cependant, l'interprétation des résultats exige une connaissance profonde de la structure socio-économique, ainsi que du fonctionnement interne des exploitations. A ce sujet, l'exemple de l'Amélioration foncière, dont la diffusion est quasiment limitée à l'exploitation principale, est frappant. Cette connaissance ne s'obtient pas par des enquêtes rapides, mais nécessite le concours de chercheurs, travaillant dans le cadre des objectifs de développement.

Bibliographie

- ANONYME. — Bilan succinct d'un essai de développement expérimental : les Unités expérimentales du Sine-Saloum au Sénégal, 1969-1973, CNRA-Bambey, doc. mult., 42 p., 1974.
- BIGOT (Y.). — Revenus agricoles, diffusion des innovations techniques dans les Unités expérimentales et conséquences immédiates de gestion individuelle et de politique agricole pour le Sud Sine-Saloum, CNRA-Bambey, doc. mult., 42 p., 1974.
- CHARREAU (C.), NICOU (R.). — L'amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche ouest-africaine et ses incidences agronomiques (d'après les travaux des chercheurs de l'IRAT en Afrique de l'Ouest). *L'Agronomie Tropicale*, vol. XXVI, nos 2 et 5, pp. resp. 209-55 et 565-632, 1971.
- CORDONNIER (P.), CHARLES (R.), MARSAL (P.). — *Economie de l'entreprise agricole*, éditions Cujas, Paris, 1970, 541 p.
- HILL (Polly). — *Rural Hausa, a village and a setting*. Cambridge University Press, 1972.
- KLEENE (P.). — Régime foncier et possibilités de restructuration agraire à N'Dakhar-Karim. CNRA-Bambey, doc. mult., 59 p., 1974 a.
- KLEENE (P.). — Structures socio-économiques réelles de production en milieu Wolof du Sud Sine-Saloum. CNRA-Bambey, doc. mult., 91 p., 1974 b.
- KLEENE (P.). — Notion d'exploitation agricole et modernisation en milieu Wolof-Saloum (Sénégal). *L'Agronomie Tropicale*, vol. XXXI, no 1, pp. 63-82, 1976.
- MALASSIS (L.). — Education rurale et agricole et développement économique. *Revue Tiers-Monde*, t. XIV, no 54, Paris, pp. 261-79, 1973.
- MONNIER (J.). — Etude socio-économique détaillée sur deux exploitations. In : Unités expérimentales du Sine-Saloum, Rapport d'activités de recherches 1972-1973, vol. VII, CNRA-Bambey, doc. mult., 91 p., 1973.
- NEUMANN (J.L.). — Les mathématiques dans l'étude économique des exploitations agricoles : l'analyse de groupe. *Techniques et Développement*, no 9, Paris, pp. 12-8, 1973.
- RAMOND (C.). — Economie des exploitations paysannes des Unités expérimentales, campagne agricole 1970. CNRA-Bambey, doc. mult., 51 p., 1972.
- RAMOND (C.), MONNIER (J.), CADOT (R.). — Etude de systèmes techniques de production pour le Sine-Saloum Sud et Est, cas du système 8-12 ha. CNRA-Bambey, 1974.
- RICHARD (J.F.). — Le conseil de gestion aux exploitations agricoles du Sud du Sine-Saloum. CNRA-Bambey, doc. mult., 20 p., 1974.

RICHARD (J.F.). — Les conditions d'application de l'amélioration foncière dans les Unités expérimentales du Sine-Saloum, de 1969 à 1975. CNRA-Bambey, 55 p., 1975.

TARDIEU (H.), RAMOND (C.). — L'économie des exploitations dans les Unités expérimentales du Sine-Saloum, campagne 1969-1970. CNRA-Bambey, 62 p., 1970.

TOURTE (R.). — Réflexions sur les voies et moyens d'intensification de l'agriculture en Afrique de l'Ouest. *L'Agronomie Tropicale*, vol. XXIX, n° 9, pp. 917-46, 1974.

VENEMA (L.B.). — De dorpsstructuur van de Wolof Saloum-Saloum (la structure villageoise des Wolofs Saloum-Saloum). Document provisoire. Landbouwhogeschool, Wageningen, doc. mult., 89 p., 1973.

ANNEXE A

RAPPEL DES PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DE L'EXPLOITATION AGRICOLE WOLOF :

1) exploitation principale :

le chef d'exploitation a le contrôle du foncier et des vivres. Il exploite en direct environ 50 % de la superficie cultivée; il produit environ 90 % des céréales de subsistance, dispose d'environ 50 % des heures de travail agricole effectué au total ; il est propriétaire de la quasi-totalité du capital, des animaux de trait et de l'équipement agricole de l'exploitation ; il est seul capable

de faire les investissements nécessaires pour la modernisation.

2) sous-exploitations :

individualisation des budgets et des revenus monétaires, gestion individuelle des parcelles en culture de rente, attribution de terre à titre annuel, possibilités d'investissements très réduites.

L'IRAT et le MAÏS

LA COMPILATION DE PLUS DE QUINZE ANNÉES DE RECHERCHES EN ZONES TROPICALES

Fascicule 1 - Techniques culturales - Fertilisation - Irrigation Prix 45 F.

Fascicule 2 - Amélioration variétale - Production semencière Prix 70 F.

Fascicule 3 - Maladies - Insectes - Mauvaises herbes
Conservation - Stockage Prix 70 F.

Fascicule 4 - Études économiques - Recherche et développement
de la production dans quelques États africains Prix 45 F.

Les 4 Fascicules : 205 F. + Port

S'adresser à l'IRAT - 110, rue de l'Université - 75340 PARIS Cedex 07 - Tél. : 550.32.10

ELDANA SACCHARINA Walker :
TECHNIQUE D'ELEVAGE SUR MILIEU ARTIFICIEL
ET OBSERVATIONS SUR SA BIOLOGIE EN LABORATOIRE

par M. BETBEDER-MATIBET *

assisté de J. COQUART et D. BORDAT

RESUME. — L'auteur décrit une technique d'élevage, sur milieu nutritif artificiel, d'*Eldana saccharina* Walker, foreur des tiges de canne à sucre en Afrique. Cette technique permet de multiplier facilement l'espèce en laboratoire sans substrat végétal.

Figurent d'autre part dans cet article quelques observations biologiques sur le cycle du ravageur élevé dans les mêmes conditions artificielles.

Mots-clé : *Eldana saccharina*, parasite canne à sucre, élevage en laboratoire, milieu nutritif artificiel, biologie.

INTRODUCTION

Depuis plusieurs années, on observe, dans les pays d'Afrique tropicale, où la culture industrielle de la canne à sucre est ancienne (Afrique du Sud, 2, 3, 4 ; Uganda, 5 ; Tanzanie, 10, 11 ou Ghana), une augmentation de la nuisibilité d'*Eldana saccharina*, pyrale dont les chenilles minent les tiges de cette plante.

En Afrique de l'Ouest, où la plupart des complexes sucriers sont d'implantation récente (Haute-Volta, Sénégal, Côte-d'Ivoire, etc.), on note dès à présent que ce ravageur y pullule et qu'il est apparemment le plus nuisible.

Cette situation a entraîné dans plusieurs pays africains (Afrique du Sud, Tanzanie notamment), un développement des recherches sur cette espèce. Dans les pays d'Afrique de l'Ouest, où la culture industrielle de la canne à sucre connaît un développement important au cours des dix prochaines années, des entomologistes devront y prêter la même attention.

D'ores et déjà, dans nos laboratoires, nous maintenons depuis plus d'un an un élevage d'une souche d'*Eldana saccharina* issue de Côte-d'Ivoire (Ferkessedougou). En prologue à d'autres études, nous y avons mis au point un élevage entièrement artificiel de l'espèce (sans aucun substrat végétal) et avons recueilli simultanément un certain nombre de données sur la biologie du ravageur dans nos conditions de laboratoire. Ces éléments d'information font l'objet de ce court article.

TECHNIQUE D'ELEVAGE D'ELDANA SACCHARINA

ELEVAGE DES CHENILLES SUR MILIEU NUTRITIF ARTIFICIEL

La composition de ce milieu est proche de celle mise au point par POITOUT et BUES (9) pour l'élevage de nombreuses noctuelles, puis légèrement modifiée par Gilberte GUENNELON et F. SORIA (6) pour *Chilo suppressalis* : par rapport au milieu utilisé pour cette dernière espèce, on apporte un peu moins d'agar et environ deux fois plus d'acide ascorbique et d'auroomycine (BORDAT, BRENIERE et COQUARD (1)).

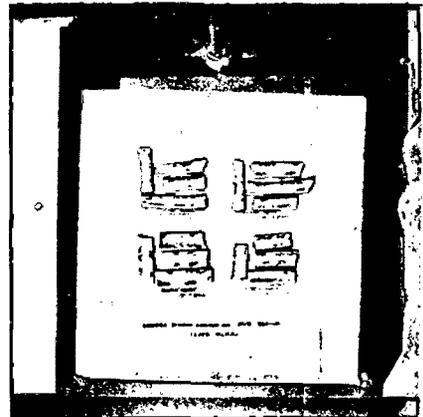
— Eau	: 600 cc,
— Agar en poudre	: 14,0 g,
— Germe de blé	: 28,0 g,
— Levure de bière	: 30,0 g,
— Acide ascorbique	: 10,0 g,
— Acide benzoïque	: 1,2 g,
— Nipagine	: 1,0 g,
— Auréomycine	: 0,2 g.

Moulée dans une boîte en plastique et placée à 25 °C, 75 % HR, avec une photopériode de dix-huit heures de jour et six heures d'obscurité, chaque galette de milieu, de 20 × 8 cm sur 1 cm d'épaisseur, suffit pour l'alimentation et la croissance normale d'environ 120 chenilles, du stade néonate jusqu'à la nymphose, leur mortalité n'excédant pas 10 %.

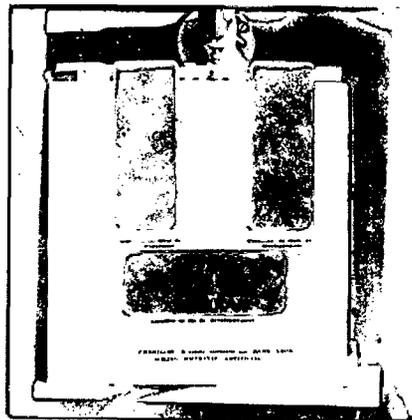
* BETBEDER-MATIBET (M.). — Entomologiste IRAT, Laboratoire Central d'Entomologie de l'IRAT, Centre GERDAT-Montpellier.



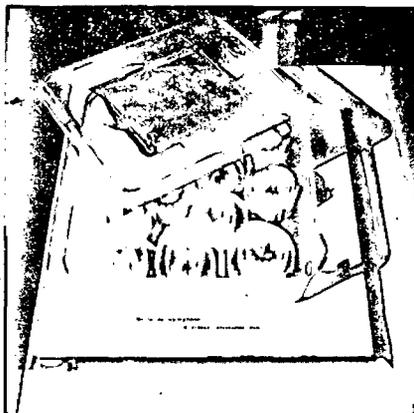
Dispositif pour la ponte d'*Eldana saccharina* Walk.



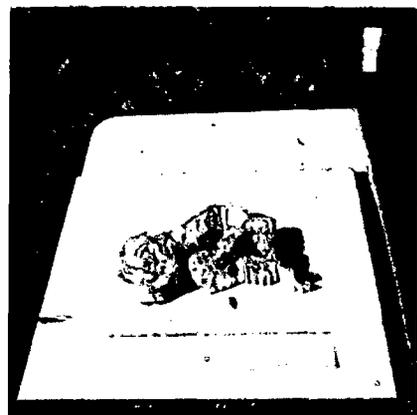
Pontes d'*Eldana saccharina* Walk. sur papier
(à 25 °C - 75 % HR).



Chenilles d'*Eldana saccharina* Walk. dans leur milieu nutritif artificiel.



Boîte de nymphose.



Vue détaillée du dispositif de nymphose.

QUELQUES DONNEES SUR LA BIOLOGIE D'ELDANA DANS DES CONDITIONS D'ELEVAGE EN LABORATOIRE

LES ADULTES

L'accouplement :

Dans les conditions de notre élevage, mâles et femelles s'accouplent généralement dès la nuit suivant leur apparition. Le coït peut durer plus d'une heure.

Les mâles conservent leur pouvoir fécondant pendant plusieurs jours, au moins quatre, comme le montre l'expérience au cours de laquelle 10 mâles vierges âgés de quelques heures, un, deux, trois et quatre jours, ont été individuellement mis en présence de femelles vierges âgées de moins d'un jour (voir tableau I A).

De même, les mâles sont capables de féconder successivement plusieurs femelles vierges. Dans notre expérience, 10 jeunes mâles ont été, individuellement et chaque jour, mis en présence d'une nouvelle femelle vierge, ceci pendant cinq jours. 6 mâles sur 10 ont fécondé trois femelles, 2, deux femelles et 2, une seule femelle, la plupart des fécondations ayant lieu au cours des trois premiers jours de la vie du mâle (voir tableau I B).

La ponte :

Qu'elle ait été ou non fécondée par le mâle, la femelle commence généralement à déposer ses premiers œufs deux jours après son apparition, les premières pontes pouvant être stériles et les suivantes fertiles si l'accouplement a été tardif. Exceptionnellement, accouplement et premières pontes peuvent avoir lieu au cours de la même nuit qui suit l'apparition de la femelle.

Chaque ponte est constituée d'un nombre très variable d'œufs (de 20 à plus de 200), les œufs étant disposés selon un alignement approximatif avec des rangs de 5 à 10 unités.

a) Fécondité de la femelle :

Après douze générations sur milieu nutritif artificiel et dans les conditions d'un élevage d'adultes par couples isolés, la femelle d'*Eldana* a une **fécondité moyenne de 460 œufs fertiles sur 540 pondus avec des extrêmes de 235 œufs fertiles sur 592 pondus et 783 œufs fertiles sur 811 pondus.**



Photo 1

Eldana saccharina Walk. adulte.

DISPOSITIF POUR LA NYMPHOSE, LES ACCOUPLEMENTS ET LA PONTE

Pour éviter que les chenilles ne se nymphosent dans le milieu dégradé en formant un cocon, celles-ci sont placées dans des boîtes en plastique contenant des rouleaux de papier ondulé dans lesquels elles se transforment en chrysalides nues.

L'enceinte d'accouplement et de ponte est constituée d'une simple boîte en plastique transparent au fond de laquelle est disposé un abreuvoir d'eau sucrée et des bandes de papier cartonné.

Pour la ponte, la femelle glisse son oviscape entre le fond de l'enceinte et la bande de papier, puis dépose ses œufs sur la face inférieure de celle-ci. La ponte y adhère grâce à une substance excrétée.

L'enceinte d'accouplement et de ponte est placée à 25 °C, 75 % HR, avec une photopériode de douze heures de jour et douze heures d'obscurité. Les bandes de papier supportant les pontes sont placées, jusqu'à l'éclosion des œufs, dans les mêmes conditions climatiques.

Avec cette technique d'élevage, le cycle biologique de l'insecte dure environ quarante-cinq jours, la fécondité moyenne des femelles étant de 460 œufs.

Tableau 1 FERTILITE DES MALES D'ELDANA

AGE DES 10 MALES VIERGES (JOURS)	Nbre DE FEMELLES FECONDEES 10	AGE DU MALE (JOURS)	MALE N°									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	9	0	f	f	f	f	f	f	f	f	f	nf
1	6	1	f	f	f	f	f	f	f	nf	f	
2	5	2	f	nf	nf	nf	f	f	nf	nf	nf	
3	5	3	nf	nf	f	f	nf	nf	nf	nf	nf	
4	7	4	nf	f	nf							
A		NOMBRE DE FECONDATIONS	3	3	3	3	3	3	2	2	1	1
		B	f : Femelle fécondée nf : Femelle non fécondée									

Des femelles élevées dans les mêmes conditions, mais issues de chenilles ayant accompli toute leur croissance dans les tiges de canne à sucre d'une plantation du Mali, ont eu une **fécondité moyenne de 465 œufs fertiles** sur 550 pondus avec des extrêmes très proches des précédents.

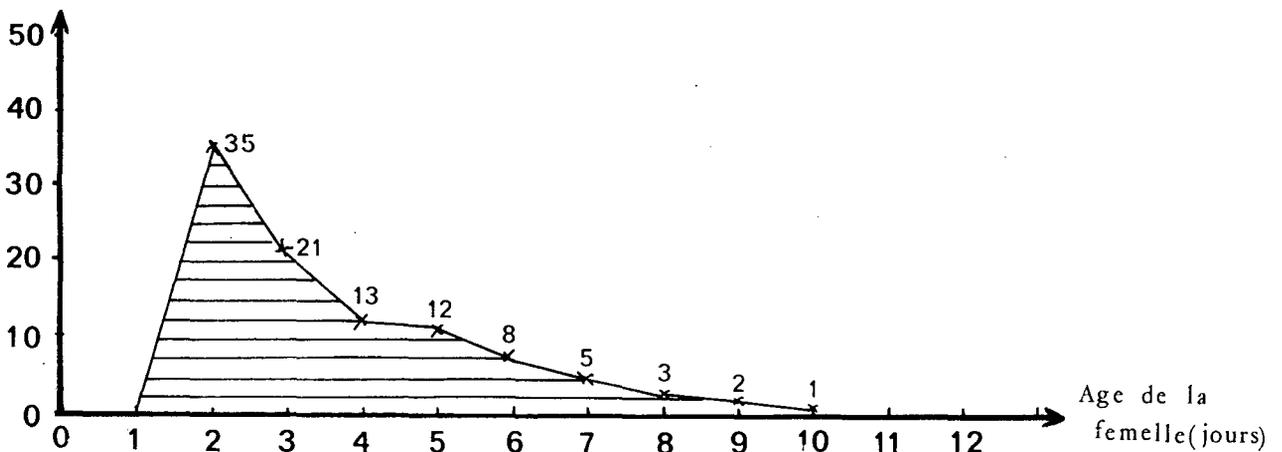
Après un an et demi d'élevage permanent d'*Eldana* sur milieu artificiel, on peut donc affirmer que la valeur nutritive de ce dernier est conve-

nable puisqu'il n'a en rien affecté la fécondité de l'espèce.

b) Rythme de ponte de la femelle :

En moyenne, le tiers des œufs sont déposés lors de la première nuit de ponte et plus de 50% après deux nuits de ponte, soit trois jours après l'apparition de l'imago femelle (voir fig. 1). La ponte se poursuit ensuite à un rythme plus lent jusqu'à la mort de l'adulte.

Pourcentage
journalier
d'œufs pondus



Mise en présence
du mâle et de la
femelle

Figure 1 RYTHME DE PONTE DES FEMELLES D'ELDANA
(Couples isolés 25°C. 75% H.R. 12h/12h)

Longévité des adultes :

Qu'elle ait été ou non fécondée par un mâle, la femelle a une longévité en laboratoire qui oscille entre trois et seize jours, la moyenne étant de neuf jours. Les mâles vivent en moyenne dix jours et ne survivent pas au-delà du treizième jour.

LES STADES LARVAIRES

CARNEGIE et al. (2) signalent que la chenille mâle mue 5 ou 6 fois et la chenille femelle 6 ou 7 fois. WAIYAKI (10) observe, dans ses conditions d'élevage de laboratoire, que les chenilles ont six stades de développement, quel que soit le sexe et la température d'élevage (22 °C, 28 °C).

Sur milieu nutritif artificiel, par un élevage individuel de 50 chenilles néonates pour chacune des quatre conditions climatiques d'élevage, les résultats suivants ont été obtenus (voir tableau II).

Entre 20 °C et 30 °C, les chenilles ont normalement 5 ou 6 stades. A 30 °C, la vitesse de développement larvaire est presque deux fois plus rapide qu'à 20 °C (19-22 jours contre 32-39 jours, selon qu'il y a 5 ou 6 stades).

Il ne semble pas qu'il y ait une relation directe entre la température d'élevage et les pourcentages respectifs d'individus à 5 et 6 stades larvaires : à 20 °C, le pourcentage de chenilles à 5 stades est inférieur à celui obtenu à 30 °C, mais supérieur à celui obtenu à 25 °C.

Entre 20 °C et 30 °C, lorsque le cinquième stade est le dernier, sa durée est environ le double de celle d'un cinquième stade suivi d'un sixième. Mais les chenilles mettent trois jours de plus à 25 °C et 30 °C et sept jours de plus à 20 °C pour franchir les cinquième et sixième stades que pour franchir un cinquième et dernier stade. A 20 °C, c'est la durée du sixième stade, quand il a lieu (12 jours en moyenne), qui accroît sensiblement la durée moyenne de vie larvaire à cette température.

A 15 °C, la quasi-totalité des larves meurent aux premier et deuxième stades. Les rares individus qui franchissent ce cap mettent trois à quatre mois pour se nymphoser, avec des mues supplémentaires (jusqu'à 9 stades larvaires).

Tableau II
DEVELOPPEMENT D'ELDANA EN FONCTION DE LA TEMPERATURE

Conditions climatiques d'élevage	Durée (en jours)							Stade nymphal	Pourcentage de larves aux stades 5 et 6	Adultes obtenus
	1 ^{er} stade	2 ^e stade	3 ^e stade	4 ^e stade	5 ^e stade	6 ^e stade	Total vie larvaire			
30 °C ± 1 °C 12 h j./12 h n.	2,3	2,9	2,8	3,6	7,2	—	18,8	7,9	65	11 ♀ + 13 ♂
					3,8	6,5	21,9	8,1	35	6 ♀ + 6 ♂
25 °C ± 1 °C 18 h j./6 h n.	3,8	3,5	3,3	4,2	8,2	—	23,0	8,8	32	2 ♀ + 6 ♂
					4,2	7,3	26,3	9,1	68	14 ♀ + 7 ♂
20 °C ± 1 °C 12 h j./12 h n.	5,6	5,0	4,8	5,3	11,6	—	32,3	14,5	52	7 ♀ + 9 ♂
					6,5	12,1	39,3	12,4	48	8 ♀ + 2 ♂
15 °C ± 1 °C 12 h j./12 h n.	Quatre individus se sont développés jusqu'à la nymphose en trois-quatre mois. Aucune chrysalide n'a éclo à cette température.									

Tableau III
DESCENDANCE D'INDIVIDUS A CINQ ET SIX STADES LARVAIRES

	Descendance de ces couples (50 individus observés)
Couples issus de chenilles à 5 stades	22 chenilles à 5 stades 17 chenilles à 6 stades
Couples issus de chenilles à 6 stades	25 chenilles à 5 stades 17 chenilles à 6 stades

SYNTHÈSES, NOTES ET ACTUALITÉS

ETUDE D'UNE SOUCHE DU VIRUS DE LA MOSAÏQUE DE LA CANNE À SUCRE

par Pierre BAUDIN

(suite et fin) *

RESULTATS (suite)

CHAPITRE III

SYMPTOMATOLOGIE DE SCMV-AMPEFY SUR SES PRINCIPAUX HOTES

Le SCMV et le MDMV ont été transmis par inoculation mécanique à un grand nombre de plantes appartenant à la famille des Graminées (ABBOTT, 1961 ; TOSIC et FORD, 1972). Les hôtes manifestent une mosaïque, sauf quelques variétés de sorgho qui peuvent donner des stries ou des nécroses brun-rouge systémiques (DEAN et COLEMAN, 1959). Avec la souche SCMV-E, une variété de sorgho, AKS 614, donne des nécroses locales sur les feuilles inoculées, suivies d'une mosaïque sur les feuilles déroulées, formées après l'inoculation (DEAN, 1970). Selon les souches de SCMV et de MDMV, les Graminées sont plus ou moins sensibles. Plusieurs plantes ont été proposées pour différencier les souches de SCMV et de MDMV. Mais l'absence de symptômes où leur netteté dépendent de l'environnement ou des conditions d'expérimentation. Ainsi, le MDMV qui n'était pas considéré comme hôte de la canne à sucre (SHEPHERD, 1965), a été inoculé mécaniquement et réisolé de quatre variétés hybrides de canne (GILLASPIE, 1967).

Les symptômes montrés par une plante à la suite de l'inoculation d'un agent infectieux sont le résultat des relations qui s'établissent entre l'hôte et le parasite. Ces relations dépendent de plusieurs facteurs qui sont essentiellement : le génome de l'hôte, celui du parasite, et l'environnement.

I. RELATIONS HOTES-PARASITES

Microbiologistes et phytopathologistes n'utilisent pas le même vocabulaire pour définir les relations d'un hôte et de ses parasites. Pour les microbiologistes (STANIER, DOUDOROFF et

ADELBERG, 1966), un micro-organisme est pathogène s'il peut produire une maladie. Mais le pouvoir pathogène peut provenir, soit de toxines produites par le micro-organisme, soit de sa multiplication intense, qui caractérise la virulence. Les phytopathologistes et les phytogénéticiens (VAN DER PLANCK, 1968), incluent deux notions dans le pouvoir pathogène : la virulence et l'agressivité, qui sont définies par rapport à la résistance des plantes aux diverses souches pathogéniques. Quand une variété est résistante à certaines races d'un agent pathogène et sensible à d'autres, sa résistance est dite verticale. Quand une variété est résistante d'une manière uniforme à toutes les races du pathogène, sa résistance est dite horizontale. La première forme de résistance est différentielle ou spécifique. Si des races de parasite présentent des interactions différentielles avec des variétés de plantes, ces races sont dites de virulence différente. Par contre, si les races de parasite ne présentent pas d'interactions différentielles sur les variétés de la plante, elles sont dites d'agressivité différente.

La résistance verticale ou différentielle (ou encore spécifique) est de nature oligogénique. Selon la théorie de FLOR (1959) ou *gene for gene system*, à chaque gène de résistance de l'hôte correspond, nombre pour nombre, un gène de virulence du parasite. La résistance horizontale est de nature polygénique. Son effet est d'ordre quantitatif et cumulatif.

La distinction entre résistance verticale et résistance horizontale n'est pas toujours aisée. VAN DER PLANCK (1968) donne de nombreux exemples pratiques parmi les maladies à champignon (Rouille du maïs, Mildiou de la pomme de terre...), parmi les bactérioses (flétrissement bactérien des Solanées) et les nématodes (*Meloidogyne* spp.). Mais, il confère à sa théorie une portée générale.

De nombreux cas de résistance oligogénique et polygénique de plantes aux virus ont été répertoriés par HOLMES (1965). La résistance oligogénique peut se traduire par l'immunité ou par l'hypersensibilité. Le cas le plus classique de résistance par hypersensibilité a été signalé par HOLMES (1964) : le tabac *Nicotiana glutinosa* répond à l'infection du VMT par des nécroses locales à une température maximale de 26°. L'étude de la descendance d'hybrides de *N. glutinosa* montre que ces nécroses locales apparaissent sur des plantes qui possèdent le gène dominant « N » (combinaisons « NN » et « Nn »), alors que la combinaison homozygote « nn », infectée par le même virus, manifeste une mosaïque. C'est une forme de résistance verticale, spécifique de la souche sauvage du VMT. Elle dépend des conditions de milieu : selon la température, les tabacs hypersensibles auxquels le virus est inoculé manifestent des nécroses locales en dessous de 30° (SAMUEL, 1931 ; MARTIN et GALLET, 1966).

HOLMES (1958), a déjà suggéré qu'on utilise la résistance oligogénique d'un hôte à un virus ou à une souche virale pour déterminer ce dernier. Dans ce but, le gène responsable de la résistance de l'hôte ne sera pas supposé conférer la résistance à un autre virus. Cette détermination par résistance oligogénique est différente des tests de résistance variétale, largement utilisés, qui ne font pas de distinction entre la résistance oligogénique et les formes de résistance polygénique (HITCHBORN et THOMSON, 1960).

L'immunité est également une forme de résistance verticale si l'on connaît le gène qui confère cette immunité. Sinon, on ne peut pas savoir si l'on a affaire à une forte résistance horizontale, à une résistance verticale, ou à une esquivé.

* Voir début de l'article : *Agronomie tropicale*, XXXII, n° 1-1977, pp. 66-96.

D'autre part, le nombre de stades larvaires d'un individu n'est pas lié à son sexe puisque l'on obtient, à partir de chenilles à 5 stades comme à 6 stades, des mâles et des femelles.

Notons enfin que le nombre de stades larvaires ne semble pas avoir une origine génétique. Les descendances de couples issus de chenilles à 5 stades et à 6 stades sont représentées dans chacun des deux cas par des chenilles avec 5 ou 6 stades de développement (voir tableau III).

LE STADE NYMPHAL

La durée du stade nymphal varie très peu entre 30 °C (8 jours) et 25 °C (9 jours), mais elle est beaucoup plus longue à 20 °C (15 jours). Elle ne varie pas selon que les chenilles ont accompli 5 ou 6 stades avant de se nymphosier.

CONCLUSIONS

L'élevage d'*Eldana saccharina* peut être conduit avec succès sans substrat végétal, dans des conditions artificielles de laboratoire. Le pouvoir de multiplication de l'espèce n'est pas affecté par ces conditions. D'autre part, la technique préconisée est simple et peut être utilisée dans des installations précaires telles que celles d'un laboratoire de campagne.

Entre 25 °C et 30 °C, on obtient aussi une génération tous les quarante jours avec un coefficient multiplicateur de 300 à 400. Par cette technique, qui n'exige pas de nombreuses manipulations, il

est donc aisé de maintenir un élevage massal de l'espèce dans le cadre, par exemple, d'une opération de lutte biologique.

Bibliographie

- BORDAT (D.), BRENIERE (J.), COQUARD (J.), 1977. — Foreurs de graminées africaines : parasitisme et techniques d'élevage. A paraître dans *L'Agronomie Tropicale*.
- CARNEGIE (A.J.M.), 1974. — A recrudescence of the borer *Eldana saccharina* Walker. Proceeding of the South African Sugar Technologist' Association, 48, pp. 107-10.
- CARNEGIE (A.J.M.), DICK (J.), HARRIS (R.H.G.), 1974. — Insects and nematodes of South African sugarcane. Entomology Memovi, Department of Agric. Technical Services.
- CARNEGIE (A.J.M.), LESLIE (G.W.), HINDLEY (M.E.O.), 1976. — Incidence and spread of the borer *Eldana saccharina* Walker. Proceeding of the South African Sugar Technologist' Association.
- GIRLING (D.J.). — *Eldana saccharina*, a pest of sugarcane in East Africa. CIBC. Kampala-Uganda.
- GUENNELON (G.), SORIA (F.), 1973. — Mise au point au laboratoire d'un élevage permanent de la pyrale du riz, *Chilo suppressalis* Walker (Lepidoptera, Pyralidae) sur milieu artificiel. *Ann. Zool. Ecol. Anim.*, 5 (4), pp. 547-58.
- INGRAM (W.E.), 1958. — The lepidopterous stalk borers associated with gramineae in Uganda. *B.E.R.*, n° 49, pp. 367-83.
- JERATH (M.L.), 1968. — Seasonal abundance and distribution of sugarcane borers in Nigeria. *Journal of Econ. Ent.*, 61, 3, pp. 593-6.
- POITOUT (S.), BUES (R.), 1970. — Elevage de plusieurs espèces de lépidoptères Noctuidae sur milieu artificiel riche et sur milieu simplifié. *Ann. Zool. Ecol. Anim.*, 2 (1), pp. 79-91.
- WAIYAKI (J.N.), 1972. — The ecology of *Eldana saccharina* Walker, and associated loss in cane yields at Arusha, Chine, Moshi, Tanzania. *Trop. Pest. Res. Inst.*, Arusha, Tanzania.
- WAIYAKI (J.N.), 1972. — Laboratory observations on the biology of *Eldana saccharina*, a pest of sugar cane in the Northern region of Tanzania. *ISSCT*, XV, pp. 439-43.
- WALKER. — The relation between infestation of sugarcane by a stem borer, *Eldana saccharina* and yield of sugar in Tanzania. *Trop. Pest. Res. Unit.*, Porton Down, Salisbury Wilts, U.K.

MÉTÉOROLOGIE, TOPOGRAPHIE, BOUSSOLES, JUMELLES

Etablissements CERF

20, QUAI DE LA MÉGISSERIE, PARIS-1^{ER}

CATALOGUE SUR DEMANDE

TÉLÉPHONE : 233-54-42

Une détermination génétique, de caractère oligogénique, des symptômes du MDMV sur le sorgho est connue. TEAKLE et al. (1970), ont inoculé une souche australienne de MDMV à une collection de variétés de sorgho manifestant une infection systématique, soit sous l'aspect d'une mosaïque (caractère « mosaïque »), soit de taches brun-rouge suivies de nécrose des feuilles et des plants (caractère « nécrose systémique ») à des températures variant entre 20° et 35°. Ils ont montré que le caractère « nécrose systémique » se transmettait dans la

descendance par hybridation inter-variétale, qu'il était monofactoriel et dominant. Les « nécroses systémiques » correspondent donc, d'après TEAKLE et al. (1970), aux combinaisons « NN » ou « Nn », et le caractère « mosaïque » aux allèles récessifs « nn ».

II. SPECIFICITE DES SOUCHES DE SCMV ET DE MDMV

Les souches de SCMV et de MDMV ont été décrites sur des critères autres que les notions de virulence et

d'agressivité telles que les définit VAN DER PLANCK (1968). De plus, très peu de renseignements sont donnés sur l'influence de l'environnement, qui peut jouer à la fois sur la virulence et l'agressivité.

Les souches SCMV-A, B, D et E d'une part, H et I d'autre part, et MDMV-A et B n'ont pas été séparées d'après les mêmes critères. Sur canne à sucre, les souches SCMV-A, B, D et E sont identifiées sur les mêmes hôtes d'après les symptômes (SUMMERS, BRANDES et RANDS, 1948).

Tableau XXVIII

INOCULATION A DOUZE CLONES DE SACCHARUM SPONTANEUM ET L'HYBRIDE KASSOER DES SOUCHES SCMV-H ET SCMV-I d'après les résultats d'ABBOTT et TIPPETT (1968)

Variétés de <i>Saccharum spontaneum</i>	SOUCHE H			SOUCHE I		
	plants inoculés	% plants mosaïqués	Limite de %	plants inoculés	% plants mosaïqués	Limite de %
Kassoer	17	94	78-100	15	94	78-100
Burma	18	78	51-91	14	57	27-79
SES 317	14	64	38-88	11	82	44-97
Tainan	14	36	16-68	15	53	27-79
US. 61. 33. 3	20	30	12-54	17	0	0-22
Coimbatore	19	26	12-54	21	86	83-100
US. 61. 1. 1	15	20	3-38	17	47	21-73
SH 249	10	10	0-45	11	55	12-62
SH 196	12	8	0-45	15	13	2-40
US. 56. 1. 4	13	8	0-45	11	9	0-45

Tableau XXIX

SENSIBILITE DE DIFFERENTS HOTES AUX SOUCHES DE SCMV, MDMV ET SORGHUM RED STRIPE VIRUS

	SCMV A, B, D, E	SCMV H, I	SCMV FS	MDMV-A	MDMV-B	Sorghum Red Stripe
<i>Saccharum officinarum</i> « Otaïiti »	+ (1)	+ (1)	+ (5)	— (7)	— (7)	
<i>Saccharum barberi</i>	+ (1)		— (5)			
<i>Saccharum robustum</i>	+ (1)	+ (1)	+ (5)			
<i>Saccharum sinense</i>	— (1)	+ (1)	+ (5)	+ (4)		
<i>Saccharum spontaneum</i> « Coimbatore »	— (1)	+ (1)	— (5)			
Sorgho d'Alep	— (8)	— (8)		+ (8)	— (8)	
<i>Arundo donax</i>						+ (6)
Sorgho « Tx 412 »	+ (8)	+ (8)		+ (8)	+ (8)	

D'après : 1 : ABBOTT, 1961 ;
2 : ABBOTT, 1964 ;
3 : GILLASPIE, 1967 ;
4 : GILLASPIE, 1974 ;

5 : LIU et LI, 1953 ;
6 : LOVISOLO, 1957 ;
7 : SHEPHERD, 1965 ;
8 : SNAZELLE, 1971.

+ : plante sensible montrant une mosaïque.
— : pas de symptômes, plante immune ou très résistante.

Elles sont toutes virulentes sur ces hôtes, mais montrent des variations dans l'agressivité, ce qui n'exclut pas des variations de virulence qui n'auraient pas été mises en évidence. Par contre, la sélection de variétés résistantes éliminant systématiquement toute canne manifestant un symptôme de mosaïque, amène à la résistance de type vertical. En 1961, une nouvelle souche virale a été observée, car elle

était virulente sur CP 44-101, canne jusque-là résistante à la mosaïque (ABBOTT, 1961). Cette souche se trouve être virulente sur 32 clones de *Saccharum spontaneum* résistants aux souches SCMV-A, B, D et E, ainsi que sur Kassoer, hybride très utilisé en sélection (*S. officinarum*, Black Cheribon × *S. spontaneum*). Cette souche a été appelée SCMV-H. Une nouvelle souche, SCMV-I, est plus agressive que

la souche H sur les mêmes variétés de canne à sucre (TIPPETT et ABBOTT, 1968), ce qui n'exclut pas une variation de virulence ; si l'on classe les variétés selon leur degré d'attaque (méthode de VAN DER PLANCK, 1968), on ne trouve pas le même ordre de classement pour les deux souches (tableau XXVIII). Outre le phénomène de résistance horizontale, il doit intervenir un phénomène de résistance verticale.

Mais aucune des variétés de canne à sucre utilisées ne peut être différenciée au sens de VAN DER PLANCK (1968), tant que l'on ne connaît pas la nature de la résistance.

D'après les résultats de LIU et LI (1953), les souches de Taiwan peuvent être différenciées selon les deux critères : FS par la virulence sur l'hôte *Saccharum sinense* et les cannes hybrides résultant de croisements avec *S. sinense*, SS et YS par l'agressivité, ce qui n'exclut pas non plus la possibilité de les séparer en fonction de

leur virulence. Les souches SS et YS sont proches de la souche SCMV-A (ABBOTT et STOKES, 1966).

Des observations décrites dans la bibliographie sur les géniteurs de canne à sucre et sur les hôtes sauvages permettent de dresser un tableau général de sensibilité aux différentes souches de SCMV, de MDMV et du *Sorghum Red Stripe Virus* (tableau XXIX).

Le SCMV et le MDMV ont un point commun : la sensibilité de la variété de sorgho Tx 412 à toutes les souches

qui lui ont été inoculées. Il n'est pas possible de savoir si la résistance des autres hôtes est de type vertical ou horizontal.

La plupart des souches de SCMV et de MDMV ont été inoculées à une collection de variétés de sorgho par SNAZELLE et al. (1971). Ces variétés manifestent ou non des symptômes de mosaïque lorsqu'elles sont inoculées par les différentes souches de SCMV et de MDMV (tableau XXX). La souche SCMV-H entraîne la mort de certaines variétés.

Tableau XXX

REACTIONS DE DIVERSES VARIETES DE SORGHO A L'INOCULATION
PAR LES SOUCHES AMERICAINES DE SCMV ET DE MDMV
d'après SNAZELLE et al. (1971)

	SCMV					MDMV	
	A	B	D	E	H	A	B
Redlan	0/14	2/12	0/11	0/15	14/14 (L)	12/12	0/14
Caprock	9/14	9/10	8/11	15/16	9/9 (L)	7/10	0/14
Tx 414	0/13	0/14	0/14	7/15	16/16	14/14	0/14
Martin	0/16	0/15	0/15	1/13	17/17 (L)	14/14	0/18
New Mexico 31	0/15	14/14	3/15	9/15	14/15 (L)	9/12	0/16
Tx 412	15/15	14/14	14/14	10/13	16/16	14/14	15/15
Combine Kafir 60 (BTx 3197)	0/12	5/15	3/15	3/12	13/13 (L)	16/16	0/14
Sumac	0/14	14/14	16/16	15/15	15/15	14/14	0/13
Redbine Selection	0/15	10/14	9/14	4/13	14/14 (L)	0/12	10/13

(L) : les plants meurent au bout d'un certain temps.

III. SYMPTOMATOLOGIE DE SCMV-AMPEFY

La souche SCMV-Ampefy a été inoculée à une gamme d'hôtes choisis, soit pour leur importance agronomique à Madagascar, soit parce qu'ils donnent des symptômes caractéristiques avec les diverses souches de SCMV et de MDMV, comme les variétés de sorgho utilisées par SNAZELLE et al. (1971) et dont les semences nous ont été fournies par le Dr TOLER, Texas A & M University, USA.

Les inoculations ont été faites avec un extrait brut de plantes, dilué généralement au 1/10, dans du tampon phosphate 0,05 M pH 7,2, sauf indications contraires. Les observations ont été réalisées, soit à Tananarive, en serre à température ambiante variant entre 12° et 35°, soit à la Station de Physiopathologie Végétale de l'INRA à Dijon, en serre, dans des conditions de température analogues à celles de Tananarive, ou en salles à température contrôlée.

Canne à sucre, *Saccharum officinarum*, variété Otahiti-Louisier.

Les premiers symptômes s'observent sur la première feuille qui se déroule après l'inoculation (fig. 35) vers la base du limbe, zone de croissance des feuilles de Monocotylédones. Ils apparaissent au bout de un à deux mois, selon la saison, après l'inoculation et se caractérisent par une mosaïque de petites taches allongées, de forme irrégulière, vert sombre sur fond clair (fig. 26). Les limbes de feuilles qui se déroulent ultérieurement apparaissent entièrement mosaïqués.

Sur les feuilles d'une canne à sucre inoculée depuis plusieurs mois, les symptômes sont d'autant plus nets que les feuilles sont plus jeunes, c'est-à-dire plus proches du fuseau central. A partir de la dixième feuille, les symptômes ne sont plus caractéristiques, pouvant être confondus avec des piqûres de *Thrips*, minuscules insectes, très abondants en période fraîche et humide, ou avec des carences en azote. Puis les feuilles sont envahies



Figure 26.

Symptômes de SCMV-Ampefy sur une jeune feuille de canne à sucre, variété Otahiti-Louisier.

de parasites cryptogamiques secondaires qui en précipitent la sénescence, tels que *Leptosphaeria sacchari* et *Phyllosticta sacchari*, avant qu'elles se détachent naturellement.

Si l'on coupe longitudinalement les tiges, on observe des poches de gomme irrégulièrement réparties (fig. 27).

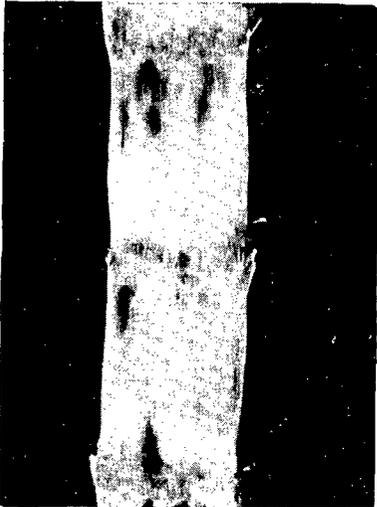


Figure 27.

Poches de gomme dans une tige de canne à sucre, variété Otahiti-Louisier, infectée par SCMV-Ampefy.

Des extraits de tige de canne à sucre ne donnent pas de précipité sérologique, ou des précipités très modérés. La teneur en virus y est donc très faible ou nulle. Cela peut expliquer le fait que les différents yeux de la tige de canne à sucre ne transmettent pas tous la maladie lors de la multiplication végétative de la plante (SUMMERS, BRANDES et RANDS, 1948). Les poches de gomme observées dans les tiges ne sont pas caractéristiques de la maladie. On en observe avec d'autres affections graves de la canne à sucre, d'origine parasitaire ou physiologique.

Après la coupe annuelle des tiges, les feuilles des repousses sont intensément chlorosées, avec des macules vertes sur fond jaunâtre. Toutefois, certaines repousses présentent des feuilles vertes et donnent des tiges d'aspect sain. Après deux ou trois repousses, les symptômes sur les feuilles nouvellement formées de certaines souches tendent à s'estomper. Les limbes présentent alors des plages allongées, étroites, de moins en moins nombreuses, puis des feuilles d'aspect sain apparaissent. Au fur et à mesure du renouvellement des feuilles, les symptômes disparaissent. Les extraits de ces feuilles ne donnent plus de précipité sérologique. Les souches de canne à sucre sont alors devenues

indemnes de virus, mais elles peuvent être réinfectées. Ce phénomène est bien connu en grande culture (ABBOTT, 1961).

Maïs, variétés Dixie 22, INRA 258, ou population Planta.

Après l'inoculation de jeunes plants âgés de trois semaines, les symptômes apparaissent à la base de la pre-



Figure 28.

Symptômes de SCMV-Ampefy sur jeunes feuilles de maïs, variété Dixie 22.



Figure 29.

Symptômes de SCMV-Ampefy sur feuilles âgées de maïs, variété Dixie 22.

mière nouvelle feuille, au bout de cinq à quinze jours selon la saison. Les symptômes foliaires ressemblent beaucoup à ceux observés sur la canne à sucre (fig. 28). Des plants plus âgés peuvent manifester des symptômes tant qu'ils forment de nouvelles feuilles. Ces symptômes peuvent encore être observés sur les feuilles après formation de la panicule terminale. Mais, en vieillissant, les feuilles montrent des taches vert sombre et vert clair qui ne sont pas caractéristiques de SCMV-Ampefy, mais peuvent être également dues à une autre virose, le *streak* (fig. 29). Les plants virosés atteignent la même hauteur que les plants sains. Il n'y a pas de nanisme.

Sorgho.

Trois types de symptômes ont été observés selon la variété :

— une **mosaïque** analogue à celle observée sur le maïs ou la canne à sucre se développe sur les feuilles des variétés Tx 412 et TM 11 (fig. 30 et 31).



Figure 30.

Premiers symptômes observés sur la plus jeune feuille de sorgho, variété Tx 412, après inoculation par SCMV-Ampefy.

Cette mosaïque apparaît de cinq à huit jours après l'inoculation, sur les feuilles nouvellement déroulées. Les talles formées après l'apparition des symptômes manifestent également une mosaïque très nette. Avec la variété

de sorgho Tx 414, 3 plants sur 300 ont montré, sur la première feuille en train de se dérouler après l'inoculation, une légère mosaïque limitée à la base des feuilles. Au bout de huit jours, ces symptômes ont disparu. Toutes les autres plantes ne montrent aucun symptôme. De même pour la variété Sumac, 4 plantes sur 400 ont montré sur la première feuille déroulée après l'inoculation quelques stries chlorotiques très fines qui ont disparu après une dizaine de jours. Un extrait des feuilles présentant les symptômes permet de transmettre le virus à du sorgho Tx 412, mais non à du sorgho Sumac. Des extraits de feuilles qui ne présentent pas de symptômes, ou ayant perdu toute trace de symptôme, n'ont pas de pouvoir infectieux sur du sorgho Sumac comme sur du sorgho Tx 412. Les variétés Sumac et Tx 414 sont résistantes à l'infection. S'il y a, mais très rarement, un début de multiplication virale, on observe des symptômes de type « mosaïque ».



Figure 31.

Sympômes de SCM-V-Ampefy sur feuilles de sorgho, variété Tx 412.

— des **nécroses systémiques** sur les variétés Caprock et AKS 614. Les premiers symptômes se manifestent de huit à quinze jours après l'inoculation sur les feuilles inoculées et sur les jeunes feuilles qui se déroulent après l'inoculation. A Tananarive, ces symptômes se produisent lorsque la température est comprise entre 15° et 30°. Les feuilles inoculées présentent des stries brun-rouge, les feuilles nouvelles une ou plusieurs bandes étroites, souvent comprises entre deux nervures, légèrement chlorosées. Ces bandes deviennent rapidement de couleur brun-

rouge, puis se dessèchent en donnant une succession de taches grises entourées d'une marge brun-rouge, ou de longues stries brunes à marge rouge (fig. 32). Au bout de trois semaines à un mois, le fuseau des jeunes feuilles se nécrose entièrement, le plant se dessèche des feuilles les plus jeunes vers les feuilles les plus âgées, puis il meurt.



Figure 32.

Sympômes en stries brun-rouge sur feuilles de sorgho, variété Caprock, infectés par SCM-V-Ampefy.

— sur la **variété Redlan**, les feuilles inoculées avec un extrait virosé dilué au 1/10 dans un tampon phosphate 0,005 M, pH 7, présentent un aspect brûlé au bout de quelques jours. Avec des extraits dilués dans le même tampon au 1/20 ou 1/40, on peut observer



Figure 33.

Nécroses locales sur les feuilles de sorgho, variété Redlan, inoculées par SCM-V-Ampefy.

des taches brun-rouge irrégulièrement réparties (fig. 33). Les feuilles apparues après l'inoculation ne sont pas protégées contre une nouvelle infection, mais le nombre de nécroses paraît plus faible. Si l'on inocule des feuilles avec des dilutions d'une même suspension virale, allant de 1/20 à 1/80, on observe une diminution du nombre des taches. Mais les chiffres obtenus sont très variables pour un même traitement ; ceci gêne leur interprétation dans une optique de dosage.

Autres graminées.

La souche SCM-V-Ampefy a été transmise au blé, variété Florence Aurore, et à l'herbe du Guatemala, *Tripsacum laxum*, un des fourrages les plus répandus dans toute l'île. Ces plantes ont manifesté les mêmes symptômes que la canne à sucre.

Par contre, les espèces suivantes n'ont pas donné de symptômes après l'inoculation : *Arundo donax*, *Bracharia mutica*, *Eleusine indica*, *Pennisetum purpureum*, riz (variétés BG 79, Bluebonnet 50, Makalioka 1322, Rojofotsy 1285) et *Sorghum halepense*. Par rétro-inoculation, aucun symptôme n'a été observé.

Dicotylédones.

Aucune des Dicotylédones suivantes n'a manifesté de symptômes après l'inoculation : *Chenopodium amaranticolor*, *C. ambrosioides*, *C. murale*, *C. quinoa*, *Datura stramonium*, *Nicotiana tabacum* variété *Misionero*, *N. glutinosa*, *Petunia hybrida*, *Vigna sinensis*.

IV. INFLUENCE DE LA TEMPERATURE SUR LES SYMPTOMES MONTRES PAR DIFFERENTES VARIETES DE SORGHO

Dans les conditions naturelles de température observées à Tananarive (variations de 15° à 32°), le sorgho manifeste trois types de symptômes décrits précédemment :

- la variété Tx 412 donne une mosaïque ;
- les variétés AKS 614 et Caprock manifestent des nécroses systémiques ;
- la variété Redlan montre des taches rouges sur les feuilles inoculées.

Par ailleurs, certaines variétés de sorgho, qui montrent une mosaïque due au MDMV, manifestent des nécroses généralisées suivies de la mort des plants à la suite d'un refroidissement nocturne (TOLER, 1968). Il est donc intéressant d'observer les symptômes dus à SCM-V-Ampefy sur les variétés de sorgho précédemment citées, à température contrôlée.

Conditions expérimentales.

Les expériences ont été conduites dans les salles climatisées de la Station de Physiopathologie Végétale de l'INRA-Dijon, aux températures de 15°, 20°, 25° et 30°, avec un éclairage journalier de douze heures à 75.000 ergs/cm²s⁻¹.

Pour chaque variété étudiée, des lots de 20 plants de sorgho sont répartis dans chacune des salles à température contrôlée. La moitié d'entre eux sont inoculés par une suspension virale à 0,3 mg/ml dans le tampon phosphate 0,005 M, pH 7,2. Huit et quinze jours après l'inoculation, deux lots, l'un de plants sains, l'autre de plants inoculés, sont transférés dans chacune des salles à température autre que la température d'origine. Les symptômes des sorghos maintenus dans la salle d'origine sont

comparés à ceux des sorghos transférés dans les nouvelles salles, à ceux des plants provenant d'une autre salle, ainsi qu'aux pots témoins sains, transférés ou non à d'autres températures.

Résultats.

SORGHO Tx 412

Le temps d'apparition des symptômes est fonction de la température. La totalité des jeunes plants inoculés présentent une mosaïque au bout de trois jours à 30°, douze jours à 25° et vingt-sept jours à 20°. A 15°, il n'y a pas de symptômes après deux mois, et les plants ne se développent pas.

A 30°, les symptômes tendent à disparaître après une quinzaine de jours. Si l'on transfère les plants quinze jours après l'inoculation de 30° à 20°, les symptômes réapparaissent sur les

jeunes feuilles. A 20°, les symptômes sont plus nets qu'à 25° et à 30°, et ils paraissent de plus en plus nets sur les talles. Les plants transférés de 30°, 25° et 20° à 15° conservent les mêmes symptômes.

Les symptômes sont donc plus ou moins nets selon la température, mais ils sont analogues. La variation d'intensité pourrait être liée à l'influence de la température sur le cycle viral. Cette étude sera abordée dans le chapitre suivant.

SORGHOS CAPROCK ET AKS 614

Le temps d'apparition des symptômes est également fonction de la température : deux jours à 30°, dix jours à 25°. Aucun symptôme n'apparaît ni à 20°, ni à 15° pendant toute la durée de l'expérience.

Tableau XXXI

NECROSES ET MORT DES PLANTS DE SORGHO, VARIETE CAPROCK, INOCULES PAR SCMV-AMPEFY D'APRES LA DUREE D'EXPOSITION DES PLANTES A DIVERSES TEMPERATURES APRES TRANSFERT A 20°

Température d'origine	Temps d'apparition des symptômes de mosaïque après inoculation	Durée d'exposition à la température d'origine		Mort des plants
		après inoculation	après apparition des symptômes	
30°	2 jours	7 jours	5 jours	Moins de 1 jour
30°	2 jours	15 jours	13 jours	3 jours
25°	10 jours	15 jours	5 jours	Moins de 1 jour

A 30°, les deux variétés montrent une mosaïque semblable à celle observée sur le sorgho Tx412, ou sur le maïs. Après huit jours, les symptômes ont tendance à disparaître comme sur Tx 412.

A 25°, la variété Caprock manifeste également une mosaïque, la variété AKS 614 donne une mosaïque avec quelques taches brun-rouge.

Si l'on transfère les plants de ces deux variétés atteintes de mosaïque des salles à 25° et à 30° dans les salles à 20° et à 15°, les tissus mosaïqués se couvrent de taches brun-rouge, puis se nécrosent. Les plants meurent plus ou moins rapidement selon les conditions de transfert (tableau XXXI). Si l'on transfère des plants qui se trouvent dans des salles à 25° et 30°, cinq jours après l'apparition des symptômes, dans des salles à 20°, ce qui revient à leur faire subir un brusque refroidissement, les plants meurent en moins de vingt-quatre heures, les feuilles déroulées et mosaïquées étant entièrement nécrosées, le fuseau central de couleur encore verte, mais desséché.

Si l'on prend des plants qui sont dans une salle à 30°, douze jours après l'apparition des symptômes, et qu'on



Figure 34.

Symptômes de SCMV-Ampemy sur sorgho, variété Caprock, après transfert thermique. Les plus jeunes feuilles sont desséchées, la troisième feuille est encore turgescente.

les met dans une salle à 20°, les plants meurent en trois jours : le fuseau central des feuilles se nécrose en premier, les feuilles plus âgées étant encore turgescentes (fig. 34).

Les plants placés dans des salles à 15° et 20°, qui sont ensuite amenés dans la salle à 30°, ne manifestent pas de symptôme jusqu'en fin d'expérience (deux mois), et ne donnent pas de précipité sérologique. Le virus ne se multiplie pas dans les plants à 15° et 20°, alors qu'il y a multiplication virale dans le maïs, variété INRA 258, à ces températures.

SORGHO REDLAN

A 25° et à 30°, les feuilles inoculées se nécrosent et se dessèchent en moins de quarante-huit heures, les autres feuilles ne montrent aucun symptôme pendant toute la durée de l'expérience. Si on inocule, avec une suspension virale à 0,03 mg/ml, soit le 1/10 de la concentration précédente, les feuilles montrent des taches allongées brun-rouge, irrégulièrement réparties sur le limbe. Les autres feuilles ne montrent aucun symptôme pendant toute la durée de l'expérience. Les feuilles des plants témoins, inoculés

avec le tampon phosphate 0,05 M, pH 7,2, ne présentent pas de symptômes.

A 15° et à 20°, quelques feuilles inoculées ou non avec la même suspension, montrent de très petites taches rouges analogues à celles observées sur des feuilles témoins, inoculées ou non avec le tampon phosphate 0,05 M, pH 7,2.

Quels que soient les transferts de température effectués, aucun autre symptôme n'est observé. Le sorgho Redlan se comporte comme un hôte à nécroses locales à 25° et à 30°. Les feuilles peuvent présenter de petites ponctuations rouges à 15° et à 20°, sans rapport avec l'infection.

Discussion.

A des températures comprises entre 20° et 30°, on peut distinguer trois types de réponse à l'inoculation par SCMV-Ampefy :

— les sorghos qui montrent une mosaïque, quelle que soit la température, comme la variété Tx 412 ;

— les sorghos à nécroses locales. Certaines variétés, comme Redlan, ne montrent que des nécroses locales, aux températures de 25° et de 30° ;

— les sorghos à infection généralisée, dans lesquels la virose ne se développe qu'à une température supérieure ou égale à 25°, comme Caprock, AKS 614. Si l'on transfère des sorghos déjà virosés à une température égale ou inférieure à 20°, on observe des nécroses brun-rouge, puis le dessèchement de la plante entière. La mort du plant est d'autant plus rapide que le temps de maintien à 25° ou à 30° est plus court. Ces observations sont analogues à celles du comportement de tabacs hypersensibles infectés par le VMT lors de transfert de température. Si l'on inocule du VMT sur *Nicotiana glutinosa* à 30°, on observe une mosaïque, alors qu'à 20°, on obtient des nécroses locales (SAMUEL, 1931). Si l'on transfère ce même tabac atteint de mosaïque de 30° à 20°, les cellules dans lesquelles la multiplication virale est en cours se nécrosent. L'importance des nécroses est également fonction du temps d'exposition à 30° (MARTIN et GALLET, 1966).

Il semble donc que l'on puisse interpréter les phénomènes observés de la façon suivante : certaines variétés de sorgho (Tx 412) qui ne se nécrosent pas, permettent la multiplication virale de 20° à 30°. Dans d'autres variétés de sorgho, dont les feuilles lésées se nécrosent à des températures relativement basses (20°), le virus ne se multiplie qu'à des températures élevées (25° à 30°). Parmi ces variétés, on observe des hôtes à infection généralisée (Caprock, AKS 614) et des hôtes

à nécroses locales (Redlan, NM 31, Redbine Selection).

Le virus se multiplie dans les variétés de sorgho Caprock et AKS 614 dès que la température atteint 25°. Par retour à température inférieure, les tissus se nécrosent. On observe alors la superposition des symptômes de mosaïque et de nécroses brun-rouge. Ce syndrome est analogue à celui observé sur la variété Caprock à Tananarive, la température y oscillant entre 15° et 32° dans une même journée. On peut expliquer l'apparition des nécroses brun-rouge sur les feuilles atteintes de mosaïque lors de la baisse de température nocturne, classiquement observée au champ (TOLER, 1968 ; SIGNORET, 1970). Cette alternance de température, fréquente dans le Sud de l'Europe et en Afrique du Sud, peut expliquer les symptômes décrits sous le nom de *Sorghum Red Stripe Mosaic Virus* (DIJKSTRA et GRANCINI, 1960), qui atteint certaines variétés de sorgho dans ces régions.

V. COMPARAISON DU POUVOIR PATHOGENE DE SCMV-AMPEFY ET DES AUTRES SOUCHES DE SCMV ET DE MDMV

Inoculation de diverses souches de SCMV à un sorgho à nécroses locales.

La variété Redlan inoculée par SCMV-H et MDMV-A manifeste une mosaïque ou des nécroses systémiques, selon la température (TOLER, 1968 ; TEAKLE et al., 1970). Cette variété donne des nécroses locales avec SCMV-Ampefy à 25° et à 30°. Afin d'éliminer l'influence des facteurs

de l'environnement sur la manifestation des symptômes, la variété Redlan a été inoculée par SCMV-Ampefy, SCMV-B et SCMV-H (dons du Dr GIL-LASPIE) dans les mêmes conditions expérimentales.

On peut observer les résultats suivants :

— les feuilles inoculées par SCMV-Ampefy montrent des nécroses locales ;

— les feuilles qui se développent après l'inoculation de SCMV-B et de SCMV-H montrent une mosaïque avec quelques taches brun-rouge.

La variété Redlan est un hôte à nécroses locales de SCMV-Ampefy, alors que les autres souches, SCMV-B et SCMV-H, provoquent une infection généralisée dans les mêmes conditions d'environnement.

Comparaison des symptômes des variétés de sorgho inoculées par SCMV-Ampefy avec les résultats déjà décrits à partir d'autres souches.

Le tableau de détermination des souches de SCMV et de MDMV établi par SNAZELLE (1971) (tableau XXX) est basé sur des variétés qui donnent deux types de symptômes après inoculation de MDMV-A d'après TOLER (1968) (tableau XXXII) :

— variétés de sorgho qui montrent une mosaïque quelle que soit la température : Tx 412, Tx 414, Sumac. D'après TEAKLE (1970), le génome de ces variétés est du type « nn » ;

— variétés de sorgho qui manifestent une mosaïque et qui se nécrosent s'il y a une baisse de température (TOLER, 1968). D'après TEAKLE (1970), le génome de ces variétés est du type « Nn » ou « NN ».

Tableau XXXII

SYMPTOMES MANIFESTES PAR DIVERSES VARIETES DE SORGHO, APRES INOCULATION PAR SCMV-AMPEFY OU PAR LE MDMV (selon TOLER, 1968)

Variétés de sorgho	Symptômes dus à SCMV-Ampefy	Symptômes dus à MDMV selon Toler (1968)	Génome d'après Teakle et al (1970)
Redlan	Nécroses locales sur les feuilles inoculées	Mosaïque ou nécroses systémiques, selon la température	NN
NM 31	Nécroses locales sur les feuilles inoculées	Mosaïque ou nécroses systémiques, selon la température	ou
Combine Kafir 60	Nécroses locales sur les feuilles inoculées	Mosaïque ou nécroses systémiques, selon la température	Nn
Redbine Selection	Nécroses locales sur les feuilles inoculées	Mosaïque ou nécroses systémiques, selon la température	
Tx 412	Mosaïque	Mosaïque quelque soit la température	
Tx 414	Traces de Mosaïque qui disparaissent	Mosaïque quelque soit la température	nn
Sumac	Traces de Mosaïque qui disparaissent	Mosaïque quelque soit la température	

Si l'on inocule SCMV-Ampefy à des variétés de sorgho qui ne manifestent qu'une mosaïque après l'inoculation de MDMV-A (tableau XXXII), on observe, soit une mosaïque sur l'ensemble des plants inoculés (Tx 412), soit une mosaïque sur quelques-uns des plants inoculés (Tx 414), soit quelques stries chlorotiques sur les plus jeunes feuilles (Sumac), soit aucun symptôme. Si l'on prépare un extrait de plants à partir de feuilles de la variété présentant quelques stries chlorotiques, on obtient la transmission de la virose avec un extrait à une concentration supérieure à 1/20. A partir de feuilles sans symptômes, on n'obtient pas de transmission. Après passages successifs de plants Sumac à des plants Sumac, on n'obtient plus de symptômes et aucun pouvoir infectieux n'est mis en évidence. Le virus ne peut donc se multiplier de façon continue dans cette variété. Des variétés de sorgho de même comportement vis-à-vis de MDMV (Tx 412, Sumac), n'ont donc pas les mêmes réactions vis-à-vis de SCMV-Ampefy, l'une montrant une infection généralisée, l'autre une perte rapide d'infection. S'il y a des symptômes, on observe une mosaïque, mais pas de nécroses.

Si l'on inocule SCMV-Ampefy à des variétés de sorgho qui se nécrosent quand elles sont atteintes d'une infection généralisée par le MDMV s'il y a une baisse de température, on peut également observer des nécroses selon deux types de réaction :

— certaines variétés ne se nécrosent que si le virus a pu se multiplier : Caprock, AKS 614. Le comportement paraît analogue à celui décrit pour des infections par le MDMV ;

— d'autres variétés (Redlan, NM 31), présentent des nécroses locales sur les seules feuilles inoculées par SCMV-Ampefy, alors que toutes les feuilles peuvent se nécroser par suite de l'infection généralisée de MDMV.

Discussion.

Quelques variétés de sorgho (Redlan, NM 31, Redbine Selection), donnent des nécroses locales avec SCMV-Ampefy, alors qu'elles manifestent une infection généralisée après inoculation par de nombreuses souches de SCMV et le MDMV-A. Ces hôtes à nécroses locales répondent à l'infection par une réaction précise et observable, alors que l'absence de symptômes et de rétro-infection peut aussi bien être due à une esquivé, à des conditions d'environnement défavorables à l'infection qu'à la résistance verticale ou horizontale de la plante. Les hôtes à nécroses locales peuvent permettre de caractériser la souche Ampefy par rapport aux souches qui donnent des infections généralisées, bien qu'ils ne

puissent encore être considérés comme des hôtes différentiels au sens de VAN DER PLANCK (1968), tant que le déterminisme génétique de la réponse de ces sorghos à l'infection n'est pas connu.

La manifestation des symptômes de l'hypersensibilité du tabac, *Nicotiana glutinosa*, à l'infection par la souche commune du VMT est le résultat de deux phénomènes différents : la localisation virale et la nécrose (LOEWENSTEIN, 1972). Ces deux phénomènes paraissent bien séparés dans les variétés nécrotiques du sorgho infectées par SCMV-Ampefy : certaines variétés donnent une infection généralisée, avec

apparition de nécroses par transfert de température, d'autres présentent des nécroses locales qui peuvent traduire la localisation du virus.

VI. CARACTERISATION DE LA SOUCHE SCMV-AMPEFY

La souche SCMV-Ampefy peut être caractérisée par les symptômes montrés après inoculation par les variétés de sorgho suivantes :

— le sorgho Tx 412 manifeste une infection généralisée, comme après l'inoculation de toutes les autres souches connues de SCMV et de MDMV-A (tableau XXXIII).

Tableau XXXIII

DIFFERENCIATION DES SOUCHES DE SCMV ET DE MDMV-A, HOTES DU SORGHO Tx 412, SUR DES HOTES HYPERSENSIBLES
Les réactions des souches autres que SCMV-Ampefy sont décrites par SNAZELLE et al. (1971)

Sorgho	SCMV							MDMV-A
	Ampefy	A	B	D	E	H	I	
Tx 412	+	+	+	+	+	+	+	+
NM 31	— (NL)	—	+	+	+	+	+	+
Redlan	— (NL)	—	+	—	—	+	+	+

— le sorgho Redlan donne des nécroses locales avec SCMV-Ampefy, mais manifeste une infection généralisée avec SCMV-B, SCMV-H et MDMV-A (tableau XXXIII) ;

— le sorgho NM 31 donne des nécroses locales avec SCMV-Ampefy, alors que SNAZELLE et al. (1971) décrivent une infection généralisée à la suite de l'inoculation des souches SCMV-D et SCMV-E, comme avec les souches SCMV-B et MDMV-A.

Les hôtes de SCMV-Ampefy sont *Saccharum officinarum* (variété Otahiti-Louisier), de très nombreuses variétés de maïs, de blé (variété Florence Aurore), l'herbe du Guatemala (*Tripsacum laxum*) qui, tous, montrent une infection généralisée.

Parmi les souches déjà décrites de SCMV, la souche SCMV-A est la plus proche de SCMV-Ampefy (tableau XXXIII). Toutefois, la souche SCMV-A infecte la variété de riz BG 79 (ANZALONE et LAMEY, 1968), qui ne montre aucun symptôme lorsqu'elle est inoculée par SCMV-Ampefy. La rétro-inoculation ne permet pas de mettre en évidence de pouvoir infectieux. Il n'est pas encore possible de conclure sur l'absence d'infectivité de SCMV-Ampefy sur cette variété de riz, car elle peut être due à de nombreuses causes.

CHAPITRE IV

INFLUENCE DE LA TEMPERATURE SUR SCMV-AMPEFY

L'importance du rôle de la température sur la multiplication des virus est bien connue par de nombreux travaux. En particulier, la multiplication du VMT a été systématiquement étudiée à diverses températures (LEBEURIER, 1966 ; HIRTH et LEBEURIER, 1966). A une température déterminée, la multiplication du VMT est une fonction exponentielle du temps. Trois zones de températures peuvent être distinguées :

- une zone de température optimale, entre 20° et 32° ;
- une zone infra-optimale, en dessous de 20° ;
- une zone supra-optimale, au-dessus de 32°.

Une souche thermophile VMT_{TC} a pu être isolée. Elle se développe à 36°, mais non à 28°.

Des résultats analogues ont été obtenus récemment avec le virus de la mosaïque de la luzerne (FRANCK et HIRTH, 1972). La souche sauvage se multiplie à 22°, une souche thermophile à 34°.

Le temps d'apparition des symptômes de MDMV sur maïs, leur importance, la teneur en virus déterminée par la dilution maximum d'extraits de plantes infectées, sont fonction de la température. Quand la température augmente de 15,5° à 26,5°, les symptômes se manifestent plus rapidement et plus nettement. A une température déterminée, le pouvoir infectieux d'extraits de plantes virosées passe par un maximum, puis diminue. Ce maximum est d'autant plus rapidement atteint que la température est plus élevée.

Le virus de la mosaïque de la canne à sucre est un virus de cultures tropicales. Il est intéressant de déterminer les températures favorables ou défavorables à sa multiplication dans une plante.

I. TEMPERATURE D'INACTIVATION DE SCMV-AMPEFY *IN VITRO*

Les potyvirus sont sensibles à des températures relativement basses, de 50° à 60° (HARRISON et al., 1971). Les différentes souches de SCMV sont inactivées en dix minutes à des températures de 50° à 55° (ABBOTT, 1953). Toutefois, aux Indes, une souche de SCMV n'est inactivée en dix minutes qu'à une température de 65° (CHONA, 1944).

Tableau XXXIV

INOCULATION D'EXTRAITS VIROSES dilués au 1/2, et traités pendant 10 mn à diverses températures

Température 10 minutes	Nombre de plants virosés		Limite de confiance d'un pourcentage
	Nombre de plants inoculés		
Non chauffé	27/27		88-100
45°	9/12		52-96
47°	9/12		52-96
49°	9/12		52-96
51°	7/12		32-84
53°	5/23		9-49
55°	1/11		0-45
57°	0/12		0-25
59°	0/12		0-25

A 4°, le virus purifié, en suspension dans du tampon borate 0,05 M, pH 8,6, ou du tampon phosphate 0,01 M, pH 7,2 est toujours infectieux après deux ans de conservation. Le virus, conservé en tampon borate, présente un DEP de 1/20 au lieu de 1/2.500 pour une suspension virale fraîchement préparée.

Le pouvoir infectieux des extraits prélevés dans une suspension virale conservée à 29° est donné au tableau XXXV. Il diminue rapidement; il est déjà réduit de moitié au bout de deux heures, au 1/10 après seize heures, et

Méthodes.

La température d'inactivation du virus, ou TIP (*Thermal Inactivation Point*), est déterminée selon une technique classique (SOMMEREYNS, 1967) à partir d'un extrait de feuilles non purifié. Des tubes contenant l'extrait sont plongés dans des bains thermostatés à diverses températures pendant dix minutes. Après refroidissement rapide au réfrigérateur, les extraits sont inoculés à des plants de maïs.

L'action de la température à 29° a été étudiée sur du virus purifié. Un tube contenant du virus purifié dans du tampon phosphate 0,01 M, pH 7,2, à 4 mg/ml, est plongé dans un bain thermostaté à 29°. Une goutte de chloroforme évite l'infection par des bactéries. Au bout de deux heures, seize heures et quarante-huit heures, on prélève une certaine quantité de virus dont on fait une gamme de dilutions dans le même tampon phosphate pour des inoculations. Le pouvoir infectieux est évalué, selon la méthode de BRAKKE (1970).

Résultats.

Les résultats de l'inoculation d'extraits traités à diverses températures sont donnés au tableau XXXIV. A partir de 56°, les extraits traités ne sont plus infectieux.

il est nul au bout de quarante-huit heures.

Tableau XXXV

PERTE DE POUVOIR INFECTIEUX DU SCMV-AMPEFY EN FONCTION DU TEMPS A 29° exprimée en point de dilution limite

Durée	DEP
0 h	1/2.560
2 h	1/ 640
16 h	1/ 20
48 h	Pouvoir infectieux nul

Conclusions.

La température d'inactivation de la souche SCMV-Ampefy est de 56°, ce qui concorde avec celles des autres souches de SCMV déjà décrites (SMITH, 1957), et celle des potyvirus. Malgré les résultats de ABBOTT (1953), les températures d'inactivation des souches de SCMV et de MDMV paraissent trop proches en fonction des souches, et trop variables en fonction des conditions d'expérimentation, pour permettre la détermination des diverses souches de SCMV et de MDMV par leur température d'inactivation (TOSIC et FORD, 1974). Toutefois, si la souche SCMV-A est inactivée à 55°-56° comme la souche SCMV-Ampefy, les autres souches de SCMV et de MDMV sont inactivées à des températures légèrement supérieures, comprises entre 56° et 58° (TOSIC et FORD, 1974).

Une préparation virale purifiée se conserve plus ou moins bien selon la température. A 29°, SCMV-Ampefy perd son pouvoir infectieux en quarante-huit heures comme les autres souches de SCMV et de MDMV. Par contre, à 4°-5°, le pouvoir infectieux se conserve pendant plus de deux ans, contrairement à ce qui a été observé pour le MDMV (SEHGAL, 1968).

II. ACTION DE LA TEMPERATURE SUR LE TEMPS D'APPARITION DES SYMPTOMES DE SCMV-AMPEFY

Les sélectionneurs de variétés résistantes de canne à sucre ont, depuis longtemps, observé de grandes variations dans le temps qui s'écoule entre l'inoculation du virus et l'apparition des symptômes. Ces derniers peuvent apparaître de sept à trente jours, parfois plus, après l'inoculation (ABBOTT, 1961). Ces variations peuvent dépendre de facteurs divers : résistance de l'hôte, agressivité de la souche virale, facteurs de l'environnement et, en particulier, la température.

L'action de la température sous conditions contrôlées a été étudiée sur maïs, la canne à sucre posant de par sa taille des problèmes matériels.

Méthodes.

L'influence de la température sur le temps d'apparition des symptômes a été étudiée sur des plants de maïs, variété Dixie 22, inoculés par SCMV-Ampefy. 300 plants de maïs, âgés de huit jours, provenant tous d'une chambre à 25°, ont été inoculés avec une suspension virale purifiée dans du tampon phosphate 0,05 M, pH 7,2, à raison de 0,3 mg/ml. Immédiatement après l'inoculation, ils ont été répartis dans des chambres à température constante respectivement de 32°, 30°, 25°, 20°, 16°-17° et 15°.

avec un éclairage de douze heures par jour de 18.000 lux. 20 plants témoins sains ont été conservés par salle. Les observations sur les symptômes ont été notées de jour en jour, et ont duré au moins deux mois. Pour une température donnée, les symptô-

mes apparaissent plus ou moins lentement selon les plants. Les résultats sont exprimés d'après le temps nécessaire à l'apparition des symptômes sur la moitié des plants inoculés (indice de BEST, 1936), sur l'ensemble des plants inoculés.

Résultats.

Le nombre de plants atteints de mosaïque après inoculation par SCMV-Ampefy en fonction du temps et de la température est donné au tableau XXXVI.

Tableau XXXVI
TEMPS D'APPARITION DES SYMPTOMES SUR LA FEUILLE NEOFORMEE DE MAIS, VARIETE DIXIE 22, EN FONCTION DE LA TEMPERATURE
Les plantes sont inoculées après saupoudrage par du carborundum (400 mesh)

Température	Nombre de jours après l'inoculation										Indice 50 % en jours
	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	
32°	26 52	52 52	—	—	—	—	—	—	—	—	2
30°	0 59	31 59	57 59	58 59	59 59	—	—	—	—	—	3
25°		0 70	47 70		66 70	70 70					4
20°				0 72	5 72	33 72	43 72	59 72	69 72	69 72	8
16°-17°					0 44	18 44	33 44	39 44	39 44	39 44	8
15°								0 42	9 42	37 42	14

- Le numérateur est le nombre de plants malades.
- Le dénominateur est le nombre de plants inoculés.
- Indice 50 % (d'après Best) : temps nécessaire à l'apparition des symptômes sur la moitié des plants inoculés.

A 32°, tous les plants manifestent des symptômes en trois jours. L'indice de BEST est de deux jours. Les symptômes sont nets durant les premiers jours qui suivent leur apparition, puis, rapidement, ils s'estompent. Au bout de huit jours, il ne reste plus que des symptômes légers sur les deux plus jeunes feuilles de quelques plants. Si l'on transfère les plants de 32° à 20°, quinze jours après l'apparition des symptômes, ces derniers réapparaissent plus nettement.

A 30°, tous les plants manifestent une mosaïque le quatrième jour, l'indice de BEST étant de trois jours. La durée de la période d'apparition des symptômes est de vingt-quatre heures, comme à 32°. Les symptômes disparaissent également au bout de huit jours.

A 25°, tous les plants manifestent une mosaïque après le septième jour, l'indice de BEST étant de quatre jours. Les symptômes sont nets pendant les vingt premiers jours, mais ensuite ils deviennent également difficiles à observer, sauf sur les 2 ou 3 plus jeunes feuilles qui se développent après l'inoculation.

A 20°, 96 % des plants inoculés ont montré des symptômes au bout de

douze jours, l'indice de BEST étant de huit jours. Les symptômes sont très nets jusqu'en fin de culture sur toutes les feuilles.

A 16°-17°, 89 % des plantes montrent des symptômes de mosaïque au bout de dix jours, l'indice de BEST étant de huit jours. Les symptômes sont, là aussi, très nets sur toutes les feuilles jusqu'en fin de culture.

A 15°, 88 % des plants montrent des symptômes au bout de quinze jours, l'indice de BEST étant de quatorze

jours. Comme à 20° et à 16°-17°, les symptômes sont très nets jusqu'en fin de culture.

Le temps d'apparition des symptômes diminue alors que la température augmente, de quatorze jours à 15° à deux jours à 32°. A 30° et 32°, d'un plant à l'autre, on observe un écart maximum de vingt-quatre heures dans l'apparition des symptômes. De 15° à 25°, l'écart est plus long, et peut atteindre cinq jours.

Tableau XXXVII
POURCENTAGE DE PLANTS INOCULES PAR LE SCMV-AMPEFY QUI MANIFESTENT UNE MOSAIQUE

Température	Nombre de plants malades Nombre de plants inoculés	Pourcentage
25°	70/70	100 a
20°	69/72	95,8 ab
16°-17°	39/44	88,6 b
15°	37/42	88,0

Les pourcentages suivis de la même lettre ne sont pas significativement différents (P = 0,05). Les pourcentages de plants inoculés à 15° et 16-17° sont significativement différents du pourcentage à 25°

En dessous de 25°, certains plants ne montrent pas de symptômes (tableau XXXVII). Des extraits de ces plants ne donnent pas de précipité sérologique avec un immunosérum anti-SCMV-Ampefy. Par transfert de ces plants à des températures plus élevées, aucun symptôme ne se développe. L'inoculation d'extrait de ces plants à d'autres plants n'entraîne pas l'infection. Il n'y a donc pas eu de multiplication virale.

Les symptômes sont d'autant plus nets que la température est plus basse. Au-dessus de 25°, ils s'estompent après une quinzaine de jours. On n'observe plus de mosaïque que sur les plus jeunes feuilles.

III. ACTION DE LA TEMPERATURE SUR LA MULTIPLICATION VIRALE DANS UNE PLANTE

Méthodes.

LEBEURIER (1966), FRANCK et HIRTH (1972), ont étudié la multiplication du VMT ou du virus de la mosaïque de la luzerne en fonction de la température sur des disques de feuilles. L'influence de la température sur la multiplication du VMT dans une plante entière a été étudiée par BANCROFT et POUND (1956). Cette influence est complexe, car la température intervient non seulement sur la multiplication virale, mais aussi sur la diffusion du pathogène dans l'hôte, sur le métabolisme de la plante et sur les interactions entre ces différents paramètres.

La concentration en virus dans la plante entière a été estimée par deux méthodes :

— **méthode sérologique.** La teneur en antigène viral est déterminée selon la technique décrite par LEBEURIER (1966), qui est basée sur le dosage des protéines du précipité antigène-anticorps avec la méthode de LOWRY et al. (1951). Cette technique est relativement rapide, mais elle ne permet pas de distinguer les particules infectieuses de celles qui ne le sont pas.

— **estimation du pouvoir infectieux,** soit par la détermination du point de dilution limite (DEP), soit par la détermination de la dilution de l'extrait qui permet d'obtenir 60 % de plants infectés par rapport au nombre de plants contaminés selon la méthode du maximum de vraisemblance (dilution $p = 60$). Cette méthode est longue et nécessite de nombreuses répétitions pour obtenir une estimation correcte, ce qui pose des problèmes matériels.

Teneur en antigène viral dans les hôtes de SCMV-Ampefy cultivés en conditions normales de croissance.

Le SCMV-Ampefy a deux hôtes principaux à Madagascar : la canne à sucre et le maïs. La teneur en antigène viral a été déterminée dans ces deux hôtes dans les conditions les plus favorables à la culture de ces deux plantes, la température variant entre 20° et 32°.

La canne à sucre est une plante à souche pérenne et à tiges annuelles, dont les feuilles peuvent vivre près de six mois. L'âge de la feuille est fonction de sa position sur la tige, à laquelle est attribué un numéro selon le schéma de la figure 35. La figure 36 donne la répartition de la teneur en antigène viral dans chacune des feuil-

les d'une tige appartenant à une souche dans laquelle l'infection est généralisée. Cette teneur augmente très rapidement dans le fuseau des feuilles. Elle est maximale dans les premières feuilles entièrement déroulées où elle dépasse 200 γ d'antigène viral par gramme de feuilles. Puis, la teneur en antigène viral diminue rapidement. Aucun précipité sérologique n'a été obtenu à partir d'extrait de tiges de canne à sucre virosées.

Le maïs est une plante herbacée de cycle relativement court par rapport à la canne à sucre. Sur les jeunes plants, on peut récolter l'ensemble des feuilles qui constituent le bouquet terminal (fig. 37, v. p. 192). On peut ainsi facilement suivre l'évolution de la teneur en antigène viral à partir du moment de l'inoculation du virus dans

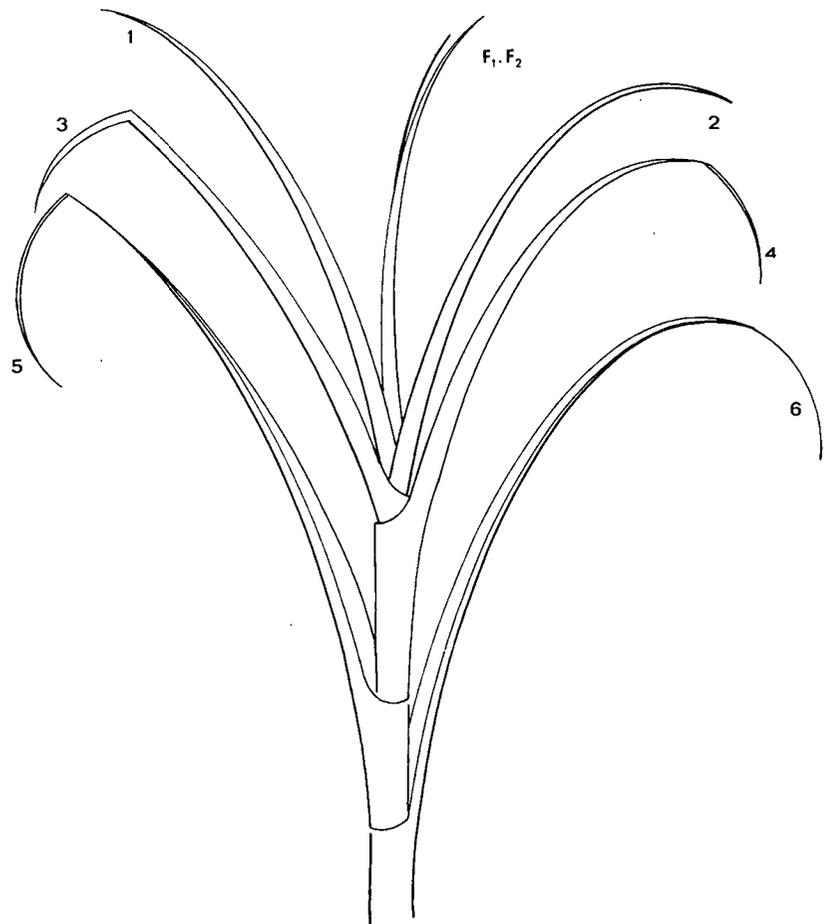


Figure 35.

Position des feuilles d'une tige de canne à sucre : F₁, F₂ feuilles du fuseau central ; 1, 2, 3..., n° de la feuille selon sa position.

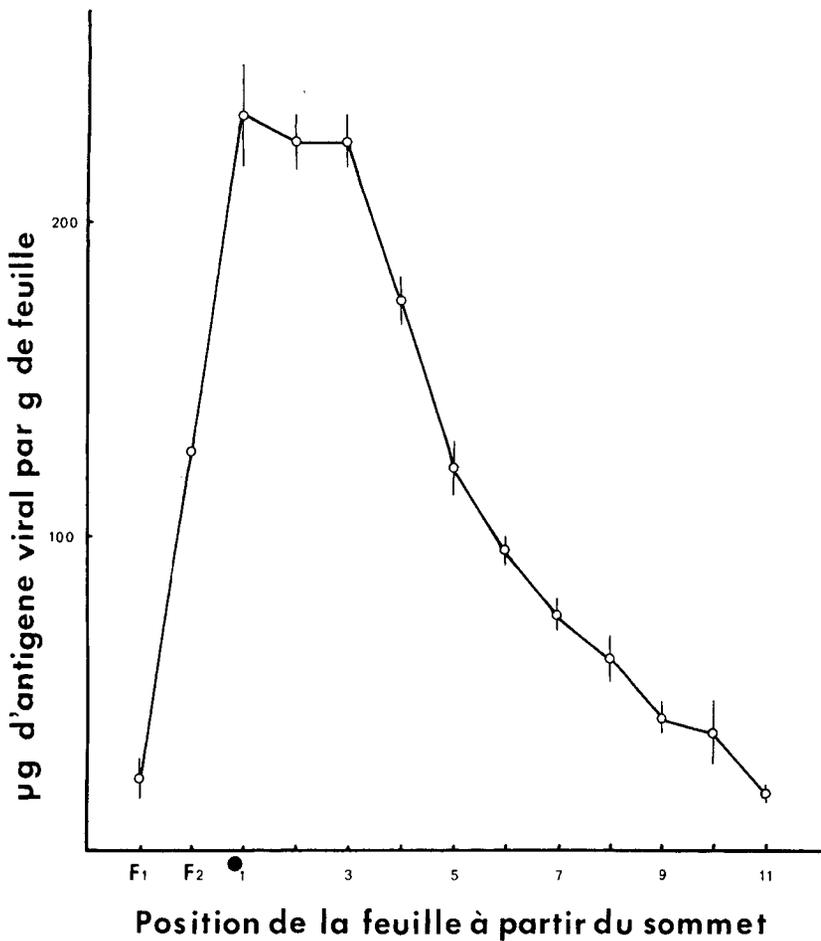


Figure 36.

Teneur en antigène viral des feuilles de canne à sucre, d'après leur position F₁, F₂ : feuilles du fuseau central ; 1, 2, 3..., premières feuilles entièrement déroulées.

la plante. La courbe de la teneur en antigène viral dans les feuilles d'un plant de maïs virosé, variété Dixie 22, est donnée figure 38 (fig. 38, v. p. 193). La teneur en antigène viral augmente jusqu'au quinzième jour qui suit l'inoculation. Elle atteint près de 50 γ par gramme de feuilles, puis elle diminue.

La courbe des teneurs en antigène viral, selon la position des feuilles de canne à sucre, ce qui revient à faire une courbe en fonction de l'âge des feuilles, donc en fonction du temps, a un aspect analogue à celle de la courbe de la teneur en antigène viral dans la masse foliaire du maïs en fonction du temps. Ces teneurs passent par un maximum avant de diminuer fortement avec l'âge des feuilles. Mais la teneur en antigène viral dans les feuilles de canne à sucre est sensiblement plus élevée, plus de quatre fois, que celle des feuilles de maïs dans les mêmes conditions de

température, avec des variations journalières comprises entre 20° et 32°.

Multiplication de SCMV-Ampely dans des plants de maïs en fonction de la température.

CONDITIONS EXPERIMENTALES

Les maïs, variété Dixie 22, sont semés dans une salle à 25°. Au bout de huit jours, ils sont suffisamment développés pour être inoculés. Ils sont répartis dans des salles à 16°-17°, 20°, 25° et 30°, vingt-quatre heures avant l'inoculation, afin que la température du plant soit bien équilibrée avec la température ambiante. Les plants sont inoculés avec une suspension virale purifiée à 0,02 mg/ml dans le tampon phosphate 0,05 M, pH 7,2. Quatre plants, choisis au hasard, sont récoltés pour constituer un échantillon. Les feuilles inoculées ne sont pas utilisées pour le dosage, l'échantillon

étant constitué des 2-3 ou 4 feuilles de la tête (fig. 37). Pour chaque traitement, deux échantillons sont traités séparément et deux dosages sérologiques ont été faits par échantillon. Les plants destinés au dosage sérologique sont conservés vingt-quatre heures en chambre froide. Les plants destinés à la détermination du pouvoir infectieux sont récoltés juste avant le broyage. Les feuilles sont broyées en présence de 1 ml de tampon phosphate 0,05 M, NaCl 0,9 %, pH 7,2, par gramme de feuilles. Les extraits pour le dosage sérologique sont clarifiés par le chloroforme à 20 %, puis centrifugés 20 mn à 5.000 g. Une fraction aliquote est alors prélevée pour le dosage sérologique.

TENEUR DES FEUILLES EN ANTIGENE VIRAL

Les courbes de la figure 39 (fig. 39, v. p. 194) donnent la teneur en antigène viral par ml d'extrait de plante.

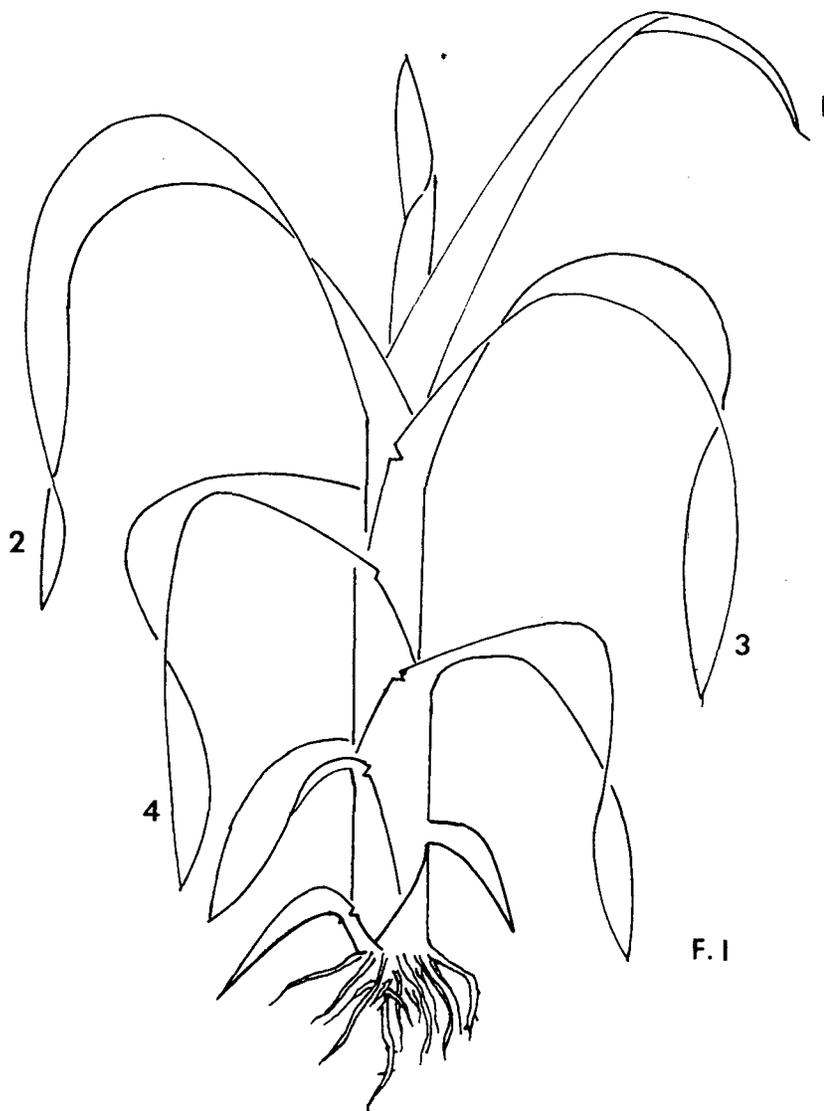
A 30°, la teneur en antigène viral augmente jusqu'au douzième jour, puis diminue. Elle est très faible le vingt-troisième jour. Même à son maximum, la teneur en antigène viral n'est pas très élevée, car elle n'atteint que 15 γ d'antigène viral par ml.

A 25°, la teneur en antigène viral croît pendant les quinze premiers jours, pour atteindre la teneur de 30 γ d'antigène viral par ml. Puis, cette teneur diminue pour se maintenir à un certain niveau qui paraît très variable à partir du vingt-cinquième jour.

A 20°, la teneur en antigène viral croît jusqu'à un maximum obtenu au bout d'une vingtaine de jours, et qui atteint 40 γ d'antigène viral par ml. Quand le maximum est atteint, elle diminue de façon variable, mais reste relativement élevée.

A 16°-17°, la teneur en antigène viral augmente pendant trente jours, pour atteindre la concentration de 60 γ d'antigène viral par ml, puis elle diminue de façon variable, tout en restant à un taux élevé.

Si l'on compare les quatre courbes (fig. 40, v. p. 195), on observe que pendant les quatre premiers jours, la teneur en antigène viral va en décroissant avec la température de 30° et 25° à 20° et 16°-17°. Au huitième jour, cette teneur est équivalente à toutes les températures. Dès le dixième jour, les teneurs en antigène viral tendent à devenir en rapport inverse de la température. Après le vingtième jour, cette teneur continue à croître à 16°-17°, pour atteindre le maximum absolu. Après un certain temps de multiplication (vingt jours à 25°, vingt-cinq jours à 20°, trente-cinq jours à 16°-17°) la teneur en antigène viral a tendance à diminuer.



F. I - Feuille inoculée

1, 2, 3, 4 - Feuilles récoltées

Figure 37.

Plant de maïs âgé d'une trentaine de jours.
F₁ : Feuille inoculée, 1, 2, 3, 4 : feuilles récoltées.

QUANTITE D'ANTIGENE VIRAL
DANS LA MASSE FOLIAIRE
D'UN PLANT DE MAÏS

La quantité totale d'antigène viral est fonction de la concentration des extraits et de la quantité d'extrait obtenue, qui dépend de la croissance

du maïs, donc de la température. Le poids de la masse foliaire du maïs est donné figure 41 (fig. 41, v. p. 195).

La quantité d'antigène viral rapportée par plant de maïs en fonction de la température est donnée figure 42 (fig. 42, v. p. 196).

A 30°, la quantité globale d'antigène viral augmente jusqu'au vingtième jour. Mais ensuite, la teneur paraît diminuer, malgré la formation d'une nouvelle feuille.

A 25°, la quantité globale d'antigène viral augmente de manière proche de celle observée à 30°. A partir du vingtième jour, la quantité globale d'antigène viral paraît diminuer.

A 20°, la quantité globale d'antigène viral est inférieure à celles obtenues à 25° et à 30° pendant les quinze premiers jours. Mais la multiplication virale se poursuit, et dépasse la quantité obtenue à 25°.

A 16°-17°, la quantité globale d'antigène rattrape dès le quatorzième jour celles obtenues à 25° et à 20° pendant toute la durée de l'expérience. La dilution limite est plus faible à 25° après le vingtième jour. A 30°, la dilution limite n'est plus que 1/40 au trentième jour, et au quarantième jour, le pouvoir infectieux est très faible, puisque le point de dilution limite est de 1/20. A partir du vingtième jour, le pouvoir infectieux ne se maintient pas à 30°.

Pouvoir infectieux d'extraits de feuilles de maïs en fonction de la température.

Les points de dilution limite des extraits infectieux, sont donnés, tableau XXXVIII. Le point de dilution limite est du même ordre à 15° et à 20° pendant toute la durée de l'expérience. La dilution limite est plus faible à 25° après le vingtième jour. A 30°, la dilution limite n'est plus que 1/40 au trentième jour, et au quarantième jour, le pouvoir infectieux est très faible, puisque le point de dilution limite est de 1/20. A partir du vingtième jour, le pouvoir infectieux ne se maintient pas à 30°.

Le pouvoir infectieux peut être évalué d'après la dilution ($p = 60$). L'évolution du pouvoir infectieux de la masse foliaire de plants de maïs cultivés à 15°, 20°, 25° et 30° est donnée à la figure 43 (fig. 43, v. p. 195). Les extraits ont été préparés en éliminant les feuilles inoculées. A 15° et 20°, le pouvoir infectieux des extraits de feuilles est du même ordre de grandeur. Il atteint le maximum dès le dixième jour, puis il se maintient jusqu'en fin d'expérience à 20°. Il est plus faible à 15° après le vingtième jour.

A 25°, le pouvoir infectieux est élevé dès le quatrième jour. Il diminue fortement le trentième jour. A 30°, le pouvoir infectieux est moins élevé le dixième et le vingtième jour que celui de maïs virosés cultivés aux températures inférieures. Au vingtième et au quarantième jour, il est très faible et il faut des extraits vingt fois plus concentrés que ceux provenant d'une salle infestés.

Tableau XXXVIII

POINT DE DILUTION LIMITE D'EXTRAITS INFECTIEUX OBTENUS PAR BROYAGE DE FEUILLES DE MAIS, VARIETE DIXIE 22, EN FONCTION DE LA TEMPERATURE DE CROISSANCE DES PLANTS

Conditions de température	Nombre de jours après l'inoculation				
	4 j	10 j	20 j	30 j	40 j
30°		1/1.280	1/ 640	1/ 40	1/ 20
25°	1/2.560	1/2.560	1/1.280	1/ 320	1/ 640
20°	1/ 80	1/2.560	1/1.280	1/1.280	1/ 640
15°		1/2.560	1/1.280	1/2.560	1/ 640

Tableau XXXIX

POINT DE DILUTION LIMITE D'EXTRAITS INFECTIEUX OBTENUS PAR BROYAGE DES DEUX PLUS JEUNES FEUILLES DE MAIS, VAR. DIXIE 22, VIROSES, CULTIVES A DIFFERENTES TEMPERATURES

Conditions de température	Nombre de jours après l'inoculation				
	4 j	10 j	20 j	30 j	40 j
30°		1/1.280	1/1.280	1/ 320	1/ 20
25°	1/2.560	1/2.560	1/2.560	1/2.560	1/2.560
20°	1/ 80	1/2.560	1/1.280	1/2.560	1/2.560
15°		1/2.560	1/1.280	1/2.560	1/1.280

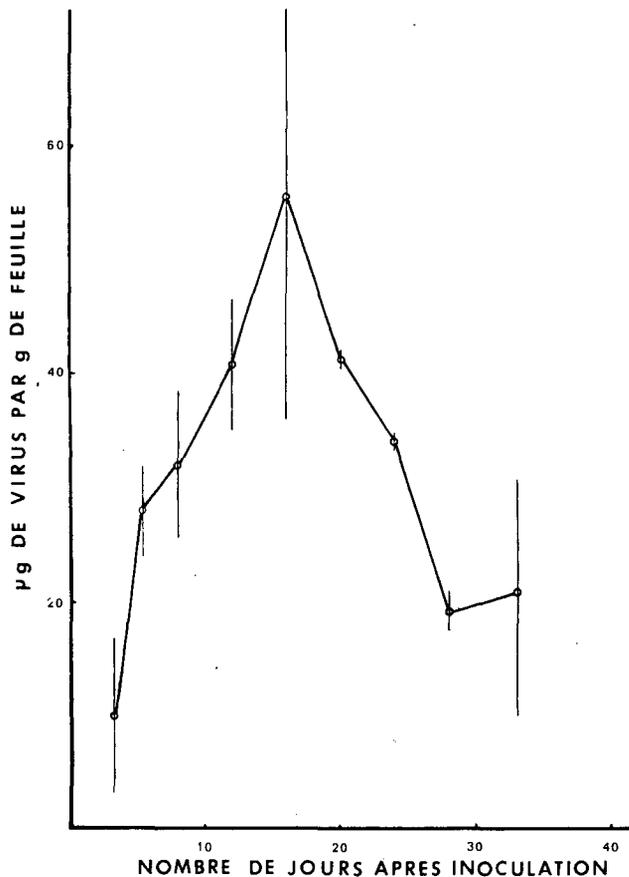


Figure 38.

Teneur en antigène viral d'un plant de maïs, variété Dixie 22, en fonction du nombre de jours après l'inoculation, à une température comprise entre 20° et 35°.

A 25°, les symptômes réapparaissent sur les deux plus jeunes feuilles néoformées, même s'ils disparaissent des feuilles plus âgées. Le point de dilution limite d'extraits virosés préparés à partir des deux plus jeunes feuilles d'un plant a donc été déterminé pour être comparé au point de dilution limite de la masse foliaire (tableau XXXIX). La dilution limite est du même ordre sur les deux plus jeunes feuilles aux trois températures de 25°, 20° et 15° et du même ordre que celle obtenue à partir de la masse foliaire des maïs à 15° et 20° (soit 1/2.560). Mais à 30°, à partir du trentième jour, elle n'est plus que de 1/320. Au quarantième jour, le pouvoir infectieux est également très faible puisque la dilution limite n'est plus que de 1/20 comme sur toute la masse de feuilles.

Le pouvoir infectieux des deux plus jeunes feuilles d'un plant, est exprimé, en dilution (p = 60), figure 44 (fig. 44, v. p. 195).

A 15°, 20° et 25°, le pouvoir infectieux des deux feuilles supérieures des plants de maïs virosés est du même ordre. Toutefois, le maximum est atteint dès le quatrième jour à 25°, alors qu'il est atteint le dixième jour à 20°. A 30°, le pouvoir infectieux des extraits des deux plus jeunes feuilles des plants de maïs virosés est très faible comme celui de la masse foliaire de la même plante.

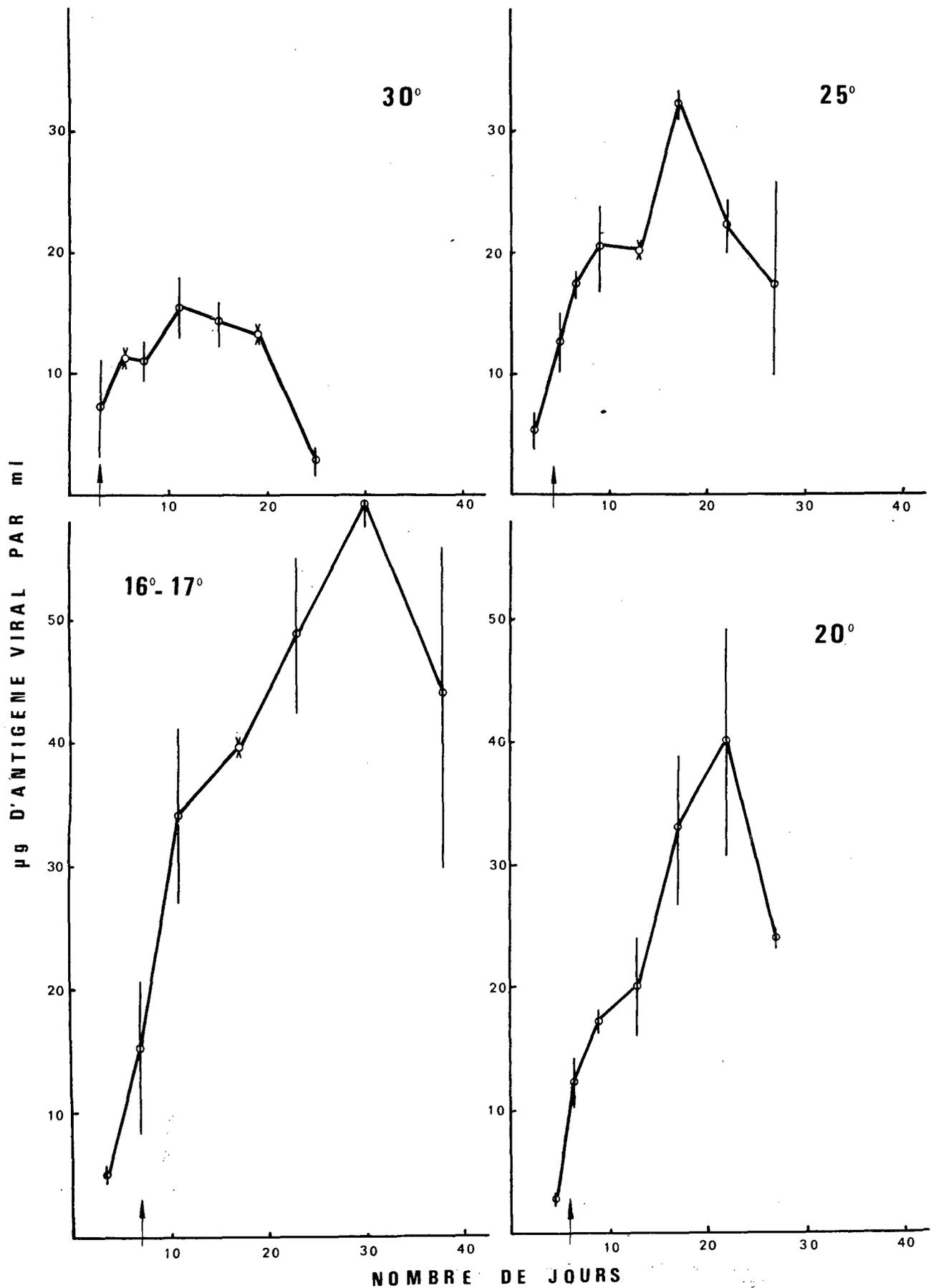


Figure 39

Variation de la teneur en antigène viral en fonction du temps dans des extraits de feuilles de maïs, variété Dixie 22, inoculés par SCMV-Ampefy, placés dans des salles à différentes températures. Premiers symptômes.

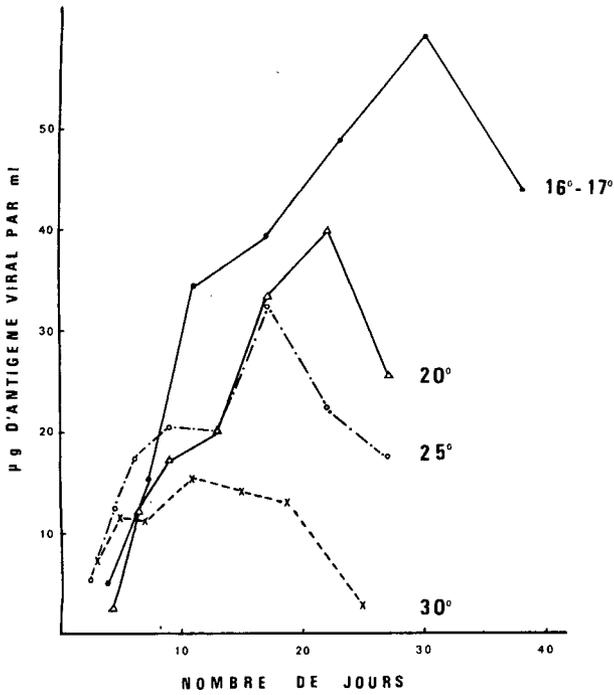


Figure 40.

Comparaison des teneurs en antigène viral d'extraits de feuilles de maïs, variété Dixie 22, inoculés par SCMV-Ampefy, selon la température.

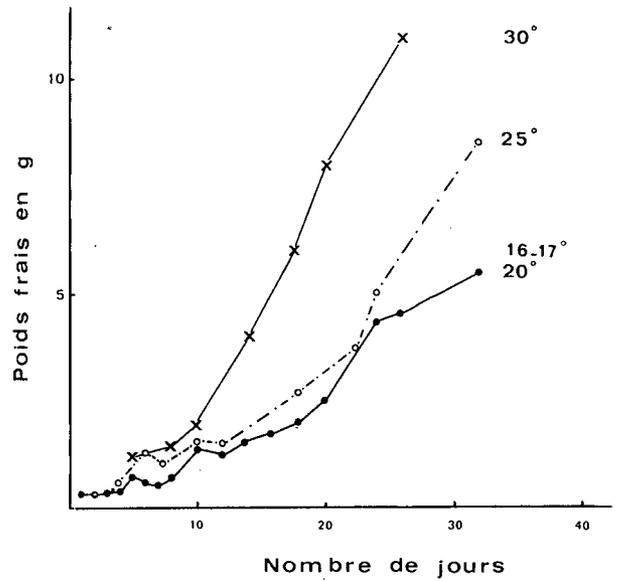


Figure 41.

Evolution du poids frais de la masse foliaire d'un plant de maïs, variété Dixie 22, en fonction du temps à différentes températures.

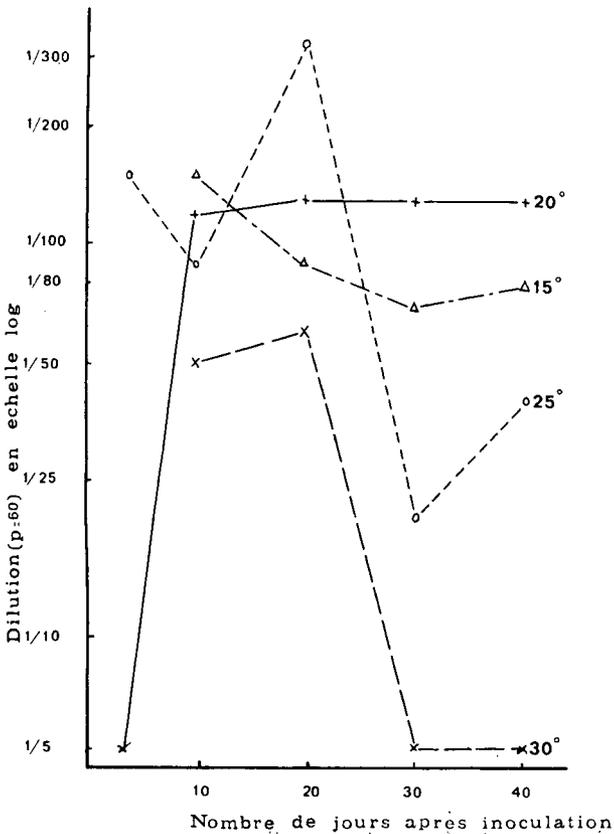


Figure 43.

Pouvoir infectieux en fonction de la température d'extraits de feuilles de maïs, variété Dixie 22, virosés, en solution dans du tampon phosphate 0,05 M pH 7,2.

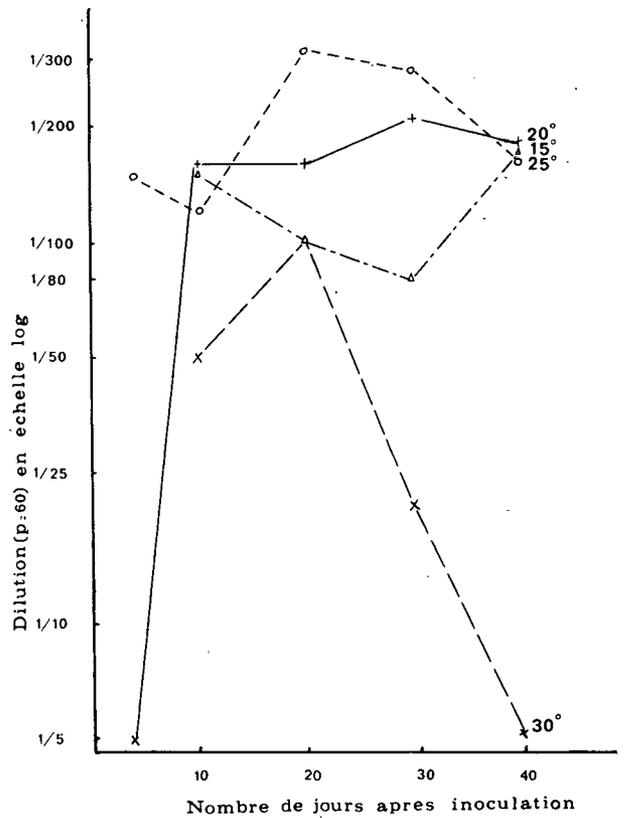


Figure 44.

Pouvoir infectieux, en fonction de la température, d'extrait des deux plus jeunes feuilles de plants virosés de maïs, variété Dixie 22, en solution dans du tampon phosphate 0,05 M pH 7,2.

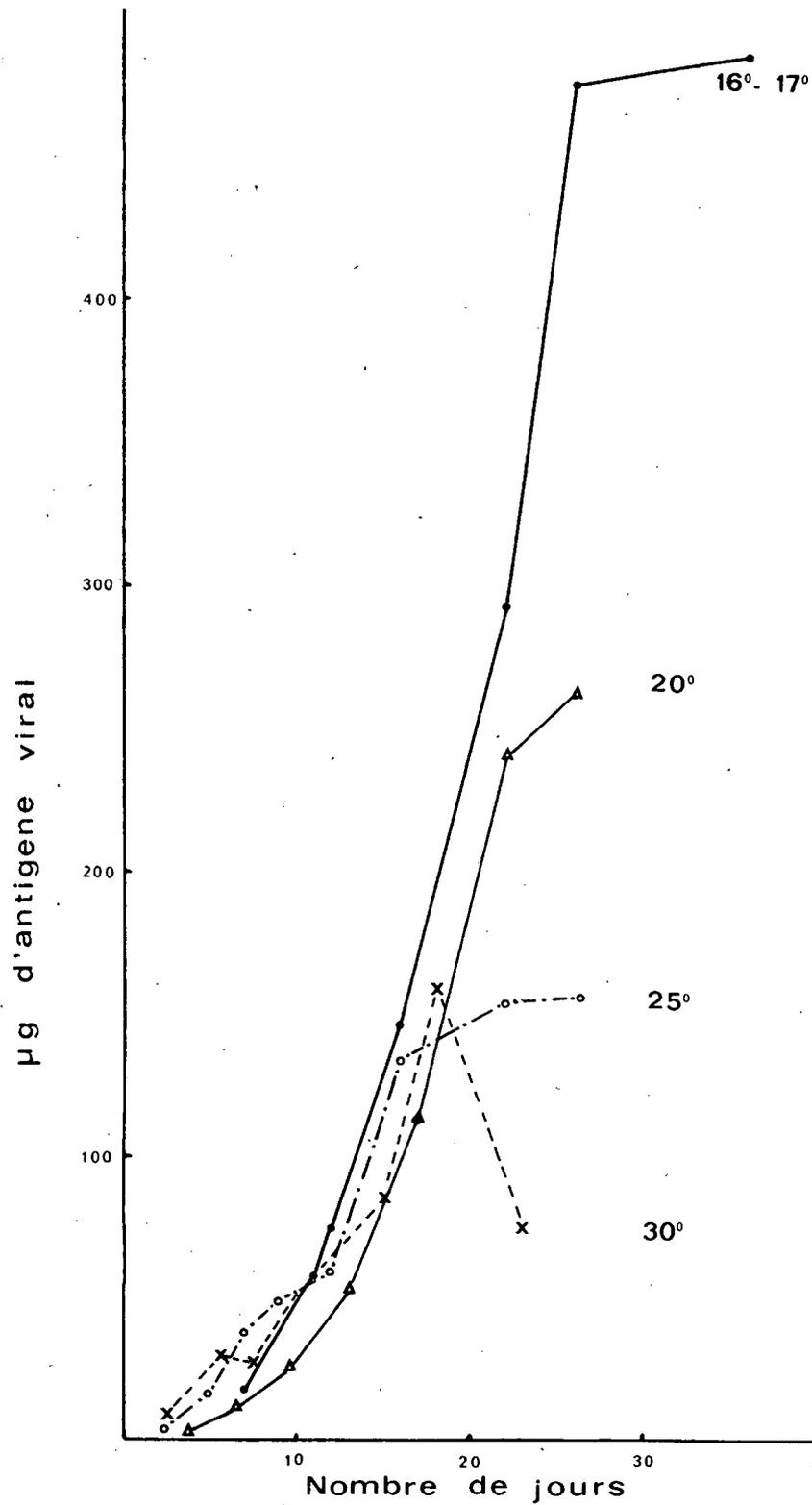


Figure 42.

Quantité globale d'antigène viral dans la masse foliaire de plants de maïs, variété Dixie 22, en fonction du temps à différentes températures.

IV. CONCLUSIONS

La température joue un rôle important sur le temps d'apparition des symptômes sur le maïs inoculé par SCMV-Ampefy. Plus la température est élevée, entre 15° et 30°, plus le temps qui s'écoule avant l'apparition des symptômes est court. C'est un fait assez général pour les virus des végétaux. Dans une gamme de températures permettant la croissance normale de l'hôte, les symptômes apparaissent d'autant plus rapidement que la température est plus élevée (KASSANIS, 1957).

Par contre, le virus ne se multiplie pas dans certains plants en dessous de 25°, le pourcentage de plants qui restent sains est faible, mais il ne paraît pas dû au hasard. Ce phénomène pourrait être rapproché du fait que l'on observe également une plus grande hétérogénéité dans le temps d'apparition des symptômes aux températures inférieures à 25°. En étudiant un système synchrone de multiplication du VMT, souche U₁, en fonction de la température, DAWSON, SCHLEGEL et LUNG (1975) ont montré que les basses températures (5° et 12°) inhibent les premières étapes de la multiplication virale. Aux températures étudiées les plus basses, 15° et 16°-17°, la multiplication de SCMV-Ampefy ne paraît pas ralentie, mais peut être inhibée dans certains plants, puisqu'il n'y a pas de multiplication lorsqu'on transfère ces plants à température plus élevée.

A 25° et 30°, les symptômes sont peu sévères et disparaissent assez rapidement sur les feuilles atteintes. Après une vingtaine de jours, on ne peut les observer que sur les deux ou trois plus jeunes feuilles des plants laissés à 25°. Par contre, à 15°, 16°-17° et 20°, les symptômes sont très nets et ne disparaissent pas. La souche SCMV-Ampefy se différencierait donc du MDMV-A qui induit la formation de symptômes de plus en plus nets quand la température s'élève de 15° à 26,5° (TU et FORD, 1969). La disparition des symptômes aux températures élevées n'est pas un fait isolé puisqu'elle a déjà été signalée pour d'autres virus, tel le VMT (JOHNSON, 1921).

L'examen des courbes de la teneur en antigène viral et de la variation du pouvoir infectieux permet de distinguer trois zones de températures :

— une **zone optimale** entre 16° et 20°. La multiplication virale paraît se dérouler selon une courbe exponentielle (fig. 40 et fig. 42). A partir de vingt-cinq à trente jours, la teneur en antigène viral n'augmente plus. Le virus reste stable *in vivo* puisque le pouvoir infectieux des virions reste sensiblement le même tout au long

de l'expérience. A ces deux températures, les courbes observées ont l'aspect général des courbes de multiplication virale des virus à température optimale (LEBEURIER et HIRTH, 1966).

— une **zone intermédiaire** autour de 25°. Malgré une augmentation plus rapide du poids frais des échantillons (fig. 41), la teneur globale d'antigène reste inférieure à celle obtenue aux températures de 16° et 20°. A partir du vingtième jour, le pouvoir infectieux diminue dans la plante (fig. 43), mais il se maintient dans les deux plus jeunes feuilles (fig. 44). Les symptômes de la virose disparaissent également à cette période.

— une **zone supra-optimale** à 30°. A cette température, la courbe de multiplication du virus est sensiblement la même qu'à 25° (fig. 42) et ceci jusqu'au dix-huitième jour. La chute en antigène viral est alors très nette : elle est précédée de la disparition des symptômes. Le virus n'est pas stable à cette température dans toutes les feuilles de la plante.

L'augmentation en poids frais du maïs est plus importante à 30° qu'aux autres températures. Toutefois, cette température continue n'est pas optimale pour une croissance harmonieuse de la plante. Par contre, les autres températures sont plus favorables à la croissance et au développement du maïs, bien qu'elles soient continues. A ces températures (15° à 26,5°) le taux de multiplication de MDMV-A monte avec le taux de croissance de la plante (TU et FORD, 1968). Une augmentation du taux de croissance du maïs est donc compatible avec celle du taux de multiplication d'un virus voisin. Les températures supérieures à 20° étant défavorables à la multiplication de la souche SCMV-Ampefy dans le maïs, ce virus peut donc être assimilé à une souche psychrophile.

Les différents hôtes de SCMV ont besoin d'une alternance de température comprise entre 15° et 35° pour se développer normalement. Ceci explique pourquoi cette souche psychrophile peut amorcer son développement dans ses hôtes. Le comportement de cette souche correspondrait à celui d'une souche froide du VMT, isolée par LEBEURIER (1966).

nue dans les îles voisines des Comores (BOURIQUET, 1946) et de La Réunion (KOPP et d'EMMEREZ DE CHARMOY, 1932), ainsi qu'au Natal (STOrey, 1924). En 1952, une épidémie de mosaïque a été signalée dans la région de Brickaville, sur la côte Est de Madagascar, où les dégâts dus à deux maladies, mosaïque et échaudement des feuilles ont été estimés considérables (BARAT, 1953). La variété en grande culture était alors la variété Otahiti-Lousier, *Saccharum officinarum* pur. La maladie n'avait pas encore envahi la région de Tamatave, au Nord de Brickaville, mais par contre, elle a été signalée à la même époque dans les régions de Namakia et de Marovoay, sur la canne à sucre M 72-31 qui est une canne hybride de *S. spontaneum* avec trois retours sur *S. officinarum*. Cette variété n'a pas été sélectionnée contre la mosaïque, car la maladie n'est pas présente dans son pays d'origine. Les dégâts sur M 72-31 ont été insignifiants (BARAT, 1953). La lutte contre la mosaïque et l'échaudement des feuilles à Brickaville a consisté en la multiplication d'une variété très résistante aux deux maladies, M 134-32. Les rendements ont alors beaucoup augmenté (BARAT, 1954 ; LAUFFENBURGER, 1960). Sur la côte Ouest, le renouvellement normal des variétés a été accompagné de la disparition de

CHAPITRE V

ETUDE AGRONOMIQUE DE LA MALADIE A MADAGASCAR

I. EXTENSION DE LA MALADIE

La mosaïque de la canne à sucre n'a pas été observée à Madagascar jusqu'en 1952, alors qu'elle était con-



Figure 45.

Répartition à Madagascar des lieux cités et des industries sucrières.

O : lieux cités

● : zone industrielle de culture de canne à sucre.

la maladie. Pourtant, une des variétés les plus appréciées entre 1952 et 1960 était une variété sensible à la mosaïque, la B 34-104. Une autre variété, NCo 310, sensible à SCMV-B et SCMV-H, occupe toujours une place très importante. La virose n'a plus été observée sur les cultures industrielles de canne.

Aucune transmission de la maladie au maïs n'a été obtenue à partir d'extrait de feuilles des variétés NCo 310, B 37.172 et S 17 cultivées sur grandes superficies à Ambilobe et Namakia. Aucun précipité sérologique n'a été obtenu. Dans les mêmes régions, la maladie n'a pas été mise en évidence dans les petites cultures de variété Lousier que l'on trouve abondamment dans les villages. En 1971, une prospection dans l'Ouest et le Sud de Madagascar, dans les nombreuses petites cultures familiales plantées en *S. officinarum* n'a pas permis d'observer de symptômes de mosaïque, ni d'obtenir d'infection. Par contre, cette maladie s'est maintenue dans les cultures familiales sur les hauts plateaux malgaches. Elle a été ainsi identifiée en 1964 à Ampefy, en 1966 à Ambositra, Ihosy, dans les cultures familiales plantées en variétés indéterminées. La région d'Ampefy, l'une des plus riches des hauts plateaux était contaminée à 100%. En 1968, il n'y avait plus de plante saine dans toute la sous-préfecture de Miarrinarivo dont dépend Ampefy, d'une superficie pourtant supérieure à celle de quatre départements français. Les cultivateurs abandonnaient d'eux-mêmes la canne à sucre, malgré son intérêt pour la consommation directe, la production de sucre artisanal « *Siramamy gasy* », de vin de canne ou d'alcool, en raison de ce qu'ils appelaient la « dégénérescence de la plante ». En direction de la côte Est, la maladie a été reconnue près de Beforona, à 800 mètres d'altitude. Malgré des contrôles très stricts de l'état sanitaire des champs organisé par le Service de la Défense des Cultures, la mosaïque n'a plus été mise en évidence sur la côte Est. Mais, contrairement à la côte Ouest, la variété Lousier a été éliminée à cause de sa sensibilité à la maladie de Fidji dans la région de Brickaville.

Les divers isolements de mosaïque (Beforona, Ambositra, Ihosy), ont montré les mêmes propriétés biologiques et sérologiques que SCMV-Ampefy, ainsi qu'une souche en provenance de l'île Mayotte.

Une épidémie de mosaïque sur maïs a sévi dans la même région d'Ampefy en 1969 et 1970. La plupart des cultivateurs se sont plaints du mauvais état sanitaire de leurs cultures.

Divers symptômes douteux ont été observés sur les cultures fourragères.

Aucune transmission mécanique, ni précipité sérologique n'ont été obtenus à partir d'extraits bruts de ces plantes.

II. TRANSMISSION

La transmission de la maladie ne se fait pas par inoculation mécanique dans la nature. L'infection primaire se fait par l'intermédiaire d'un grand nombre de pucerons dont *Rhopalosiphum maydis*, Fitch (BRANDES, 1920), *Aphis gossypii*, Glov. (LAWAS et FERNANDEZ, 1949), et *Myzus persicae*, Sulz. (ANZALONE et PIRONE, 1964). Ces insectes sont bien connus sur les cultures à Madagascar (BRENIERE et DUBOIS, 1965). Deux sont présents sur canne à sucre, *R. maydis* en saison humide, et *M. persicae* en saison sèche (APPERT, 1967). *R. maydis* peut se multiplier très intensément sur les graminées : canne à sucre, maïs, sorgho et graminées sauvages. En particulier, la face inférieure des feuilles de maïs et de sorgho est très fréquemment recouverte d'un tapis de larves de *R. maydis* par temps de pluie (fig. 46). Les cultivateurs, d'ailleurs, assimilent la maladie sur le maïs à la pullulation de l'insecte, ce qui, dans le cas de cette plante, n'est pas inexact.



Figure 46.

Pullulation de sorgho de *Rhopalosiphum maydis* Fitch, au stade larvaire.

Le SCMV peut être transmis par le sol (BOND et PIRONE, 1970). La pénétration doit se faire par les blessures

des bases des tiges et non par les racines (MOLINE et FORD, 1974).

La transmission par boutures et tout matériel de plantation, joue probablement le rôle principal pour l'extension de la maladie dans le cas de la canne à sucre. La région d'Ampefy a été contaminée à 100% par ce mode de reproduction, les paysans replantant leur champ avec leur propre matériel. Si la maladie a été introduite à Madagascar entre 1945 et 1950, il a suffi de vingt ans pour que la culture soit devenue impossible dans cette vaste région.

La transmission de la mosaïque par graines de maïs est possible à un taux très faible. Sur 948 graines prélevées sur des plants atteints de mosaïque, 3 plants ont montré une forte chlorose due à la mosaïque dès la germination. Ce taux de 4% est du même ordre que celui donné par le MDMV (SHEPHERD, 1965). Ce taux est pourtant suffisant aux USA pour assurer le transport sur grandes distances de la maladie, et provoquer de nouvelles épidémies. A Madagascar, la présence générale de canne à sucre, variétés de *Saccharum officinarum*, joue un rôle plus important que la transmission par graines de maïs dans la conservation de la maladie d'une saison à l'autre, en particulier dans la sous-préfecture de Miarrinarivo.

III. REPARTITION CLIMATIQUE DE LA MALADIE

Le grand foyer de mosaïque se trouve en altitude, sur les hauts plateaux centraux, avec un foyer à faible altitude en direction de la côte Ouest. D'après RAVET (1948), ces régions ont une température annuelle moyenne inférieure à 25° (fig. 47). La moyenne des maxima ne dépasse pas 30°, par contre, la moyenne des minima descend en dessous de 16°. Ces conditions climatiques sont en accord avec les températures optimales de multiplication de SCMV-Ampefy.

La région industrielle de Brickaville a une température moyenne inférieure à 25°. La moyenne des minima est de 20°, et la moyenne des maxima reste en dessous de 30°. Les conditions de température sont assez proches de celles d'Ampefy.

Les régions industrielles de Namakia et d'Ambilobe-Nosy Be sont beaucoup plus chaudes. La température moyenne annuelle y est de 27°. La moyenne des minima est supérieure à 20° et la moyenne des maxima supérieure à 32°. Pendant un mois, la température moyenne est supérieure à 28°. Ces conditions de température sont élevées par rapport aux températures optimales de développement de la souche virale SCMV-Ampefy.

La variété sensible est uniformément répandue dans toute l'île. L'insecte vecteur se multiplie aussi abondamment dans les régions côtières que sur les hauts plateaux. Sa pullulation est favorisée par les températures élevées. Le foyer de la maladie se maintient néanmoins sur les hauts plateaux.

La température est un des facteurs importants pour le développement des viroses dans une plante (KASSANIS, 1957). Les températures élevées ont, en général, un effet curatif. Il paraît donc logique de trouver un développement plus intense de la virose dans les zones les plus fraîches de Madag-

agascar, ce qui est concordant avec les résultats obtenus chapitre IV, tout en n'oubliant pas que d'autres facteurs climatiques ou physiologiques peuvent intervenir dans le développement d'une maladie.

ISOTHERMES ANNUELLES

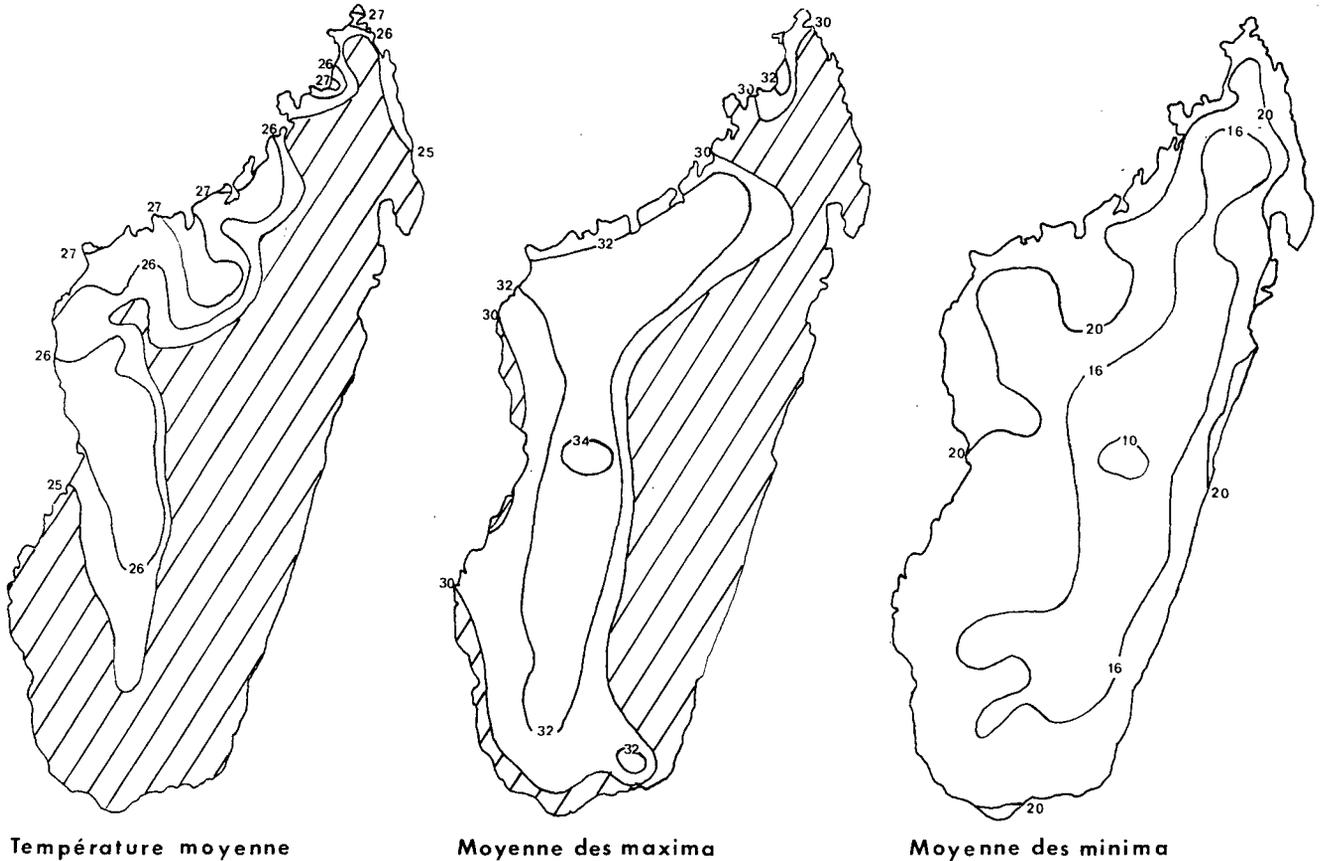


Figure 47

Températures annuelles à Madagascar, d'après RAVET (1948).

IV. MOYENS DE LUTTE

La lutte contre la mosaïque de la canne à sucre à Madagascar se présente sous divers aspects :

Lutte contre l'épidémie de mosaïque dans la région d'Ampefy.

Devant l'extension de l'épidémie de mosaïque dans la préfecture de l'Itasy, il importait de renouveler très rapidement le matériel végétal. Les *Saccharum officinarum* étant évidemment déconseillés, il a fallu choisir des cannes hybrides présentant les mêmes qualités, en particulier en ce qui

concerne le goût et une teneur en fibres assez faible pour permettre l'utilisation artisanale de ces cannes. Deux variétés répondent à ce critère : M 31-45 et S 17. Après l'échec de la transmission mécanique du virus à ces nouvelles variétés, les boutures ont été distribuées à quelques planteurs de l'Itasy par l'intermédiaire du Service de la Défense des Cultures. Six ans après (1974), ces deux variétés se sont multipliées très rapidement dans toute la région, sans opération de vulgarisation particulière. Aucun symptôme de mosaïque n'a été observé sur les nouvelles cultures jusqu'à présent.

De nouvelles épidémies de mosaïque sur le maïs n'ont pas été signalées depuis 1970.

Protection des cultures de canne à sucre des régions côtières vis-à-vis d'un foyer de mosaïque dans Madagascar.

Le foyer épidémique constitué par les cultures très disséminées de *S. officinarum*, variété Otahiti-Lousier, peut poser un problème aux producteurs de sucre. En culture industrielle, les variétés hybrides cultivées sont, en principe, résistantes si le pays producteur a pu sélectionner contre les

souches SCMV-A, B ou D. C'est le cas général, sauf pour l'île Maurice. En culture paysannale, on trouve encore beaucoup de variété Otahiti-Lousier. Cependant, l'instabilité du virus de la mosaïque à des températures supérieures ou égales à 30° paraît rendre peu probable une extension de la maladie vers l'Ouest de Madagascar (fig. 47). On a toutefois intérêt à planter la variété S 17, résistante en culture paysannale.

Dans la sous-préfecture de Brickaville, les variétés cultivées actuellement sont résistantes à la mosaïque, car elles ont été sélectionnées dans leur pays d'origine pour leur résistance à SCMV-A, B ou D. Le choix variétal n'est pas libre dans cette région en raison de la maladie de Fidji et la variété Otahiti-Lousier y est proscrite.

Il ne faut pas introduire à Madagascar de variétés de canne à sucre sensibles à SCMV-A qui paraît la souche la plus proche de SCMV-Ampefy.

Recherche de variétés résistantes de maïs et de sorgho.

Le contrôle de la résistance du maïs et du sorgho peut se faire très simplement par inoculation mécanique, selon la technique déjà décrite. Quatre pots par variété peuvent contenir 40 plants, ce qui paraît suffisant.

Les variétés de sorgho vulgarisées jusqu'en 1972 sont résistantes : Kafir 29-49 G, TM 11, Wad Akir n'ont pas manifesté de symptômes. Akol 2 et Bazaï 2 donnent des nécroses locales et sont résistantes par hypersensibilité.

Le problème est plus ardu pour le maïs, en raison de son allogamie. Sans renouvellement annuel des semences, une variété nouvelle retournera rapidement au stade de population. Les populations locales de maïs actuellement cultivées sur les hauts plateaux sont sensibles à la mosaïque avec une grande homogénéité (100 % des plants inoculés montrent de la mosaïque). La recherche de variétés résistantes ne peut qu'être intégrée dans un program-

me d'ensemble de sélection variétale et de production de semences.

Protection de Madagascar contre l'introduction de souches étrangères de SCMV.

Toutes les variétés de canne à sucre présentes à Madagascar ont été introduites. Pour satisfaire les besoins de la sélection, une vingtaine de nouvelles variétés sont introduites annuellement. Ce chiffre est insuffisant pour assurer tous les objectifs de la sélection. Actuellement, une entreprise sucrière manque de nouvelles variétés pour ses essais agronomiques, les dernières variétés reconnues résistantes à la maladie de Fidji ayant dix ans. En accord avec la réglementation internationale de la Convention Phytosanitaire Inter Africaine (IAPSC), les introductions sont soumises à une quarantaine en serre protégée des insectes, dont les modalités ont été précisées par BARAT (1959). Les variétés nouvellement introduites sont cultivées deux ans en serre de quarantaine, soit une culture en « vierge » et une première repousse. L'observation de la première repousse est considérée comme nécessaire pour la détection de la mosaïque et l'échaudement des feuilles. Puis, les variétés sont multipliées en quarantaine externe, les boutures étant traitées par thermothérapie pour éliminer l'éventuelle maladie du rabougrissement des repousses, et enfin multipliées pour obtenir le matériel végétal nécessaire aux essais. L'industrie sucrière prend donc un retard de quatre ans par rapport au pays fournisseur de la variété.

Nombreuses sont les maladies de la canne à sucre qui passent par boutures. Mises à part la maladie du rabougrissement des repousses et les stries chlorotiques que l'on peut détruire par thermothérapie, ces maladies donnent des symptômes nets dès la reprise de la végétation. Par contre, de nombreux symptômes dus à toutes sortes de troubles physiologiques peuvent être confondus avec la mosaïque. C'est pourquoi l'observation de la première repousse est conseillée. Beaucoup de variétés sont détruites en

serre par peur de mosaïque, aggravant encore le retard imposé ainsi à l'industrie.

Le schéma de quarantaine semble pouvoir être simplifié de la façon suivante :

— plantation en serre vitrée, pour éviter notamment la sortie de spores de champignons. En cours de quarantaine, on peut contrôler la mosaïque selon les possibilités, par inoculation mécanique au sorgho Tx 412 qui, à 25°, montrera des symptômes en huit jours pour les souches de SCMV-A, B, D, E, H et I, ainsi que pour MDMV-A, ou bien par contrôle sérologique, la méthode la plus précise et la plus pratique étant celle au latex de BERCKS.

— après huit mois, on doit pouvoir disposer de boutures convenables pour la thermothérapie (trois heures à 50°), et pour la multiplication. Il n'est pas utile de prolonger la quarantaine pour des raisons phytosanitaires car, à partir de six mois de croissance, aucun symptôme ne peut se manifester sur une canne dont la phase de croissance rapide est terminée. La thermothérapie éliminera les risques de transmission de la maladie du rabougrissement des repousses et des stries chlorotiques. Mais le traitement, déjà dangereux pour la germination des boutures, n'est pas suffisant contre le SCMV (ANTOINE, 1960).

Au cours de la multiplication suivante, la mosaïque peut encore être détectée au stade le plus jeune par sérologie.

A Madagascar, on peut préparer un immunsérum qui assure le contrôle des souches de SCMV-A, B et D. Si l'on redoute des introductions de MDMV ou de SCMV-H de l'importante collection de Canal Point, il paraît possible d'introduire l'immunsérum correspondant avec les boutures suspectes.

Un contrôle sérologique de la mosaïque dans les grandes collections de canne à sucre devrait pouvoir permettre l'établissement d'un certificat international garantissant un maximum de précautions concernant au moins la mosaïque.

CONCLUSION

logiques différentes ou induisant sur les mêmes hôtes des symptômes différents, n'a été identifiée. Les hôtes sensibles aux diverses souches de SCMV ou de MDMV répondent à l'inoculation de SCMV-Ampefy par une réaction de tout ou rien, comme pour SCMV-A, SCMV-H et MDMV-A. Les autres souches, SCMV-B, SCMV-D et

SCMV-E provoquent une grande hétérogénéité dans les manifestations des symptômes chez les plantes d'une même variété (SNAZELLE et al., 1971). La souche SCMV-Ampefy nous paraît donc relativement homogène, au moins en ce qui concerne l'expression de ses propriétés biologiques.

La souche SCMV-Ampefy, qui affecte les cultures de canne à sucre des hauts plateaux de Madagascar, a des propriétés biologiques et sérologiques proches de celles de la souche SCMV-A décrite aux USA (SNAZELLE et al., 1971). Malgré l'extension géographique de la maladie dans la grande île, aucune autre souche, de propriétés séro-

I. PARTICULARITES PHYSICO-CHIMIQUES

La souche SCMV-Ampefy a été purifiée par une technique mettant en jeu les procédés qui évitent au maximum l'agrégation du virus, et lui conservent ses propriétés biologiques : emploi de l'EDTA, du mercaptoéthanol, de la chromatographie sur gel, peu d'ultra-centrifugations. Sa structure et ses propriétés physico-chimiques sont en accord total avec ce qui est connu des virus du groupe des Flexidiviridales de la classification LHT (LWOFF, HORNE et TOURNIER, 1962) ou des potyvirus définis par HARRISON et al. (1971) : particules filamenteuses à symétrie hélicoïdale, avec un pas de l'hélice de 3,4 nm, des particules infectieuses de 750 nm de long et de 14 nm de diamètre, un point d'inactivation thermique (TIP) de 56°. Par contre, quelques particularités ont été observées par rapport à ce qui est décrit pour d'autres souches de SCMV ou de MDMV :

— La concentration en antigène viral atteint, dans les meilleures conditions, 100 µg/ml d'extrait de maïs, soit 100 mg/l. Cette concentration peut atteindre dans *Saccharum officinarum* 200 µg/g de feuilles, soit au minimum 200 mg/l, sinon plus. Si l'ensemble de l'antigène correspond à des virions, ces concentrations sont largement supérieures aux concentrations classiques de potyvirus (5 à 25 mg/l d'extrait brut, d'après HARRISON, 1971).

— La souche SCMV-Ampefy s'agrége suffisamment en présence d'un tampon à pH 4,5 pour que l'on puisse la sédimenter par une centrifugation à 8.000 g. Or, TOSIC et al. (1974), proposent de purifier les souches SCMV-A, B, D et E et MDMV-A par clarification des extraits de plantes à pH 4,8. Ces souches restent en suspension dans le surnageant de centrifugation à 8.000-10.000 g, alors que le SCMV-Ampefy doit sédimenter. Toutefois, les souches australiennes de SCMV ne peuvent être convenablement purifiées si le pH descend en dessous de 6 en cours de purification (TEAKLE et GRILLIS, 1973). Une étude systématique du point iso-électrique des nucléoprotéines des différentes souches de SCMV et de MDMV permettrait sans doute de déceler des propriétés particulières à ces virus.

II. STABILITE DU VIRUS EN FONCTION DE LA TEMPERATURE

Comme pour tous les autres virus du groupe PVY, le point d'inactivation thermique d'un extrait brut de plante virosée est relativement bas *in vitro* : 56°. De même, le pouvoir infectieux d'une préparation purifiée n'est con-

servé qu'à 4°. D'autre part, lors d'électrophorèse de zone, réalisée à 29°-30°, le virion paraît se dissocier en ARN et protéine. Ces propriétés sembleraient indiquer que les interactions ARN-protéine de la souche SCMV-Ampefy sont faibles, et que la coque protéique n'assure pas une protection très efficace, contrairement à d'autres virus de même symétrie, tels les tobamovirus. L'instabilité à la température de la souche SCMV-Ampefy est un caractère général des potyvirus (HARRISON et al., 1971).

III. INFLUENCE DE LA TEMPERATURE SUR LA MULTIPLICATION DU VIRUS DANS LES PLANTES

In vivo, la souche SCMV-Ampefy a le comportement d'une souche psychrophile. La multiplication virale à 16°-17°, bien que retardée lors des premiers stades de la virose, est en fait intense. Aux températures supérieures à 25°, la multiplication est plus rapide, mais le virus néosynthétisé n'est pas stable.

La répartition géographique de la maladie à Madagascar permet de suggérer une hypothèse complémentaire en ce qui concerne la multiplication du virus dans les conditions naturelles. Sur les hauts plateaux du centre de l'île, la température journalière alterne de 15° à 32°. Ainsi, au cours de chaque journée, il y aurait une température qui conviendrait à l'une des phases de la multiplication virale. Par contre, dans les deltas de la côte Ouest, où la température moyenne est supérieure à 26° pendant trois mois, conditions très favorables à la culture des plantes hôtes, le virus ne serait pas suffisamment stable pour que la maladie se maintienne. La souche SCMV-Ampefy ne provoque ainsi d'épidémies que dans les régions les plus froides de l'île qui sont encore propices à la culture de la canne à sucre et du maïs.

La psychophilie de la souche SCMV-Ampefy pourrait expliquer les nombreux cas de guérison observés dans les champs de canne à sucre de certaines régions chaudes de Madagascar. Ce phénomène de guérison a été observé dans des contrées du monde où les conditions climatiques sont voisines de celles de la grande île. La canne à sucre peut s'affranchir du virus de la mosaïque en quarante-cinq jours ou plus, sans que cela lui confère l'immunité (FORBES et MILLS, 1943; SUMMERS, BRANDES et RANDS, 1948; ABBOTT et TIPPETT, 1966). Les cannes à sucre, comme d'autres plantes, peuvent donc être guéries par thérapie appliquée à la plante entière.

IV. RELATIONS ENTRE SCMV-AMPEFY ET LES SOUCHES AMERICAINES DE SCMV ET DE MDMV

Les relations entre souches virales sont généralement établies d'après deux critères principaux : la réponse d'une gamme d'hôtes à l'infection, et les parentés sérologiques.

Les souches SCMV-A, B, D, H et I et de MDMV (A et B) ont été décrites d'après les symptômes observés sur la canne à sucre pour les premières, sur le maïs et *Sorghum halepense* pour les secondes. Elles ont été décrites d'après la manifestation des relations hôtes-virus, qui sont très dépendantes de l'environnement. En fait, ce ne sont pas des souches de virus qui ont été décrites, mais des maladies de plantes induites par ces souches. Dans le même environnement, les divers symptômes de viroses sur une même plante ont permis de reconnaître des souches virales différentes. Mais les variations de symptômes décrits sur une même plante et provoqués par deux souches différentes peuvent être plus modérées que celles induites par une même souche lorsqu'il y a un changement d'environnement. En particulier, l'absence de symptômes après l'inoculation peut être aussi bien interprétée comme une résistance favorisée par les conditions de milieu (résistance horizontale) que comme une immunité vis-à-vis de la souche (résistance verticale).

Les sorghos à nécroses locales permettent de distinguer la souche SCMV-Ampefy des autres souches de SCMV et de MDMV. En particulier, on peut différencier SCMV-Ampefy, comme SCMV-A, des souches SCMV-B, SCMV-D et SCMV-E qui, d'après SNAZELLE et al. (1971), constituent un même sérotype.

Les nécroses se produisent sur des sorghos qui manifestent un caractère nécrotique à transmission manufacturielle. Mais, parmi ces sorghos, certains présentent des infections généralisées à des températures auxquelles d'autres ne montrent que des nécroses locales. Le caractère nécrotique ne paraît donc pas lié à la localisation du virus, mais le type de nécrose dépend de l'étendue du traumatisme dû à l'infection virale. Le phénomène nécrotique paraît être commandé par la plante, mais la localisation dépend d'un autre système que l'on met en évidence par l'intermédiaire des souches virales. De semblables systèmes ont été observés sur le VMT : les tabacs qui comportent dans leur génotype le gène N, donnent des nécroses locales avec toutes les souches du VMT. Par contre, le génome viral intervient dans la réaction de *Nicotiana*

sylvestris qui est hypersensible à certaines souches de VMT et montre des infections généralisées avec d'autres (KADO et KNIGHT, 1968). L'inoculation de SCMV-Ampéfy à des sorghos nécrotiques permet donc d'observer l'ensemble des phénomènes liés à l'hypersensibilité déclenchée par une infection virale et peut probablement constituer un système intéressant pour leur étude.

V. IMPORTANCE AGRONOMIQUE DE LA SOUCHE SCMV-AMPEFY

L'analogie de SCMV-A et de SCMV-Ampéfy est confirmée aussi bien par les parentés sérologiques que par le pouvoir pathogène. Ces souches sont différentes de SCMV-H et de MDMV-A.

Cette distinction est très importante : les maladies dues à SCMV-A, SCMV-H et MDMV-A sont très différentes sur les divers points suivants :

— les hôtes : aucune épidémie grave sur le maïs ou le sorgho n'a encore été rapportée à SCMV-A, alors que la souche MDMV-A a entraîné d'importants dégâts sur ces plantes aux USA ;

— les variétés de canne à sucre et le programme de sélection : parmi les géniteurs de variétés hybrides de canne à sucre, seules les variétés de *Saccharum officinarum* sont très sensibles à SCMV-A. De nombreuses cannes hybrides sont résistantes à SCMV-A. Les techniques de sélection de variétés résistantes sont bien au point. Les problèmes de sélection sont plus difficiles avec SCMV-H et SCMV-I ;

— les types et l'importance des dégâts : selon chaque variété, les dégâts dépendent de la souche en cause. En général, SCMV-A est la souche qui provoque les dégâts les moins importants sur les variétés sensibles à plusieurs souches (BREAUX et DUNCKELMAN, 1969).

A Madagascar, la maladie paraît limitée par les conditions de température. Par contre, il est indispensable d'éviter d'introduire d'autres souches de SCMV. Les techniques proposées doivent permettre d'augmenter l'efficacité du contrôle des introductions de nouvelles variétés végétales, tout en rendant ces contrôles beaucoup plus rapides, afin de ne pas entraîner de retard dans les programmes variétaux, retards qui pourraient être encore plus dangereux que la maladie elle-même.

BIBLIOGRAPHIE

- ABBOTT (E.V.), 1949. — Comparison of methods for artificially inoculating sugar cane seedlings with the mosaic virus. *Phytopathology*, 39, 668-9.
- ABBOTT (E.V.), 1952. — Stability of strains of the sugarcane mosaic virus. *Phytopathology*, 42, 281.
- ABBOTT (E.V.), 1953. — Tolerance to dilution and heat of six strains of the sugarcane mosaic virus. *Proc. Intern. Soc. Sugar Cane Technol.*, 8, 911-3.
- ABBOTT (E.V.), 1958. — Strains of sugarcane mosaic virus in Louisiana. *Sugar Bull.*, 37, 49-51.
- ABBOTT (E.V.), 1961. — A new strain of sugarcane mosaic virus. *Phytopathology*, 51, 642.
- ABBOTT (E.V.), 1961. — Mosaic in Mar'In (J.P.), Abbott (E.V.) and Hughes (C.). Sugarcane diseases of the world. *Elsevier Publ. Co.*, Amsterdam, 1, 407-30.
- ABBOTT (E.V.), 1962. — Problems in sugar cane disease control in Louisiana. *Proc. Intern. Soc. Sugar Cane Technol.*, 11, 685-8.
- ABBOTT (E.V.), CHARPENTIER (L.J.), 1962. — Additional insect vectors of sugar cane mosaic. *Proc. Intern. Soc. Sugar Cane Technol.*, 11, 755-60.
- ABBOTT (E.V.), STOKES (I.E.), 1966. — A world survey of sugar cane mosaic virus strains. *Sugar y Azucar*, mars 1966.
- ABBOTT (E.V.), TIPPETT (R.L.), 1964. — Additional hosts of sugarcane mosaic virus. *Plant Disease Reporter*, 48, 443-5.
- ABBOTT (E.V.), TIPPETT (R.L.), 1966. — Strains of sugar cane mosaic virus. US Department of Agriculture. *Techn. Bull.*, n° 1340, 25 p.
- ABBOTT (E.V.), ZUMMO (N.), TIPPETT (R.L.), 1965. — Methods of testing sugar cane varieties for disease resistance at the US sugar cane field station, Houma, Louisiana. *Proc. Intern. Soc. Sugar Cane Technol.* 12, 1138-42.
- ANTOINE (R.), 1960. — The thermotherapy of sugar cane plants infected with Chlorotic Streak disease. *Rev. Agric. et sucrière, Ile Maurice*, 39, 321-7.
- ANZALONE (L.), GIMALVA (M.), CHILTON (J.P.), 1967. — Methods used to select disease resistant varieties of sugar cane at the Louisiana State University. *Proc. Intern. Sugar Cane Technol.*, 12, 81-3.
- ANZALONE (L.), LAMEY (H.A.), 1968. — Possible differential reaction of certain rice varieties to sugar cane mosaic virus. *Plant Disease Reporter*, 52, 775-7.
- ANZALONE (L.), PIRONE (T.P.), 1964. — Transmission of sugar cane mosaic virus by *Myzus persicae*. *Plant Disease Reporter*, 48, 984-5.
- APPERT (J.), 1967. — Les insectes nuisibles aux cultures de Madagascar. *L'Agronomie tropicale*, numéro spécial 22, 176 p.
- BAIN (D.C.), 1944. — The use of abrasives for inoculating sugar seedlings with the mosaic virus. *Phytopathology*, 34, 844-5.
- BALTZ (T.), 1972. — Contribution à l'étude de la protéine du virus du rabougrissement buissonneux de la tomate. Thèse, Université de Strasbourg, 48 p.
- BANCROFT (J.B.), POUND (G.S.), 1956. — Cumulative concentrations of tobacco mosaic virus in tobacco and tomato at different temperatures. *Virology*, 2, 29-43.
- BANCROFT (J.B.), ULLSTRUP (A.J.), MESSIEHA (M.), BRACKER (C.E.), SNAZELLE (T.E.), 1966. — Some biological and physical properties of a midwestern isolate of maize dwarf mosaic virus. *Phytopathology*, 56, 474-8.
- BARAT (H.), 1953. — Présence de la mosaïque de la canne à sucre à Madagascar. Atti del VI° Congresso internazionale di Microbiologia, Roma 6-12 sept. 1953, 3, 399-400.
- BARAT (H.), 1954. — Note sur la présence de la maladie de Fidji à Madagascar. Congr. Prot. Végétaux, Marseille, 230.
- BARAT (H.), 1959. — Quarantine of sugar cane imported into Madagascar. *Proc. Intern. Soc. Sugar Cane Technol.*, 10, 1025.
- BAUDIN (P.), 1970. — La Mosaïque de la canne à sucre à Madagascar. *Terre Malgache*, 8, 197-200.
- BAUDIN (P.), 1971. — Influence du pH sur le virus de la Mosaïque de la canne à sucre. *C. R. Soc. Biol.*, 65, 5, 1205-9.
- BAUDIN (P.), VUITTENEZ (A.), 1972. — Application de la méthode au latex de Berks au diagnostic du virus de la Mosaïque de la canne à sucre. *C.R. Soc. Biol.*, 166, 491-4.
- BERCKS (R.), 1967. — Methodische Untersuchungen über den serologischen Nachweis pflanzenpathogener viren mit dem Bentonit-Flockungstest, dem Latex test und dem Bariumsulfattest. *Phytopathologische Zeitschrift*, 58, 1-17.
- BERCKS (R.), QUERFURTH (G.), 1971. — The use of the latex test for the detection of distant serological relationships among plant viruses. *J. Gen. Virol.*, 12, 25-32.
- BEST (R.J.), 1936. — Studies on a fluorescent substance present in plant. *Australian J. Exptl. Biol. Med. Sci.*, 14, 199.
- BOND (W.P.), PIRONE (T.P.), 1970. — Evidence for soil transmission of sugarcane mosaic virus. *Phytopathology*, 60, 437-40.
- BOND (W.P.), PIRONE (T.P.), 1971. — Purification and properties of sugarcane mosaic virus strains. *Phytopathology Z.*, 71, 56-65.
- BOURIQUET (G.), 1946. — Les maladies des plantes cultivées à Madagascar. Le Chevallier, Paris, 520 p.
- BRASSE (M.K.), 1970. — Systemic infections to the assay of plant viruses. *Ann. Rev. Phytopathol.*, 8, 61-84.
- BRASSE (M.K.), VAN PELT (N.), 1970. — Properties of infectious ribonucleic acid from wheat streak mosaic. *Virology*, 42, 690-706.
- BRANDES (E.W.), 1920. — Artificial and insect transmission of sugar cane mosaic virus. *J. Agr. Res.*, 19, 131-8.
- BRANDES (E.W.), 1927. — Sugar cane mosaic. *Proc. Intern. Soc. Sugar Cane Technol.*, 2, 83-5.
- BRANDES (E.W.), BERCKS (R.), (1965). — Gross morphology and serology as a basis for classification of elongated plant viruses. *Adv. Virus Res.*, 11, 1-24.
- BRANDES (E.W.), WETTER (C.), 1959. — Classification of elongated plant viruses on the basis of particle morphology. *Virology*, 8, 99-115.
- BREAUX (R.D.), DUNCKELMAN (P.H.), 1969. — Variety and mosaic strains interactions in sugar cane. *Sugar y Azucar*, 32.
- BRENIERE (J.), DUBOIS (J.), 1965. — Catalogue des insectes nuisibles aux cultures malgaches. IRAM, Doc. n° 43, 170 p.

- BRENNER (S.), HORNE (R.W.), 1959. — A negative staining method for high resolutions electron microscopy of viruses. *Biochem. Biophys. Acta*, **34**, 103-10.
- CERIOTTI (G.), 1955. — Determination of nucleic acids in animal tissues. *J. Biol. Chem.*, **214**, 59-70.
- CHONA (B.L.), 1944. — Sugar cane mosaic and its control. *Indian Farming*, **5**, 174-8.
- COCKERHAM, 1958. — Proc. 3rd Conf. Potato Virus diseases, Lisse-Wageningen, 1957, 199-203. H. Velnam and Zonen, Wageningen.
- COSTA (A.S.), PENTEADO (M.P.), 1951. — Corn seedlings as test plants for the sugar cane mosaic virus. *Phytopathology*, **41**, 758-63.
- DALE (J.L.), 1964. — Isolation of a mechanically transmissible virus from corn in Arkansas. *Plant Disease Reporter*, **48**, 661-3.
- DAMIDARGH (I.S.), SHEPHERD (R.J.), 1970. — Purification of Tobacco Etch and other viruses of the Potato Y group. *Phytopathology*, **60**, 132-42.
- DAWSON (W.O.), SCHLEGEL (D.E.), LUNG (M.C.Y.), 1975. — Synthesis of Tobacco Mosaic Virus in intact tobacco leaves systematically inoculated by differential temperature treatment. *Virology*, **65**, 563-73.
- DEAN (J.L.), 1970. — A local lesion host for strain E of the sugar cane mosaic virus. *Phytopathology*, **60**, 569-70.
- DEAN (J.L.), COLEMAN (O.H.), 1959. — Necrotic and resistant reactions to the sugar cane mosaic virus in sorghum. *Plant Disease Reporter*, **43**, 522-7.
- DEAN (J.L.), COLEMAN (O.H.), 1967. — Screening sugar cane seedlings for mosaic resistance by mechanical inoculation. *Proc. Congr. Intern. Soc. Sugar Cane Technol.*, **12**, 1188-93.
- DIJKSTRA (T.), GRANCINI (P.), 1960. — Serological and electron microscopical investigations of the relationships between the sorghum red stripe virus and sugar cane mosaic virus. *Tijdsch. Plantenziekten*, **66**, 295-300.
- FINNEY (D.J.), 1952. — Probit Analysis-University Press, Cambr., 318 p.
- FLOR (H.H.), 1955. — Host parasite interaction in flax rust, its genetics and other implications. *Phytopathology*, **45**, 680-5.
- FOLIN (O.), CIOCALTEU (U.), 1927. — On tyrosine and tryptophane determinations in protein. *J. Biol. Chem.*, **73**, 627-50.
- FORBES (I.L.), MILLS (P.J.), 1943. — Disappearance of virus from mosaic diseased sugar cane plants. *Phytopathology*, **33**, 713-8.
- FRANCK (A.), HIRTH (L.), 1972. — Isolement et propriétés d'une souche thermophile du virus de la Mosaïque de la luzerne. *C.R. Acad. Sc. Paris*, **274**, 745-8.
- FURAMOTO (W.A.), MICKEY (R.), 1970. — Mathematical analysis of the interference phenomenon of TMV. *Virology*, **40**, 322-8.
- GIERER (A.), SCHRAMM (B.), 1956. — Infectivity of ribonucleic acid from tobacco mosaic virus. *Nature*, **177**, 702.
- GILLASPIE (A.G.), 1967. — Maize dwarf mosaic virus recovered from commercial varieties of sugar cane. *Plant Disease Reporter*, **51**, 761-3.
- GILLASPIE (A.G.), 1972. — Sugar cane mosaic virus : Purification. *Proc. Inter Soc. Sugar Cane Technol.*, **14**, 961-70.
- GILLASPIE (A.G.), KOIKE (H.), 1973. — Maize dwarf mosaic virus susceptibility in parental lines of sugar cane. *Phytopathology*, **63**, 442.
- GILLASPIE (A.G.), KOIKE (H.), 1973. — Sugar cane mosaic virus and maize dwarf mosaic virus in mixed infections of sugar cane and other grasses. *Phytopathology*, **63**, 1300-6.
- GOIDANICH (G.), 1939. — Ricerche sul deperimento del Sorgo zuccherino verificatosi in Italia nella primavera del 1936. *Boll. Staz. Patol. veg.*, Roma, NS, **39**, 1-74.
- GOLD (A.H.), MARTIN (J.P.), 1955. — Electron microscopy of particles associated with sugar cane mosaic. *Phytopathology*, **45**, 694.
- GORDON (D.T.), GINGERY (R.E.), 1973. Purification of maize dwarf mosaic virus by continuous flow centrifugation. *Phytopathology*, **63**, 1386-92.
- GRANADOS (R.R.), 1969. — Maize viruses and vectors, in Maramorosch (K.). Viruses, vectors and vegetation, Interscience Pb, N.Y., 327-59.
- GRANCINI (P.), 1957. — Un mosaico del mais e del sorgo in Italia. *Maydica*, **2**, 83-104.
- HALVORSON (H.D.), ZIEGLER (N.R.), 1933. — Application of statistics to problems in bacteriology. I-A : Means of determining bacterial population by the dilution method. *J. Bacteriol.*, **25**, 101-21.
- HARRIS (J.I.), HINDLEY (J.), 1961. — The protein subunit of turnip yellow mosaic virus. *J. Mol. Biol.*, **3**, 117-20.
- HARRISON (B.D.), FINCH (J.T.), GIBBS (A.J.), HOLLINGS (M.), SHEPHERD (R.J.), VALENTA (V.), WETTER (C.), 1971. — Sixteen groups of plant viruses. *Virology*, **45**, 356-63.
- HEDRICK (J.L.), SMITH (A.J.), 1968. — Size and charge isomer separation and estimation of molecular weights of proteins by disc gel electrophoresis. *Arch. Biochem. Biop.*, **126**, 155-64.
- HEROLD (F.), WEIBEL (J.), 1963. — Electron microscopic demonstration of sugar cane mosaic virus particles in cells of *Saccharum officinarum* and *Zea mays*. *Phytopathology*, **53**, 469-71.
- HILL (J.H.), FORD (R.E.), BENNER (H.I.), 1972. — Characterization of the maize dwarf mosaic virus strain B protein. *Phytopathology*, **62**, 764.
- HILL (J.H.), FORD (R.E.), BENNER (H.I.), 1973. — Purification and partial characterization of maize dwarf mosaic virus strain B (sugar cane mosaic virus). *J. Gen. Virol.*, **20**, 327-39.
- HIRTH (L.), 1971. — Comparative properties of rod-shaped viruses. In Kurstak (E.) and Maramorosch (K.), Comparative Virology. Academic Press, 360-85.
- HITCBORN (J.H.), THOMSON (A.D.), 1960. — Variation in plant viruses. *Advances in Virus Research*, **7**, 163-87.
- HOLMES (F.O.), 1941. — A distinctive strain of tobacco mosaic virus from *Plantago*. *Phytopathology*, **31**, 1089-98.
- HOLMES (F.O.), 1958. — A single gene resistance test for viral relationship as applied to strains of spotted-wilt virus. *Virology*, **5**, 382-90.
- HOLMES (F.O.), 1965. — Genetics of pathogenicity in viruses and of resistance in host plants. *Advances in Virus Research*, **11**, 139-61.
- HORECKER (B.L.), MA (T.S.), HAAS (S.), 1940. — Note on the determination of microquantities of phosphorus. *J. Biol. Chem.*, **136**-175.
- JEAN (Jong-Ho), SEHGAL (O.P.), 1969. — Factors affecting local lesion assay of maize dwarf mosaic virus on *Sorghum bicolor*. *Phytopathology*, **59**, 1507-12.
- JOHNSON (J.), 1921. — The relation of air temperature to certain plant diseases. *Phytopathology*, **11**, 446-58.
- JONES (R.K.), TOLIN (S.A.), 1972. — Factors affecting purification of maize dwarf mosaic virus from corn. *Phytopathology*, **62**, 812-5.
- KADO (C.I.), KNIGHT (C.A.), 1966. — Location of a local lesion gene in Tobacco Mosaic Virus RNA. *Proc. of Nat. Acad. of Science US*, **55**, 1276-83.
- KASSANIS (B.), 1957. — Effects of changing temperature on plant virus diseases. *Advances in Virus Research*, **4**, 221-41.
- KERLAN (C.), LAPIERRE (M.), MOREAU (J.P.), 1974. — Observations sur l'apparition du virus de la Mosaïque nanisante du maïs. *Ann. Phytopatholog.*, **6**, 455-70.
- KHURANA (P.), SINGH (S.), 1972. — Sugar cane mosaic virus in India. *Sugarcane Phytopathol. Newsletters*, **7**, 24-7.
- KLINKOWSKI (M.), 1968. — Pflanzliche virologie. Die viren des europäischen raumes Akademik verlag, Berlin, 457 p.
- KLUG (A.), BERGER (J.E.), 1964. — An optical method for the analysis of periodicities in electron micrographs, and some observations on the mechanism of negative staining. *J. Mol. Biol. G.B.*, **10**, 565-8.
- KOENIG (R.H.), STEGEMANN (H.), FRANKSEN (H.), PAUL (H.L.), 1970. — Protein subunits in the Potato Virus X group. Determination of the molecular weights by polyacrylamide electrophoresis. *Biochem. Biop. Acta*, **207**, 184-9.
- KOPP (A.), d'EMMEREZ DE CHARMOY (D.), 1932. — Situation acuelle de la Mosaïque de la canne à sucre à La Réunion. Travaux Techniques de la Station Agronomique de l'île de La Réunion. Bull. n° 3.
- LANGENBERG (W.G.), 1973. — Serology, physical properties and purification of unaggregated infectious maize dwarf mosaic virus. *Phytopathology*, **63**, 149-54.
- LAUFENBÜRGER (G.), 1960. — La lutte contre la maladie de Fidji de la canne à sucre à Madagascar. *Rev. Agric. et Sucri.*, île Maurice, **39**, 198-219.
- LAWAS (O.M.), FERNANDEZ (W.L.), 1949. — Sugar cane mosaic virus transmission. *Philippines agriculturist*, **32**, 31.
- LEBEURIER (G.), 1966. — Action de la température sur le développement de diverses souches du virus de la Mosaïque du tabac. Thèse Fa. Sc., Strasbourg, 210 p.
- LEBEURIER (G.), HIRTH (L.), 1966. — Effect of elevated temperatures on the development of two strains of tobacco mosaic virus. *Virology*, **29**, 385-95.
- LIIORZOU (P.), 1964. — Initiation pratique à la statistique. Eyrolles, Paris, 279 p.
- LIU (H.P.), LI (H.W.), 1953. — Studies on the sugar cane mosaic virus in Taiwan. II. The mode of resistance of cane varieties and the wild relatives of cane to strains of mosaic. *Taiwan Sugar Expt. Station Report*, **10**, 89-103.
- LOEBENSTEIN (G.). — Localization and induced resistance in Virus-infected plants. *Ann. Rev. Phytopathol.*, **10**, 177-206.
- LOENIG (U.E.), 1969. — The determination of the molecular weight of ribonucleic acid by polyacrylamide-gel electrophoresis. *Biochem. J.*, **113**, 131-8.
- LOVISOLO (O.), 1957. — Contributo sperimentale alla conoscenza e alla determinazione del virus agente dell'arrossamento striato del sorgo e di un mosaico del mais. *Boll. Staz. Pat. Veg.*, Roma, Ser. III, **14**, 261-321.
- LOWRY (O.L.), ROSEBROUGH (N.J.), FARR (A.L.), 1951. — Protein measurement with the Folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.*, **193**, 265-75.
- LWOFF (A.), HORNE (R.W.), TOURNIER (P.), 1962. — A system of viruses. *Col. Spring Harbour Symp. Quant. Biol.*, **27**, 51-5.
- MAC KENZIE (D.R.), 1967. — Studies with maize dwarf mosaic virus from the north-eastern United States. M.S. Thesis, The Pennsylvania State University, University Park, Park, 46 p.

- MAC KENZIE (D.R.), WERNHAM (C.C.), FORD (R.E.), 1966. — Differences of maize dwarf mosaic virus isolates of northeastern United States. *Plant Disease Reporter*, **50**, 814-8.
- MAC LAUGHLIN (M.R.), HILL (J.H.), BENNER (M.I.), 1975. — Serological relationships among potyviruses : maize dwarf mosaic virus, tobacco etch virus and turnip mosaic virus. *Phytopathology*, **65**, 334-5.
- MARTIN (C.), GALLET (M.), 1966. — Contribution à l'étude de l'action de la température sur la réaction d'hypersensibilité de certains hôtes à l'égard du virus de la Mosaïque du tabac. *C. R. Acad. Sci.*, Paris, **262**, 646-9.
- MATTHEWS (R.E.F.), 1957. — Plant virus serology. Cambridge University Press, 128 p.
- MATZ (J.), 1933. — Artificial transmission of sugar cane mosaic. *J. Agric. Res.*, **46**, 821-40.
- MATZ (J.), 1938. — Comparative study of sugar cane mosaic from different countries. *Proc. Intern. Soc. Sugar Cane Technol.*, **6**, 572-80.
- MIKI (T.), OSHIMA (N.), 1972. — On the size of the protein subunits in potato virus Y. *J. of General Virology*, **15**, 179-82.
- MOLINE (H.E.), FORD (R.E.), 1974. — Sugar-cane mosaic virus infection of seedling roots. *Physiological Plant Pathology*, **4**, 197-207.
- OSTER (G.), 1951. — The iso-electric points of some strains of TMV. *J. Biol. Chem.*, **190**, 55-9.
- OUCHTERLONY (O.), 1958. — Diffusion in gel methods for immunological analysis. *Prog. Allergy*, **5**, 1-78.
- PINCK (L.), HIRTH (L.), 1972. — The replication RNA and the viral RNA synthesis rate in Tobacco infected with Alfalfa Mosaic Virus. *Virology*, **49**, 413-25.
- PIRONE (T.P.), ANZALONE Jr (L.), 1966. — Purification and electron microscopy of sugar cane mosaic virus. *Phytopathology*, **56**, 371-2.
- PLUS (N.), 1954. — Etude de la multiplication du virus de la sensibilité au gaz carbonique chez la Drosophile. *Bull. Biol.*, France et Belg., **88**, 248-93.
- PORTNER (C.), HOGL (C.), REINBOLT (J.), 1952. — Structure primaire des peptides tryptiques solubles de la protéine du virus de la Mosaïque jaune du navet. Thèse Fac. Sc., Strasbourg, 101 p.
- POUND (G.), WALKER (J.C.), 1945. — Differentiation of certain crucifer viruses by the use of temperature and host immunity reactions. *J. Agric. Res.*, **71**, 255-78.
- PRING (D.R.), LANGENBERG (W.G.), 1972. — Preparation and properties of maize dwarf mosaic virus ribonucleic acid. *Phytopathology*, **62**, 253-5.
- RAVET (J.), 1948. — Atlas climatologique de Madagascar. Publication du Service Météorologique de Madagascar, n° 10.
- REICHMANN (M.E.), 1959. — Potato Virus X. II. Preparation and properties of purified, non aggregated virus from tobacco. *Canadian J. of Botany*, **37**, 4-10.
- REICHMANN (M.E.), 1959. — Potato Virus X. III. Light scattering studies. *Canadian J. of Botany*, **37**, 384-8.
- REICHMANN (M.E.), STACE-SMITH (R.), 1959. — Preparation of infections ribonucleic acid from Potato Virus X by means of Guanidine denaturation. *Virology*, **9**, 710-1.
- ROSS (A.F.), 1951. — Systemic acquired resistance induced by localised virus infections in plants. *Virology*, **14**, 340-58.
- SAMUEL (G.), 1931. — Some experiments on inoculating methods with plant viruses and on local lesions. *Ann. Applied Biol.*, **18**, 494-507.
- SEHGAL (O.P.), 1968. — Purification, properties and structure of maize dwarf mosaic virus. *Phytopathol. Z.*, **62**, 232-50.
- SEHGAL (O.P.), JEAN (J.H.), 1970. — Purification of maize dwarf mosaic virus by equilibrium centrifugation in Cesium chloride. *Phytopathology*, **60**, 189-90.
- SEHGAL (O.P.), JEAN (J.H.), ZUBER (M.S.), 1968. — Sorghum hybrids as local lesions hosts of maize dwarf mosaic virus. *Phytopathology*, **58**, 1708-9.
- SEIN (F.), 1930. — A new mechanical method for artificially transmitting sugar cane mosaic virus. *Proc. Inter. Soc. Sugar Cane Technol.*, **3**, 554-63.
- SHEPHERD (R.J.), 1965. — Properties of a mosaic virus of corn and Johnson grass and its relation to the sugar cane mosaic virus. *Phytopathology*, **55**, 1250-7.
- SHEPHERD (R.J.), HOLDEMAN (A.L.), 1965. — Seed transmission of the Johnson grass strain of the sugar cane mosaic virus in corn. *Plant Disease Reporter*, **49**, 468-9.
- SIGNORET (P.A.), 1970. — Une mosaïque du sorgho dans le Sud de la France, premières observations. *Ann. Phytopathol.*, **2**, 631-7.
- SMITH (K.M.), 1957. — A text book of plant virus diseases. Churchill, London, 652 p.
- SNAZELLE (T.E.), BANCROFT (J.B.), ULSTRUP (A.J.), 1971. — Purification and serology of maize dwarf mosaic and sugar cane mosaic viruses. *Phytopathology*, **61**, 1059-63.
- SOMMEREYS (G.), 1967. — Les virus des végétaux. Duculot, Gembloux, 345 p.
- STANIER (R.Y.), DOUDOROFF (M.), ADLERBERG (E.A.), 1966. — Microbiologie générale. Masson, Paris, 638 p.
- STOREY (H.M.), 1924. — Diseases of sugar cane of the mosaic type in South Africa. *J. of the Dept. of Agriculture*, **32**.
- STOREY (H.M.), 1927. — Strains of the viruses affecting the graminæ. *Proc. Intern. Soc. Sugar Cane Technol.*, **2**, 87-8.
- SUMMERS (E.M.), BRANDES (E.W.), RANDS (R.D.), 1948. — Mosaic of sugar cane in the United States, with special reference to strains of the virus. *U.S.D.A. Technical Bull.*, **955**, 44-99.
- TAKAHASHI (W.N.), 1951. — Ultraviolet absorption as a measure of TMV nucleoprotein. *Phytopathology*, **41**, 142-5.
- TAYLOR (R.H.), PARES (R.D.), 1968. — The relationship between sugar cane mosaic virus and mosaic viruses of maize and Johnson grass in Australia. *Aust. J. Agric. Res.*, **19**, 767-73.
- TEAKLE (D.S.), GRYLLIS (N.E.), 1973. — Strains of SCMV infecting cereals and other grasses in Australia. *Aust. J. of Agric.*, **24**, 465-77.
- TEAKLE (D.S.), MOORE (R.F.), GEOGE (D.L.), BYTH (D.E.), 1970. — Inheritance of the necrotic and mosaic reactions in sorghum infected with a Johnson grass strain of sugar cane mosaic virus. *Aust. J. Agric. Res.*, **21**, 549-56.
- TIPPETT (R.L.), ABBOTT (E.V.), 1968. — A new strain of sugar cane mosaic virus in Louisiana. *Plant Disease Reporter*, **52**, 450-1.
- TIPPETT (R.L.), KOIKE (H.), 1970. — Strains of sugar cane mosaic virus in sugar cane varieties effects on stands and yields. *Plant Disease Reporter*, **54**, 554-7.
- TODD (E.H.), 1964. — Sugar cane mosaic on St Augustine grass. *U.S. Agric. Res. Serv. Plant Disease Reporter*, **48**, 442.
- TOLER (R.W.), 1968. — Maize dwarf mosaic and other currently important diseases of sorghum. *Proc. annual corn and sorghum research Conf. Washington*, **23**, 1-11.
- TOSIC (M.), FORD (R.E.), 1972. — Grasses differentiating sugar cane mosaic and maize dwarf viruses. *Phytopathology*, **62**, 1466-9.
- TOSIC (M.), FORD (R.E.), 1974. — Physical and serological properties of maize dwarf mosaic and sugar cane mosaic viruses. *Phytopathology*, **64**, 312-7.
- TOSIC (M.), FORD (R.E.), MOLINE (H.E.), MEYHEW (D.E.), 1974. — Comparison of techniques for purification of maize dwarf and sugar cane mosaic viruses. *Phytopathology*, **64**, 439-42.
- TREMAINE (J.H.), 1970. — Physical, chemical and serological studies on carnation mottle virus. *Virology*, **42**, 611-20.
- TU (J.C.), FORD (R.E.), 1968. — Influence of host nutrition on susceptibility of, multiplication in, and symptom expression by corn to infection by maize dwarf mosaic virus. *Phytopathology*, **58**, 1343-8.
- TU (J.C.), FORD (R.E.), 1969. — Interaction of maize dwarf mosaic virus strains and sugar cane virus H in corn. *Phytopathology*, **59**, 173-8.
- TU (J.C.), FORD (R.E.), 1969. — Effect of temperature on maize dwarf mosaic virus infection, incubation and multiplication in corn. *Phytopathology*, **59**, 699-702.
- TU (J.C.), FORD (R.E.), 1969. — Infectivity changes of maize dwarf mosaic virus in vivo and in vitro. *Phytopathology*, **59**, 1947-9.
- VAN DER PLANCK (J.E.), 1968. — Disease resistance in plants. Academic Press, N.Y. et Londres, 206 p.
- VAN DER PLANCK (J.E.), 1975. — Principles of plant infection. Academic Press, N.Y. et Londres, 216 p.
- VAN REGENMORTEL (M.H.V.), 1964. — Purification of plant viruses by zone electrophoresis. *Virology*, **23**, 495-502.
- VAN REGENMORTEL (M.H.V.), BRANDES (J.), BERCKS (R.), 1962. — Investigations on the properties of watermelon mosaic virus. *Phytopathol. Z.*, **45**, 205-16.
- VAN REGENMORTEL (M.H.V.), HENDRY (D.A.), BALTZ (T.), 1972. — A reexamination of the molecular size of cucumber mosaic virus and its coat protein. *Virology*, **49**, 647-53.
- VARMA (A.), GIBBS (A.J.), WOODS (R.D.), FINCH (J.T.), 1968. — Some observations on the structure of the filamentous particles of several plant viruses. *J. Gen. Virol.*, **2**, 107-14.
- VON WECHMAR (B.), HAHN (H.S.), 1967. — Virus diseases of cereals in South Africa. II. Identification of two elongated plant viruses as strains of sugar cane mosaic virus. *S. Afri. J. Agric. Sci.*, **10**, 241-53.
- VUITTENEZ (A.), 1971. — Serological methods for diagnosis of viruses in grapevines and other woody perennials (7th Conf. of the Czechoslovak Plant Virologists). *Plant Virology*, **1973**, 479-83.
- WAGNER (G.W.), DALE (J.L.), 1966. — A serological comparison of maize dwarf mosaic virus isolates. *Phytopathology*, **56**, 1422-3.
- WEBER (K.), OSBORN (M.), 1969. — The reliability of molecular weight determinations by Dodecylsulfate-Polyacrylamide gel electrophoresis. *The J. of Biochem. Chem.*, **241**, 4406-12.
- WILLIAMS (L.E.), ALEXANDER (L.J.), 1964. — An unidentified virus isolated from corn in Southern Ohio. *Phytopathology*, **54**, 912.
- WURTZ (M.), 1969. — Propriétés d'un mutant thermorésistant du virus de la Mosaïque du tabac. Thèse 3^e cycle, Strasbourg, 41 p.

UN HYBRIDE COMPLEXE DE MAIS EN COTE-D'IVOIRE : IRAT Z. 81

Parallèlement aux recherches sur les variétés, l'IRAT a entrepris, depuis plusieurs années, la création d'hybrides complexes (LE CONTE, 1976). En Côte-d'Ivoire, cette option s'est traduite par la mise au point de trois cultivars destinés à différentes zones de précocité (MARCHAND, 1976). L'un d'eux, l'IRAT Z 81, s'est particulièrement distingué dans plusieurs essais coopératifs. Les étapes de sa création et les principaux résultats obtenus à ce jour sont brièvement exposés ci-après.

CREATION DE IRAT Z 81

Choix de la population.

Les essais variétaux réalisés en 1968 et 1969 ayant prouvé qu'aucune des variétés en collection ne dépassait le CJB (Composite Jaune de Bouaké), un grand nombre de variétés furent introduites, principalement du CIMMYT, et testées. En 1970, plusieurs essais montraient l'intérêt de la variété mexicaine Tuxpeño brachytico (br 2) qui atteignait 70 q/ha dans un essai (57 q/ha en moyenne sur quatre essais) et dépassait largement le CJB (124 %) dans une autre série de huit essais.

Il était alors décidé d'utiliser cette variété pour un travail de création d'hybrides complexes.

Choix des lignées.

Dès 1971, dix hybrides complexes de type Tuxpeño brachytico × lignée entrent en essai en trois points de la Côte-d'Ivoire. Faute de lignées locales, les lignées utilisées sont originaires des USA et d'Afrique du Sud. L'hybride Tuxpeño brachytico × M 162 w se classe en tête, mais son rendement est irrégulier. De plus, M 162 w, pollinisateur médiocre, met en évidence la difficulté de la production de semences avec un parent de type lignée. Ceci nous conduit à rechercher plutôt un parent de type hybride simple.

En 1973, vingt-six hybrides complexes de type Tuxpeño brachytico × hybride simple sont étudiés en deux localisations de Côte-d'Ivoire, et deux d'entre eux en huit sites. Les meilleurs hybrides complexes sont remis en essais, en 1974, en trois points en Côte-d'Ivoire, et les deux meilleurs entrent dans un essai coopératif organisé par l'IRAT en Afrique de l'Ouest, l'ECM 4 (13 sites).

Fin 1975, après une dernière année d'expérimentation, une synthèse de plus de trente essais aboutit au choix de l'hybride simple M 162 w × M 164 w pris comme parent mâle. La formule de IRAT Z 81 est donc :

$$\begin{array}{l} \text{Tuxpeño brachytico} \\ \times (\text{M 162 w} \times \text{M 164 w}) \end{array}$$

QUELQUES RESULTATS DE IRAT Z 81

Dès 1973, dans un essai multilocal d'hybrides complexes (8 sites), IRAT Z 81 produit 63 q/ha de grains, soit 121 % du rendement moyen de l'essai.

Ses aptitudes se confirment en 1974 et 1975 (tableau I) dans trois essais multilocaux où il se classe le plus souvent en tête pour le rendement. Ses rendements vont de 120 % à plus de 200 % des témoins locaux de ces essais, sauf au Sénégal (essai ECM 4) où il arrive à égalité avec BDS, hybride complexe également.

Une étude de la stabilité du rendement (méthode EBERHART-RUSSEL, 1966) sur l'essai ECM 4 montre que la somme des carrés des écarts des rendements de IRAT Z 81 à sa droite de régression est significativement différente de 0. Ceci est dû essentiellement (fig. 1) aux essais de Kolo (saison de pluies très courtes) et de Man (sécheresse forte après le semis ayant causé la mort de nombreux plants). Cet hybride est donc assez sensible à la sécheresse. La pente de la droite de régression des rendements de IRAT Z 81 par rapport aux rendements moyens des essais est supérieure à 1, ce qui indique une stabilité inférieure à la moyenne.

Tableau I

RENDEMENT EN ESSAIS DE L'HYBRIDE COMPLEXE Z 81

Lieu de l'essai	Rendement en grain		
	IRAT Z. 81 (kg/ha)	Moyenne de l'essai	
Essai ECM 4 - 1974.			
Bouaké (Bk)	Côte-d'Ivoire	6.556	5.292
Ferkessedougou (Fk) ...	Côte-d'Ivoire	5.343	4.586
Man (Mn)	Côte-d'Ivoire	4.837	5.160
Gagnoa (Gg)	Côte-d'Ivoire	4.814	4.003
Tombofro (Tb)	Côte-d'Ivoire	6.779	5.905
Mangouin (Ma)	Côte-d'Ivoire	5.536	4.800
Téhéri (Té)	Côte-d'Ivoire	6.127	5.270
Kiémo (Kié)	Côte-d'Ivoire	5.839	4.835
Séfa (Sé)	Sénégal	6.050	5.167
Farako-Bâ (Fa)	Haute-Volta	6.688	5.625
Kolo (Ko)	Niger	2.508	2.837
Kitangboa (Ki)	Togo	3.068	2.757
Sotuba (So)	Mali	3.709	3.296
Essai ECM 5 - 1975.			
Bouaké (Bk)	Côte-d'Ivoire	6.403	4.179
Ferkessedougou (Fk) ...	Côte-d'Ivoire	7.784	4.977
Davié (Da)	Togo	6.326	4.156
Amoutchou (Am)	Togo	5.920	3.488
Kitangboa (Ki)	Togo	2.619	1.778
Sotuba (So)	Mali	5.420	3.935
Farako-Bâ (Fa)	Haute-Volta	7.127	4.366
Essai WAUMT - 1975.			
Bouaké (Bk)	Côte-d'Ivoire	6.479	5.349
Ferkessedougou (Fk) ...	Côte-d'Ivoire	7.137	5.354
Sotuba (So)	Mali	2.343	1.624
Farako-Bâ (Fa)	Haute-Volta	6.658	4.934
Amoutchou (Am)	Togo	5.313	3.987
Samaru (Sa)	Nigéria	060'6	6.780

Rendement de IRAT Z-81 (q/ha)

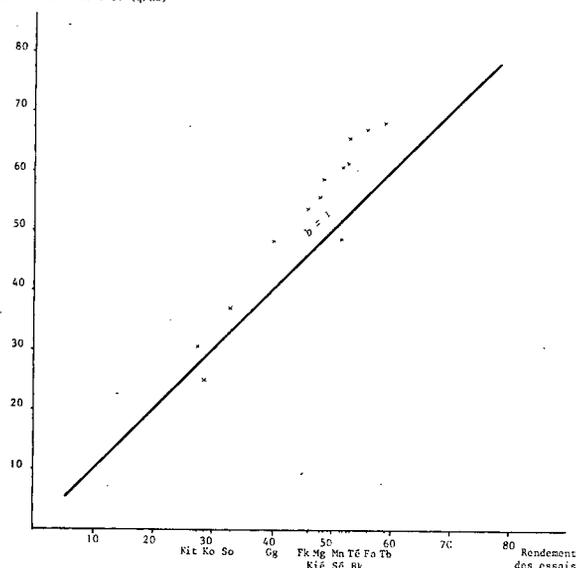


Figure 1 - Rendements en grains à 15 % d'humidité de IRAT 81 par rapport aux rendements moyens des essais - Essai ECM 4 - 1974

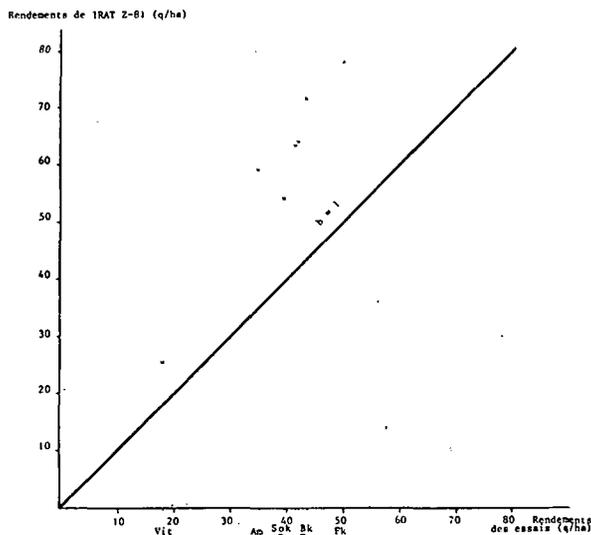


Figure 2 - Rendements en grains à 16 % d'humidité de IRAT 81 par rapport aux rendements moyens des essais - Essai ECM 5 - 1975

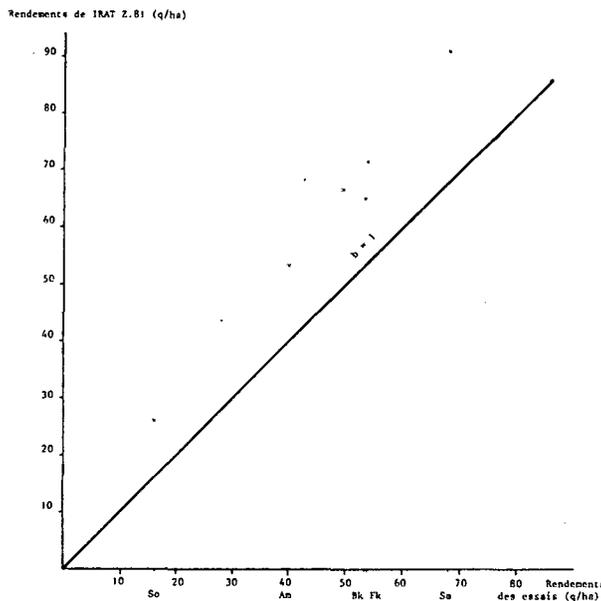


Figure 3 - Rendements en grains à 16 % d'humidité de IRAT 81 par rapport aux rendements moyens des essais - Essai OUA/PC 66 - WAUMT 1975 (résultats partiels)

L'examen des figures 1, 2 et 3, permet de voir que cette faible stabilité tient au fait que IRAT Z 81 réagit fortement aux bonnes conditions de milieu. C'est donc, d'après la classification de FINLEY-WILKINSON (1963), un hybride spécifiquement adapté aux environnements favorables.

Cependant, les résultats de Kitangboa (Togo) dans les essais ECM 4 et ECM 5 et de Sotuba (Mali) dans l'essai WAUMT, 1975, prouvent que, même en conditions difficiles, et pourvu qu'une alimentation hydrique moyenne soit assurée, cet hybride conserve un avantage certain, quoique plus réduit qu'en bonnes conditions.

CONCLUSION

IRAT Z 81, hybride complexe semi-tardif à grain blanc denté, a fait la preuve de ses capacités au cours de plus de trente essais conduits en Afrique de l'Ouest. Il allie de fortes potentialités de rendement, rentabilisant bien les techniques culturales à une tolérance suffisante aux aléas climatiques. Il peut être recommandé, pour une agriculture semi-intensive ou intensive, dans toute la zone d'Afrique de l'Ouest à saison de pluies supérieure ou égale à quatre mois.

Références bibliographiques

- EBERHART (S.A.), RUSSEL (W.A.), 1966. — Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, 6, 36-40.
- FINLAY (K.W.), WILKINSON (G.N.), 1963. — The analysis of adaptation in a plant breeding programme. *Australian J. Agric. Res.*, 14, 742-54.
- LE CONTE (J.), 1976. — Considérations finales, in « L'IRAT et l'amélioration du maïs en zone tropicale ». *L'Agronomie Tropicale* (Paris), XXXI, 3, 293-7.
- MARCHAND (J.L.), 1976. — Synthèse des travaux d'amélioration variétale du maïs en Côte-d'Ivoire (1968-1975), in « L'IRAT et l'amélioration du maïs en zone tropicale ». *L'Agronomie tropicale* (Paris), XXXI, 3, 272-7.

VARIETES DE MIL PROPOSEES PAR L'IRAT AU NIGER

IRAT P 10

Synonymie : NAIN 3/4 SOUNA.

Origine. — Croisement réalisé à la station de Bambey (IRAT-Sénégal) de la variété Nain 1/2 Souna par la sélection locale « Souna 2 ». Cette variété subit actuellement une sélection récurrente cumulative pour homogénéiser les caractères de tige (port et hauteur), d'épi et de grain, de cycle, et améliorer la tolérance aux maladies (*Sclérospora*, charbon) pour en faire une variété agronomiquement valable.

Caractéristiques végétatives et de grain. — Cycle : semis-floraison : cinquante à soixante jours, semis-maturité : quatre-vingts à quatre-vingt-dix jours. Hauteur de tige : 0,70 m à 1 m. Epi : 35 à 70 cm, cylindrique à cylindro-conique, compacité bonne à très bonne, pas d'aristation; l'épi est assez bien dégagé de la dernière feuille. Grain : gris ou gris-brun, moyen (8 à 9 g pour 1.000 grains), vitrosité assez forte.

Caractères particuliers. — Cette variété peut supporter des densités de 3 à 4 poquets/m² pour obtenir 20 à 25 épis/m². Très bonne résistance à la verse. Les feuilles sont larges et longues et les tiges sont relativement grosses. L'enracinement est profond et abondant.

Aire d'adaptation et productivité. — Son aire d'extension peut couvrir toute la zone de 450 à 650 mm où sont cultivés les mils de cycle quatre-vingts à quatre-vingt-dix jours, à condition que le terrain soit fertile et bien cultivé. Productivité : elle est encore très mal connue.

Date de la fiche : 1974.

Semences fournies par IRAT/Niger, BP 150, Niamey.

IRAT P 15

Synonymie : NAIN 3/4 HK.

Origine. — Croisement réalisé à la station de Tarna (IRAT-Niger) entre la lignée naine 1.25 (issue de la variété : Nain 1/2 Souna) et deux sélections du Niger de caractéristiques voisines (HKN et P3 Kolo). Un croisement avec les deux parents locaux a été fait. Cette population est donc 3/4 Niger, 1/8 Sénégal, 1/16 Indes et 1/16 Tifton D2. Elle subit actuellement une sélection récurrente cumulative pour homogénéiser le cycle, les caractères de tige, d'épi et de grain, et améliorer la tolérance aux maladies (*Sclérospora*, charbon), pour en faire une variété agronomiquement valable.

Caractéristiques végétatives et de grain. — Cycle : semis-floraison : cinquante à soixante jours; semis-maturité : quatre-vingts à quatre-vingt-dix jours. Hauteur de tige : 0,80 à 1,10 m. Epi : 50 à 80 cm, cylindrique à cylindro-conique, compacité bonne, pas d'aristation; l'épi est assez bien dégagé de la dernière feuille. Grain : brun-jaune à brun-gris, moyen à assez gros (9-10 g pour 1.000 grains), vitrosité moyenne.

Caractères particuliers. — Cette variété peut supporter des densités de 3 à 4 poquets/m² pour obtenir 20 à 25 épis/m². Très bonne résistance à la verse. Les feuilles sont larges et longues et les tiges sont relativement grosses. L'enracinement est profond et abondant.

Aire d'adaptation et productivité. — Son aire d'extension peut couvrir toute la zone de 450 à 650 mm où sont cultivés les mils de cycle quatre-vingts à quatre-vingt-dix jours, à condition que le terrain soit fertile et bien cultivé. Productivité : elle est encore très mal connue.

Date de la fiche : 1974.

Semences fournies par IRAT/Niger, BP 150, Niamey.

IRAT P 16

Synonymie : NAIN 3/4 EX-BORNU.

Origine. — Croisement réalisé à la station de Tarna (IRAT-Niger), entre la lignée naine 1.25 (issue de la variété : Nain 1/2 Souna) et la variété Ex-Bornu (sélection du Nord-Nigéria), suivi d'un croisement. Cette population est donc 3/4 Ex-Bornu, 1/8 Souna, 1/16 mil des Indes, 1/16 Tifton D2. Elle subit actuellement une sélection récurrente cumulative pour homogénéiser le cycle, les caractères de tige, d'épi et de grain, et améliorer la tolérance aux maladies.

Caractéristiques végétatives et de grain. — Cycle : semis-épiaison : cinquante à cinquante-cinq jours; semis-maturité : quatre-vingts à quatre-vingt-cinq jours. Hauteur de tige : 0,80 à 1,10 m. Epi : 30 à 40 cm, cylindrique, compacité très bonne, pas d'aristation; l'épi est assez bien dégagé de la dernière feuille. Grain : gris clair, moyen (8 à 9 g pour 1.000 grains), vitrosité assez forte.

Caractères particuliers. — Cette variété peut supporter des densités de 3 à 4 poquets/m² pour obtenir 20 à 25 épis/m². Très bonne résistance à la verse. Les feuilles sont larges et longues et les tiges sont relativement grosses. L'enracinement est profond et abondant. Le port est bien cylindrique (tiges bien verticales et serrées les unes contre les autres).

Aire d'adaptation et productivité. — Bien que un peu plus précoce que IRAT P 10 (Nain 3/4 Souna) et IRAT P 15 (Nain 3/4 HK), elle peut être utilisée dans les mêmes zones. Productivité : elle est encore très mal connue.

Date de la fiche : 1974.

Semences fournies par IRAT/Niger, BP 150, Niamey.

INFORMATIONS

L'IRAT ET LE MAÏS

Le maïs est une céréale d'origine tropicale très largement répandue à la surface du globe grâce à un effort sans précédent des cultivateurs et des scientifiques.

Cette céréale s'étend dans les pays d'Afrique où intervient l'IRAT, entre le 14^e parallèle Nord et le tropique du Capricorne. Cultivée en basse et haute altitude, elle atteint les rendements les plus élevés dans cette dernière situation.

Le fait que, sur ce continent, le maïs soit en grande partie consommé directement par l'homme a amené les sélectionneurs à tenir particulièrement compte des goûts et des habitudes culinaires dans chacune des régions où l'IRAT est intervenu.

Mais depuis peu les autorités politiques prennent conscience de l'importance économique présentée par une céréale à vocation industrielle marquée. Cette nouvelle situation a amené une certaine inflexion dans les programmes de l'Institut.

La culture du maïs a été souvent étudiée dans le cadre des systèmes de culture existants ou nouveaux dont cette plante exigeante constitue l'un des principaux pivots, aussi bien en culture associée qu'en culture pure. Enfin l'espèce a été très souvent choisie comme plante test dans l'étude de la fertilisation des sols tropicaux.

Ainsi donc, dans presque tous les pays où l'IRAT a été amené à travailler, le maïs figure à un degré ou à un autre dans l'inventaire des travaux réalisés, et il est bien peu de secteurs qui aient été négligés par les chercheurs de l'Institut.

Après quinze années il a paru intéressant de réunir les principales publications de l'Institut sur cette plante. Ce document, d'un millier de pages réparties en quatre fascicules, propose quatre-vingt-quinze textes qui sont un reflet de la contribution importante apportée par l'IRAT à la mise au point de la maïsiculture dans les zones tropicales et témoignent de ses possibilités de collaboration dans la définition de programmes de recherche pour de nombreux pays tropicaux.

IRAT AND MAIZE

Maize is a cereal of tropical origin which is widespread all over the world as a result of the exceptional efforts devoted to it by growers and scientists.

This cereal is grown in the African countries where IRAT is working, between the 14th parallel North and the Tropic of Capricorn. It is a high and low altitude crop but the highest yields are reported under high altitude conditions.

Maize is used for direct human consumption for the most part and this led the breeders to take account of the taste and cooking customs prevailing in each area where IRAT has been engaged in operations.

But recently the Political Authorities have become aware of the economic importance of this crop which can also be used for industry. This new situation results in some changes in the programmes of the Institute.

Maize growing has often been studied within the framework of existing or new cropping systems in which this demanding plant is one of the king pins when grown as a pure stand or in mixed culture. Lastly the species has very often been selected as a test plant to study tropical soil fertilization.

Thus maize appears in the inventory of IRAT research in almost all the countries where IRAT was led to work and the research workers of the Institute have investigated nearly all the various aspects of this crop.

After fifteen year activities it appeared interesting to collect the main IRAT publications on this plant. This document of one thousand pages in four parts presents ninety five texts which show the important contribution of IRAT to the development of maize growing in tropical areas and its capacity for cooperating in the formulation of research programmes for many tropical countries.

FASCICULE 1

TECHNIQUES CULTURALES
FERTILISATION - IRRIGATION

- BLONDEL (D.). — Contribution à l'étude de la croissance-matière sèche et de l'alimentation azotée des céréales de culture sèche au Sénégal. *L'Agron. Trop.*, 1971, 26 (6/7), 707-20.
- CHAROY (J.). — Les cultures irriguées au Niger. Résultats de sept années de mesures et d'expérimentations (1963-1970) à la Station expérimentale d'hydraulique agricole (SEHA) de Tarna dans le Goulbi de Maradi. *L'Agron. Trop.*, 1971, 26 (9), 979-1002.
- CHOPART (J.L.), NICOU (R.). — Influence du labour sur le développement racinaire de différentes plantes cultivées au Sénégal. Conséquences sur leur alimentation hydrique. *L'Agron. Trop.*, 1976, 31 (1), 7-28.
- DIATTA (S.). — Evolution sous culture des sols de plateau en Casamance continentale. Compte rendu de deux

années d'essais. *L'Agron. Trop.*, 1975, 30 (4), 344-53.

DUPONT DE DINECHIN (B.). — Contribution à l'étude des exportations du maïs et du sorgho en Haute-Volta. In : Colloque sur la fertilité des sols tropicaux, Tananarive, 19-25 novembre 1967. Tome I, pp. 528-43.

Fertilisation d'entretien dans le cadre de systèmes de culture. *L'Agron. Trop.*, 1975, 30 (2), 154-62 (Actes de la réunion des agronomes de l'IRAT, 8-12 juillet 1974).

IRAT. Division d'Agronomie. — Potentialités-production du maïs en zone tropicale. Résultats obtenus par l'IRAT. In : Séminaire Fondation Ford, IRAT, IITA sur les recherches relatives au maïs, Ibadan, Nigéria, 27 avril-1^{er} mai 1970, 6 p. mult.

IRAT/REUNION. — Comment obtenir de bons rendements en maïs à La Réunion. *C. Agr. Pr. Pays Chauds*, 1969, (4), 171-5.

PIERI (C.). — La fumure des céréales de culture sèche en République du Mali. Premier essai de synthèse. *L'Agron. Trop.*, 1973, 28 (8), 751-66.

TARDIEU (M.). — Intensification de la culture du maïs dans les zones ouest du Cameroun. *Bull. Rech. agron.*, Gembloux, 1972 (hors série), 296-9 (Semaine d'étude des problèmes intertropicaux, Gembloux, 11-15 septembre 1972).

TRAORE (M.F.). — Etude de la fumure minérale azotée intensive des céréales et du rôle spécifique de la matière organique dans la fertilité des sols au Mali. *L'Agron. Trop.*, 1974, 29 (5), 567-86.

VELLY (J.), ROCHE (P.). — Comparaison de quelques engrais phosphatés sur riz irrigué et sur maïs à Madagascar. *L'Agron. Trop.*, 1973, 28 (10), 946-56.

VELLY (J.), ROCHE (P.). — Arrière-action des fumures de redressement phosphatées sur divers types de sols à Madagascar. *L'Agron. Trop.*, 1974, 29 (5), 593-606.

FASCICULE 2

AMELIORATION VARIETALE

- ADAM (M.), CHEVREAU (P.). — Amélioration et développement de la culture du maïs dans la région des lacs de la Rift-Valley éthiopienne. In : l'IRAT et l'amélioration du maïs en zone tropicale. *L'Agron. Trop.*, 1976, 31 (3), 286-7.
- CHATEL (M.). — Aperçu sur la culture du maïs à Madagascar. In : l'IRAT et l'amélioration du maïs en zone tropicale. *L'Agron. Trop.*, 1976, 31 (3), 287-92.
- DADANT (R.). — Hybridation du maïs à La Réunion. In : Douze ans de recherches agronomiques à La Réunion. *L'Agron. Trop.*, 1974, 29 (11), 21.
- DUPONT DE DINECHIN (B.). — Le maïs en quête de nouvelles améliorations variétales. *Techniques et Développement*, 1972 (2), 28-33.
- DUPONT DE DINECHIN (B.). — Les objectifs qualitatifs de la sélection du maïs. *Techniques et Développement*, 1972 (3), 34-8.
- DUROVRAY (J.). — L'amélioration variétale du maïs à la station de Séfa au Sénégal. In : Séminaire Fondation Ford, IRAT, IITA, sur les recherches relatives au maïs, Ibadan, Nigéria, 27 avril-1^{er} mai 1970, 5 p. mult.

DUROVRAY (J.). — L'amélioration variétale du maïs au Sénégal. In : l'IRAT et l'amélioration du maïs en zone tropicale. *L'Agron. Trop.*, 1976, 31 (3), 259-64.

GUILLOTEAU (S.). — La sélection du maïs à Madagascar. Orientation des programmes. Schémas de sélection. Rendements obtenus. In : Séminaire Fondation Ford, IRAT, IITA, sur les recherches relatives au maïs, Ibadan, Nigéria, 27 avril-1^{er} mai 1970, 4 p. mult.

JACQUOT (M.). — Amélioration du maïs à la station IRAT, Séfa, Casamance, Sénégal. *African Soils/Sols africains*, 1966, 11 (1/2) : 291-8. (Première conférence sur le sorgho, le millet et le maïs tenue dans le cadre du projet conjoint OAU/STRC n° 26, Zaria, Nigéria, 3-9 octobre 1965.)

JACQUOT (M.). — *Maize improvement at the IRAT station, Séfa, Casamance, Senegal. African Soils/Sols africains*, 1966, 11 (1/2), 299-306. (First sorghum-millet-maize conference sponsored by OAU/STRC joint project 26, Zaria, Nigeria, 3-9 October 1965.)

JACQUOT (M.). — Etat d'avancement des travaux de sélection du maïs à la station IRAT de Séfa en Casamance, Sénégal. *African Soils/Sols africains*, 1967 (2/3), 219-23.

JACQUOT (M.). — *Progress report on the work of maize selection at the IRAT station of Séfa in Casamance, Senegal. African Soils/Sols africains*, 1967 (2/3), 225-9.

JACQUOT (M.). — Amélioration variétale du maïs en Casamance (Sénégal). *L'Agron. Trop.*, 1970, 25 (1), 28-43.

LE CONTE (J.). — Considérations générales et quelques résultats concernant la sélection génétique de populations de maïs par des méthodes non généalogiques. *L'Agron. Trop.*, 1964, 19 (4), 322-7.

LE CONTE (J.). — Les travaux dans le domaine de l'amélioration du maïs. *L'Agron. Trop.*, 1965, 20 (10), 981-6. (Cinq années d'activité IRAT, 1960-1965.)

LE CONTE (J.). — Sélection d'un maïs blanc du Dahomey : le Niaouli 7. *African Soils/Sols africains*, 1966, 11 (1/2), 249-54. (Première conférence sur le sorgho, le millet et le maïs tenue dans le cadre du Projet conjoint OAU/STRC, n° 26, Zaria, Nigéria, 3-9 octobre 1965.)

LE CONTE (J.). — *Breeding of white Dahomey maize : Niaouli 7. African Soils/Sols africains*, 1966, 11 (1/2), 255-60. (First sorghum-millet-maize conference sponsored by OAU/STRC joint project 26, Zaria, Nigeria, 3-9 October 1965.)

- LE CONTE (J.). — Travaux sur la sélection du maïs menés par l'IRAT. Historique et quelques résultats récents. In : Séminaire Fondation Ford, IRAT, IITA sur les recherches relatives au maïs, Ibadan, Nigéria, 27 avril-1^{er} mai 1970, 14 p. mult.
- LE CONTE (J.). — Glossaire de l'amélioration génétique du maïs. *Maize breeding glossary. Glosario de mejoramiento genético del maíz*. Avec index trilingues de correspondance des termes. Paris, IRAT (1974), 21 cm, 99 p. (*L'Agron. Trop.*, 1973, 28 (5), 576-88, 28 (10), 963-85.)
- LE CONTE (J.). — Les composites et leur application au maïs. *L'Agron. Trop.*, 1974, 29 (6/7), 715-23. (Réunion des sélectionneurs de l'IRAT, Bouaké, Côte-d'Ivoire, novembre 1973.)
- LE CONTE (J.). — Sélection du maïs en République du Bénin (1965 environ à 1975 compris). In : l'IRAT et l'amélioration du maïs en zone tropicale. *L'Agron. Trop.*, 1976, 31 (3), 278-84.
- LE CONTE (J.). — L'IRAT et l'amélioration du maïs en zone tropicale. Considérations finales. *L'Agron. Trop.*, 1976, 31 (3), 293-7.
- LOYNET (G.). — Le maïs à La Réunion. In : l'IRAT et l'amélioration du maïs en zone tropicale. *L'Agron. Trop.*, 1976, 31 (3), 292-3.
- MARCHAND (J.L.). — Synthèse des travaux d'amélioration variétale du maïs en Côte-d'Ivoire (1968-1975). In : l'IRAT et l'amélioration du maïs en zone tropicale. *L'Agron. Trop.*, 1976, 31 (3), 272-7.
- PRAQUIN (J.Y.). — L'amélioration du maïs au Cameroun. In : l'IRAT et l'amélioration du maïs en zone tropicale. *L'Agron. Trop.*, 1976, 31 (3), 284-5.
- ROBLEDO (C.). — Synthèse sur l'amélioration du maïs en Haute-Volta. In : l'IRAT et l'amélioration du maïs en zone tropicale. *L'Agron. Trop.*, 1976, 31 (3), 267-72.
- SAPIN (P.). — L'amélioration du maïs au Mali. In : l'IRAT et l'amélioration du maïs en zone tropicale. *L'Agron. Trop.*, 1976, 31 (3), 265-7.
- TARDIEU (M.), PRAQUIN (J.Y.). — L'amélioration du maïs au Cameroun. *African Soils/Sols africains*, 1970, 15 (1/3), 45-58. (Colloque OAU/STRC sur les céréales en Afrique, Zaria, Nigéria, octobre 1969.)
- TARDIEU (M.), PRAQUIN (J.Y.). — *Improvement of maize in the Cameroon. African Soils/Sols africains*, 1970, 15 (1/3), 59-68. (Conférence OAU/STRC on production of cereal crops in Africa, Zaria, Nigeria, October 1969).
- TARDIEU (M.), PRAQUIN (J.Y.). — L'amélioration du maïs dans les zones d'altitude du Cameroun. *L'Agron. Trop.*, 1972, 27 (4), 473-87.
- TARDIEU (M.). — L'IRAT et l'amélioration du maïs en zone tropicale. Introduction. *L'Agron. Trop.*, 1976, 31 (3), 258-9.
- WEIL (J.), NGOC QUOI (N.). — Etude statistique de la stabilité du rendement de 56 variétés de maïs expérimentées en Côte-d'Ivoire. *L'Agron. Trop.*, 1974, 29 (10), 1029-34. (Réunion des sélectionneurs de l'IRAT, Bouaké, Côte-d'Ivoire, novembre 1973.)

PRODUCTION SEMENCIERE

- BONO (M.). — Informations, données pratiques et propositions en vue du contrôle de la production de semences sélectionnées de : maïs, mil pénicillaire, sorgho, riz, blé, arachide, niébé (*Vigna unguiculata*). *L'Agron. Trop.*, 1974, 29 (1), 43-96.

FASCICULE 3

- MALADIES - INSECTES
MAUVAISES HERBES
- APPERT (J.). — Les chenilles mineuses des céréales en Afrique tropicale. *L'Agron. Trop.*, 1964, 19 (1), 60-74.
- APPERT (J.), RANAIVOSOA (H.). — Un nouveau succès de la lutte biologique à Madagascar : contrôle des foreurs de la tige de maïs par un parasite introduit : *Pediobius fuvvus*, Gahan. (Hym. Eulophidae). *L'Agron. Trop.*, 1971, 26 (3), 327-31.
- APPERT (J.). — Les insectes nuisibles au maïs en Afrique et à Madagascar. *L'Agron. Trop.*, 1971, 26 (4), 476-99.
- APPERT (J.). — Les lépidoptères foreurs des graminées à Madagascar, aux Comores et aux Mascareignes. *L'Agron. Trop.*, 1971, 26 (4), 500-8.
- BRENIERE (J.). — Les foreurs des céréales tropicales en Afrique de l'Ouest. In : Séminaire Fondation Ford, IRAT, IITA sur la protection des cultures vivrières, Ibadan, Nigéria, 24-28 mai 1971, 16 p. mult.
- BRENIERE (J.). — Les problèmes des lépidoptères foreurs des graminées en Afrique de l'Ouest. *Ann. Zool.-Ecol. anim.*, 1971, 3 (3), 287-96.
- BRENIERE (J.). — La résistance variétale aux insectes en Afrique. Cas des mils, sorghos et maïs. In : Conférence OAU/STRC (PC 26) sur la sélection pour la résistance des céréales aux maladies et aux insectes, Ibadan, Nigéria, 1-5 juillet 1974, 13 p. mult.
- DADANT (R.), ETIENNE (J.). — Les insectes et les maladies du maïs à La Réunion. *Rev. agr. suc.*, Ile Maurice, 1973, 52 (4), 194-7. (Congrès de l'Association Réunionnaise pour le Développement de la Technologie Agricole et Sucrière, ARTAS, Saint-Denis, 15-20 octobre 1973.)
- DELASSUS (M.). — Principales maladies du maïs dans l'Ouest-Cameroun. *L'Agron. Trop.*, 1968, 23 (4), 429-34.
- DELASSUS (M.). — Problèmes phytosanitaires rencontrés et étudiés sur le maïs dans quelques pays de l'Afrique tropicale francophone. In : Séminaire Fondation Ford, IRAT, IITA sur les recherches relatives au maïs, Ibadan, Nigéria, 27 avril-1^{er} mai 1970, 10 p. mult.
- DELASSUS (M.). — Résistance des céréales aux maladies. Cas du maïs, du sorgho et du mil dans l'Ouest Africain. In : Conférence OAU/STRC (PC 26) sur la sélection pour la résistance des céréales aux maladies et aux insectes, Ibadan, Nigéria, 1-5 juillet 1974, 8 p. mult.
- DELASSUS (M.). — *Resistance of maize, sorghum and millet to diseases in West Africa*. In : OAU/STRC (PC 26) cereal crop research conference on breeding for disease and insect resistance in cereals, Ibadan, Nigeria, 1-5 July 1974, 5 p. mult.
- ETIENNE (J.), RAT (B.). — Le stripe : une maladie importante du maïs à La Réunion. *L'Agron. Trop.*, 1973, 28 (1), 11-7.
- ETIENNE (J.). — Lutte biologique et aperçu sur les études entomologiques diverses effectuées ces dernières années à La Réunion. *L'Agron. Trop.*, 1973, 28 (6/7), 683-7. (Communication présentée au deuxième Colloque de la SEPANRIT, Paris, 6-8 décembre 1972.)
- JAN (P.). — Problèmes posés par le désherbage des cultures de maïs, de mil et de sorgho. *L'Agron. Trop.*, 1972, 27 (2), 236-8.
- LE CONTE (J.). — Contribution à l'étude génétique de la résistance du maïs à la rouille (*Puccinia polysora*)

et résultats pratiques obtenus au Dahomey. *Riz et Riziculture*, 1959 (2^e et 3^e trim.), 98-116.

LE CONTE (J.). — Résistance et tolérance du maïs vis-à-vis de la rouille américaine (*Puccinia polysora*), leur incidence sur les rendements et leurs conséquences sur le plan de la vulgarisation semencière. *L'Agron. Trop.*, 1964, 19 (4), 318-21.

LE CONTE (J.). — La virose du maïs au Dahomey. *L'Agron. Trop.*, 1974, 29 (8), 831-2.

CONSERVATION - STOCKAGE

DELASSUS (M.), POINTEL (J.G.). — Résultats des travaux et des recherches réalisés par l'IRAT en Afrique sur la conservation des stocks de produits vivriers. *L'Agron. Trop.*, 1970, 25 (10/11), 945-51.

DELASSUS (M.). — Action des micro-organismes sur les denrées et méthodes de lutte. In : Séminaire Fondation Ford, IRAT, IITA sur le stockage des grains en milieu tropical humide, Ibadan, Nigéria, 26-30 juillet 1971, 10 p. mult.

DELASSUS (M.). — *Microorganic activity in foodstuffs and methods of*

control. In : *Seminar Ford Foundation, IRAT, IITA on grain storage in the humid tropics, Ibadan, Nigeria, 26-30 July 1971, 19 p. mult.*

DEUSE (J.), POINTEL (J.G.). — Bilan des recherches sur la conservation des stocks de produits vivriers en milieu rural en Afrique francophone. In : *First international working conference on stored product entomology, Savannah, Georgia, USA, October 1974, 14 p. mult.*

DEUSE (J.), POINTEL (J.G.). — *Assessment of research on protection of food produce stored in the rural environment in french-speaking Africa*. In : *First international working conference on stored product entomology, Savannah, Georgia, USA, October 1974, 8 p. mult.*

IRAT. Service de Coordination et d'étude. — Séchoirs artisanaux. *C. Agr. Pr. Pays Chauds*, 1967 (4), 227-34.

IRAT-REUNION. — Le crib. Moyen de conservation et stockage du maïs en épis à La Réunion. *C. Agr. Pr. Pays Chauds*, 1967 (3), 171-5.

LE CONTE (J.), ASSOGBA BOSSOU (C.). — Le problème de la conservation du maïs en épis dans le Sud-Dahomey. Etude du développement

de l'attaque par *Sitophilus oryzae* en champ et en magasin. *L'Agron. Trop.*, 1963, 18 (10), 969-84.

LE CONTE (J.). — Marche de l'infestation par *Sitophilus oryzae* dans les silos à maïs du Sud-Dahomey. In : *Congrès de la protection des cultures tropicales*. Compte rendu des travaux. Chambre de Commerce et d'Industrie de Marseille, 23-27 mars 1965, pp. 69-75.

LE CONTE (J.). — La conservation par poudrage du maïs en silos paysans dans le Sud du Dahomey. In : *Congrès de la protection des cultures tropicales*. Compte rendu des travaux. Chambre de Commerce et d'Industrie de Marseille, 23-27 mars 1965, pp. 77-80.

LEPIGRE (A.L.), POINTEL (J.G.). — *Protection of maize stored in traditional togolese granaries*. *Trop. stored Prod. Inf.*, 1971 (21), 7-12.

POINTEL (J.G.). — Contribution à la conservation du niébé, du voandzou, du maïs, des arachides et du sorgho. *L'Agron. Trop.*, 1968, 23 (9), 982-6.

POINTEL (J.G.). — Essai et enquête sur greniers à maïs togolais. *L'Agron. Trop.*, 1969, 24 (8), 709-18.

FASCICULE 4

ETUDES ECONOMIQUES

BADINAND (B.), DUPONT DE DINECHIN (B.). — Le maïs, troisième céréale mondiale. *Techniques et développement*, 1972 (1), 28-33.

IRAT. Direction technique. — Aspects historiques et économiques de la production du maïs grain. *C. Agr. Pr. Pays Chauds*, 1971 (4), 221-30.

IRAT. Service des Etudes Economiques. — Les céréales en Afrique. Situation statistique actuelle et perspectives de développement. *L'Agron. Trop.*, 1968, 23 (8), 878-910.

RECHERCHE

ET DEVELOPPEMENT DE LA PRODUCTION DANS QUELQUES ETATS AFRICAINS

LE CONTE (J.). — *Maize culture in french-speaking West Africa*. In : *Proceedings of the first maize workshop, el Batan, Mexico, September 1971, pp. 43-5.*

ROUANET (G.). — Contribution de l'IRAT à la recherche et au développement de la production maïsicole dans les zones d'altitude d'Afrique et de Madagascar. In : *Séminaire sur les politiques d'amélioration et d'expansion de la culture du maïs en Afrique, Addis-Abeba, Ethiopie, 24-28 novembre 1975, 19 p. mult.*

ROUANET (G.). — *IRAT contribution to research and the development of maize production in the high altitude areas of Africa and Madagascar*. In : *Seminar on policies for improving and expanding maize production in Africa, Addis-Abeba, Ethiopia, 24-28 November 1975, 22 p. mult.*

SENE (D.). — Les céréales de culture sèche dans les pays d'Afrique où s'exerce l'action de l'IRAT. *L'Agron. Trop.*, 1970, 25 (10/11), 915-31.

Au Bénin :

HASLE (H.). — Les cultures vivrières au Dahomey. *L'Agron. Trop.*, 1965, 20 (8), 725-46.

LE CONTE (J.). — Notice succincte sur le maïs au Dahomey. *African Soils/Sols africains*, 1967, 12 (2/3), 179-87.

LE CONTE (J.). — *Brief report on maize in Dahomey*. *African Soils/Sols africains*, 1967, 12 (2/3), 189-97.

En Ethiopie :

CHEVREAU (B.), ADAM (M.), BORDEIRON (A.). — Amélioration et développement de la culture du maïs dans la région des lacs de la Rift-Valley éthiopienne. In : *Séminaire sur les politiques d'amélioration et d'expansion de la culture du maïs en Afrique, Addis-Abeba, 24-28 novembre 1975, 22 p. mult.*

ROUANET (G.), HIRUY (B.). — *Maize research in Ethiopia, with special reference to adaptability*. In : *Fourth eastern african cereals research conference, Addis-Abeba, Ethiopia, October 17-23, 1971, 10 p. mult.*

ROUANET (G.). — La station agronomique d'Awassa : une recherche sur mesure au service du développement. *Techniques et développement*, 1972 (4), 10-17.

Au Mali :

BONO (M.). — Le maïs. Perspectives. Résultats. *African Soils/Sols africains*, 1970, 15 (1/3), 215-8. (Colloque OAU/STRC sur les céréales en Afrique, Zaria, Nigéria, octobre 1969.)

BONO (M.). — *Maize. Prospects. Results. African Soils/Sols africains*, 1970, 15 (1/3), 219-22. (Conference OAU/STRC on production of cereal crops in Africa, Zaria, Nigeria, October 1969.)

Au Sénégal :

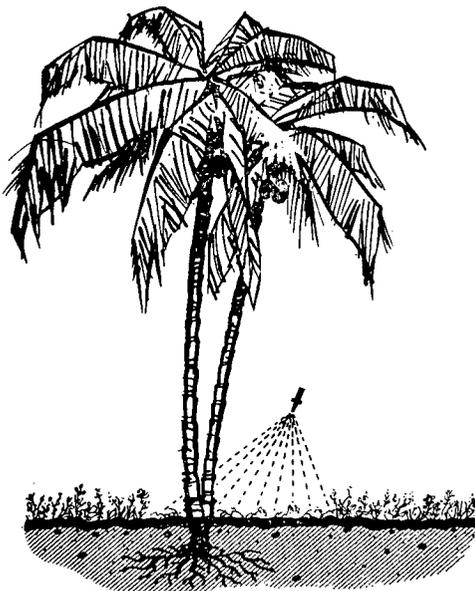
SENE (D.). — La production des mils, sorghos et maïs dans la République du Sénégal. *African Soils/Sols africains*, 1966, 11 (1/2), 277-83. (Première conférence sur le sorgho, le millet et le maïs tenue dans le cadre du Projet conjoint OAU/STRC n° 26, Zaria, Nigéria, 3-9 octobre 1965.)

SENE (D.). — *Production of millets, sorghums and maize in the Republic of Senegal. African Soils/Sols ari-*

cains, 1966, 11 (1/2), 285-90. (First sorghum - millet - maize conference sponsored by OAU/STRC joint project 26, Zaria, Nigeria, 3-9 October 1965.)

Au Togo :

DELCASSO (C.). — Note succincte sur le maïs au Togo. *African Soils/Sols africains*, 1970, 15 (1/3), 597-605. (Colloque OAU/STRC sur les céréales en Afrique, Zaria, Nigéria, octobre 1969.)



le sarclage chimique
des cultures tropicales
s'effectue en toute sécurité

avec

GRAMOXONE[®] 2

(PARAQUAT)

en simple pulvérisation

® marque déposée par I.C.I. Plant Protection Limited



Sopra

8, avenue Réaumur, 92140 Clamart
tél. : 630.23.30

DOCUMENTATION

I. OUVRAGES ET DOCUMENTS GENERAUX

32-6

BRENIERE (J.). — **Principaux ennemis du riz en Afrique de l'Ouest et leur contrôle.** Brochure 21 × 14,5 cm, 52 p., bibl., fig. Editée par l'Association pour le Développement de la Riziculture en Afrique de l'Ouest (ADRAO), Monrovia, 1976.

Cette élégante brochure renferme la description d'une vingtaine d'espèces d'insectes ennemis du riz avec, pour chacune, la notation précise des dégâts correspondants, des indications sur les moyens de lutte ainsi que la liste des Etats d'Afrique où elle a été signalée.

Chaque description d'espèce est complétée par des photos en nombre variable, le plus souvent 3 ou 4, permettant de se faire une idée très précise des dégâts causés et de la morphologie des divers stades de l'insecte, de l'œuf à l'adulte.

Ces illustrations, presque toujours en couleurs, sont remarquables par leur qualité intrinsèque et leur bon rendu à l'impression.

Le texte concis, mais clair, permet à un lecteur non spécialement formé aux disciplines entomologiques de s'orienter dans le monde complexe décrit par l'auteur et d'arriver, dans la plupart des cas, à la détermination de l'insecte en s'aidant de l'illustration très utile dans un ouvrage de cette catégorie.

Le format et la faible épaisseur de la brochure en permettent une utilisation facile sur le terrain et constituent donc une raison supplémentaire de succès auprès des vulgarisateurs et des agronomes, ce qui ne veut pas dire, d'ailleurs, que ce petit livre doit être dédaigné par les chercheurs.

Il faut, d'ailleurs, signaler en terminant qu'il existe également une édition anglaise de cette publication, ce qui lui permettra d'être apprécié dans toutes les régions rizicoles de l'Afrique de l'Ouest et donc de connaître le grand succès que méritent sa conception et sa réalisation.

M. B.

32-7

KASSAM (A.H.). — **Crops of the West african semi arid tropics** (Cultures de la zone tropicale semi-aride de l'Afrique occidentale). 1 vol. 21 × 26,5, 154 p., broché, bibl. (ICRISAT [International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics]), Hyderabad, 1976.

Ce manuel, relativement sommaire, vise surtout à rassembler à l'usage des chercheurs appelés à travailler en Afrique de l'Ouest, les renseignements indispensables sur les cultures importantes de la zone dite semi-aride et aussi sur quelques cultures d'importance moindre, comme nous le verrons plus loin. Il s'agit donc d'une compilation appuyée sur des références bibliographiques, en général postérieures à 1960 et nombreuses (plus de 350), mais réali-

sée par un agronome ayant travaillé en Afrique et connaissant donc, de première main, la zone étudiée. La rédaction des fiches par culture en est heureusement influencée. Ces fiches sont toutes bâties sur le même plan :

- introduction,
- écologie,
- techniques culturales,
- maladies et ennemis.

Dans la rubrique écologie, outre ce que l'on trouve normalement sous ce titre, figurent des indications plus générales sur l'état actuel de la culture considérée, sa vogue auprès des populations, son avenir, etc., et parfois même, des indications statistiques.

Sont passés en revue successivement :

1° Les céréales : sorgho, mil, maïs, riz, blé.

2° Les légumineuses : Vigna (niébé), arachide, soja.

3° Les racines et tubercules : manioc, igname, patate douce, taro (*Colocasia*) macabo (*Xanthosoma*), pomme de terre.

4° Les légumes : tomate, oignon, piment et gombo.

5° Les plantes à fibre : cotonnier, kenaf (*Hibiscus cannabinus*) (*H. sabdariffa*).

6° Les plantes industrielles : sesame, tabac, canne à sucre.

Etant donné le faible nombre de pages réservées à chaque culture (de 2 à 8), les indications restent succinctes, en particulier pour tout ce qui n'est pas céréale, mais les références données permettent de compléter cette information de base si on le désire. L'auteur a retenu, dans sa bibliographie, un nombre non négligeable de références ayant trait à des travaux réalisés en des pays francophones ; le fait est assez rare chez un auteur anglophone pour qu'il mérite d'être souligné.

M. B.

32-8

AUTEURS MULTIPLES. — **Dictionnaire d'agriculture et des sciences annexes.** Index anglais et espagnol, broché 24,5 × 16, 231 p. ill. Agence de coopération culturelle et technique, ISBN, 2.85319-031-5, Paris, 1977.

Les dictionnaires d'agriculture multilingues ne sont pas très nombreux, mais enfin il en existe, soit généraux, soit spécialisés (machinisme agricole, élevage, etc.) qui sont connus et utilisés. Au fil des rééditions, les éditeurs s'efforcent de les remettre à jour et de les augmenter. En général, il s'agit d'ouvrages volumineux, d'un maniement pas toujours aisé, mais qui donnent à peu près satisfaction à leurs utilisateurs, spécialistes de la documentation agricole, leurs principaux, sinon seuls lecteurs.

Dans cette situation, c'est un peu une sorte de gageure que l'Association de

Coopération Culturelle et Technique a tentée en publiant ce Dictionnaire d'Agriculture Multilingue d'un peu plus de deux cents pages seulement et destiné à un large public. Mais certaines caractéristiques originales de conception et de réalisation, confèrent à l'ouvrage une place particulière parmi les autres déjà existants de même nature, qu'il n'a d'ailleurs pas l'ambition de supplanter, comme on peut le voir en lisant l'avant-propos de l'ouvrage, lecture indispensable pour bien en saisir l'esprit et le style. La rédaction, en effet, est le fruit du travail d'un groupe d'une vingtaine de spécialistes se réunissant à intervalles réguliers de 1973 à 1976, sous la présidence de M. R. BLAIS, ancien directeur de l'Institut National Agronomique. Ce groupe a délimité lui-même son domaine d'activité, tâche qui a sans doute été la plus difficile et la plus délicate.

Répertoire « le vocabulaire de l'agriculteur de notre temps » en trois mille entrées n'a pu se faire en effet, qu'au prix de multiples éliminations et restrictions dont le préfacier donne la liste détaillée.

Tout d'abord, on n'y trouve pas les termes agricoles les plus courants qui se trouvent dans les dictionnaires généraux. En fait et heureusement, cette proposition n'est pas complètement respectée, puisque (cités pêle-mêle) des termes tels que « charrue, labour, monoculture, tige » etc., figurent dans le texte.

Les noms des végétaux cultivés figurent en fin d'ouvrage avec leur nom scientifique latin.

Pour alléger l'ouvrage, les dérivés d'un terme figurant en entrée, ne sont pas non plus, en général, indiqués. On trouve par exemple stolon, mais pas stolonifère (mais en revanche « chancreux » accompagne « chancre ») ; les mots dialectaux ou locaux n'ont pas été retenus non plus, sauf très rares exceptions. Il s'agit donc d'un dictionnaire sélectif et, de plus, d'une œuvre collégiale qu'il est difficile d'apprécier suivant les critères usuels en la matière et il convient à cet égard, comme nous y invite le préfacier, de la « considérer comme un essai » que les usagers devront perfectionner, étant invités « à apporter leur participation en faisant connaître les lacunes qu'ils souhaiteraient voir combler ».

Avant d'en arriver là et de noter les imperfections que l'on peut toujours trouver dans un travail de ce genre, il nous faut voir ce qu'il apporte à ses lecteurs.

Il apporte tout d'abord, et c'est là son grand mérite, un grand agrément de lecture dû à la rédaction succincte et précise de chaque article, au choix des caractères et à la composition typographique en général, au système très pratique de repérage des articles, indiqués dans les index par le numéro de page, la colonne (d ou g) et la ligne, celles-ci étant indiquées de 5 en 5, de 5 à 75 pour chaque page et, enfin, à l'illustration.

Les illustrations sont, soit des gravures sur bois reproduites d'un très vénérable traité d'agriculture du XIII^e siècle, soit des culs-de-lampe d'un ouvrage sur l'élevage ovin du XVI^e siècle. Ces images, toujours gracieuses sont, pour certaines d'entre elles, étonnantes de précision (voir par exemple, les manipulations de tonneaux, p. 117), ou de fantaisie (le labour avec une charrue attelée d'un éléphant, p. 97) ; elles aèrent d'une façon très plaisante un texte qui, répétons-le, tant par son style que par sa présentation, n'est aucunement rébarbatif malgré son sérieux.

L'usager de ce dictionnaire d'agriculture n'y trouvera certes pas tous les termes se rapportant à l'agriculture, et il en est d'ailleurs dûment prévenu, mais il y trouvera certainement à peu près tous les termes (et quelques autres !) dont il peut avoir besoin dans sa vie d'étudiant en agronomie, d'agriculteur, d'horticulteur, d'éleveur, de forestier, ou même simplement d'amateur ayant le goût de la précision et des mots.

En outre, il aura, en prime, toujours plaisir à feuilleter, à chercher, à lire et aussi (puisque tel est le souhait des auteurs), à repérer les lacunes de cet ouvrage, les défauts de traduction et à méditer aussi sur les raisons sans doute impérieuses, mais peu évidentes, qui ont poussé le groupe de travail à y faire entrer des termes aussi rares que « zadruga », « épiochon » ou même « zain »...

M. B.

32-9

RUTHENBERG (Hans). — **Farming Systems in the Tropics.** Systèmes de production agricole sous les tropiques. Broché, 23 × 15,5, 366 p., bibl., index, tabl., fig. ISBN 0 19 859 461 S Clarendon Press, Oxford, 2^e édition, Oxford, 1977.

Après une citation de Clifford GEERTZ « Recherchez la complexité et ordonnez-la », L'A expose les intentions de cette deuxième édition, profondément modifiée, de « Farming Systems in the Tropics ».

Elle est destinée aux étudiants et aux agronomes de développement ; la théorie des systèmes a été plus systématiquement utilisée, plus de place a été faite sur le développement possible des différents systèmes de productivité. Le sujet a été considéré dans ses aspects agro-économiques en mettant l'accent sur les interactions entre les techniques et l'économie des unités de production et en limitant les informations sur le milieu physique et les facteurs institutionnels.

Plusieurs co-auteurs ont participé à la rédaction de cet ouvrage.

Après une introduction sur le milieu tropical, les systèmes de productions agricoles et la classification de ces systèmes, l'A traite : des caractéristiques générales des systèmes de production en milieu tropical, de l'agriculture itinérante, des systèmes à jachères, des systèmes avec fourrages, des systèmes permanents en culture pluviale, des systèmes irrigués, des systèmes avec plantes pérennes et des systèmes d'élevage sur pâturages.

En conclusion, l'A indique les tendances d'évolution des systèmes, au départ itinérant, pour les différentes situations écologiques. La tendance générale est l'intensification et le caractère de plus en plus permanent de l'agriculture.

Cet ouvrage, très documenté, contient une masse considérable d'informations et de données qui seront précieuses à tous ceux qui s'intéressent à l'agriculture tropicale.

P. S.

32-10

SCHNELL (R.). — **Introduction à la phytogéographie des pays tropicaux. La flore et la végétation de l'Afrique tropicale.** Relié, 24,5 × 16 cm, Gauthier-Villars, Bordas édit., Paris 1977.

— Tome 3, 481 p., fig., tabl. ISBN 2-04-006053-7.

— tome 4, 378 p., fig., tabl., biblio., 15 BN 2-04-006183-5.

(Collection internationale, Géobiologie, Ecologie, Aménagement.)

Le Pr R. SCHNELL, six années après la parution des deux premiers tomes (traitant les problèmes généraux) de son monumental ouvrage sur la phytogéographie des pays tropicaux, nous donne maintenant deux tomes traitant de la flore et de la végétation de l'Afrique tropicale.

Le tome 3 comporte les dix chapitres suivants :

- I. Généralités ;
- II. L'ensemble phytogéographique afro-tropical ;
- III. Les flores de l'Afrique tropicale ;
- IV. L'histoire des flores tropicales africaines.
- V. La région guinéenne : la forêt dense tropicale humide ;
- VI. Les savanes de la région guinéenne ;
- VII. Les forêts sèches de l'Afrique tropicale ;
- VIII. La zone soudanienne ;
- IX. La zone sahélienne ;
- X. La partie sud de l'Afrique tropicale : la portion australe de la région soudano-zambézienne et les territoires phytogéographiques qui la bordent.

Le tome 4 :

- XI. La flore et la végétation du Sahara ;
- XII. La région aride du Namib et du Karoo ;
- XIII. L'Afrique du Sud : la région du Cap ;
- XIV. Végétation et flore des hautes montagnes d'Afrique orientale et occidentale ;
- XV. Les massifs montagneux de moyenne altitude de l'Ouest et du Centre-Ouest africains et leurs groupements végétaux ;
- XVI. Les massifs montagneux centro-orientaux du domaine sahélien et du domaine soudanien ;
- XVII. La végétation aquatique et marécageuse de l'Afrique tropicale ;
- XVIII. La végétation côtière de l'Afrique tropicale ;
- XIX. Les îles atlantiques macaronésiennes ;
- XX. Conclusions sur la flore et la végétation de l'Afrique tropicale.

Il s'agit, on le voit, d'une étude complète des grandes unités phytogéographiques de l'Afrique tropicale. Madagascar ne figure pas au nombre de celles-ci et fera l'objet dans l'avenir d'une étude séparée, amplement justifiée par les particularités géographiques de l'île et l'endémisme de sa flore.

En moins de mille pages, l'A. a réuni et traité une masse considérable de renseignements et d'informations présentés d'une façon claire, avec de nombreuses photos et illustrations.

L'utilisation de ce manuel est rendue facile par les deux index placés en fin du tome 4, soit :

- d'abord un index des genres, espèces et groupes végétaux cités dans le corps du texte,
- et ensuite, un index général.

Les illustrations font l'objet de deux tables distinctes en fin de chaque tome.

La bibliographie est très copieuse puisqu'elle prend 70 pages du tome 4 et renferme plus de 1.000 références. Son importance correspond bien au caractère « ouvrage de référence » de l'œuvre de M. SCHNELL.

Ce livre, conçu à l'origine comme un élargissement d'un cours magistral universitaire, sera fréquemment consulté par tous ceux qui, ayant à travailler ou simplement à vivre dans une région donnée du continent africain, voudront avoir des informations précises et documentées sur celle-ci.

Il convient de rappeler, toutefois, qu'il s'agit là d'un ouvrage scientifique et non de vulgarisation et que son utilisation fructueuse nécessite un certain niveau de connaissances, en particulier en botanique et floristique africaines.

L'A., dans le chapitre I (Généralités) et tout au long du texte (par des notes infrapaginales), s'efforce de faciliter la tâche du lecteur par le rappel de certaines notions ou par des précisions sur certains termes ; il n'en reste pas moins que seule une lecture attentive préalable des tomes 1 et 2 permettra d'utiliser, au mieux, les deux tomes suivants.

On trouvera, en fin du tome 4, un appendice d'une dizaine de pages qui témoigne du souci de l'A. de présenter un ouvrage bien à jour au moment de sa mise à disposition du public.

En effet, cet appendice rassemble des notes d'un esprit différent de celles situées en bas de page, mentionnées plus haut. Il s'agit en général de problèmes de systématique, de synonymie d'espèces ou, plus rarement, de l'action de l'homme sur la végétation.

La présentation de ces deux tomes est agréable et soignée, tant sur le plan de la qualité des photos et des dessins que sur celui de la typographie. Etant donné les difficultés de composition d'un texte où abondent les mots latins et les termes scientifiques, on doit féliciter les éditeurs et les imprimeurs pour leur prouesse.

Les ouvrages généraux de phytogéographie tropicale de langue française, et plus spécialement ceux consacrés à l'Afrique (comme ceux de CHEVALIER, ROBYNS, LEBRUN, MONOD, AUBREVILLE) justement renommés à l'époque de leur parution, commencent à dater et ne rendent pas compte des connaissances acquises au cours du troisième quart de ce siècle.

L'ouvrage de SCHNELL s'inscrit dans cette lignée et montre la vitalité de la recherche et l'enseignement universitaire français dans ce domaine.

M. B.

II. BIBLIOGRAPHIE ANALYTIQUE

C) Conservation des stocks

Extrait de Tropical Storage abstracts, n° 4, 1975

32-11

ANON, 1975. — **FAO/WHO pesticides residue tolerances for food grains.** (Tolérances FAO/OMS pour les résidus de pesticides dans les grains). *Pesticides*, India, 9 (2), 33-4, tabl.

La liste des tolérances de résidus recommandées par le Groupe de Travail des Experts de la FAO sur les résidus de pesticides et la Commission des Experts de l'OMS sur les résidus de pesticides est présentée. Des détails sont donnés sur le nom des pesticides, l'ingestion journalière maximum possible (mg/kg poids du corps), la tolérance, auxquels s'ajoutent des remarques spécifiques.

32-12

ANON, 1975. — **Tropical crop processing, drying and storage equipment.** (Matériel pour la transformation, le séchage et le stockage des cultures tropicales). *Wild Crops*, 27 (5), 207-9, 211-4, 216.

Les noms et adresses des fournisseurs de matériel adapté aux climats chauds sont cités. Quelques informations détaillées sur les types de matériel disponibles sont données telles que le taux de transformation, les besoins en énergie, la capacité. Les machines mentionnées comprennent des batteuses, des dépelpeurs de café, des décortiqueurs, des séparateurs, des départeurs de café, des glaceuses de riz et du matériel d'usinage, des égreneuses à maïs, des séchoirs pour les récoltes. De brèves notes sont présentées sur un certain nombre de silos pour les récoltes et les aliments du bétail.

32-13

BANDYOPADHYAN (M.K.), 1975. — **Studies on the hermetic storage of paddy for the control of *Sitotroga cerealella* (Lepidoptera : Gelechiidae).** (Etudes sur le stockage hermétique du riz pour lutter contre *Sitotroga cerealella* (Lépidoptère : Gelechiidae). Ph. D. Thesis, Indian agric. Res. Inst., Ent. Newsl., India, 5 (2), 9-10, (résumé seul).

L'auteur décrit des recherches effectuées en laboratoire sur la sensibilité de jeunes larves de *S. cerealella* au stockage hermétique et l'effet de ce stockage sur le paddy et les champignons s'attaquant à ce produit. Du paddy à une teneur en eau de 14, 16 et 18% a été conservé à 25, 30 et 35°C. Les œufs n'ont pas été détruits à 15% de teneur en eau et moins, mais 100% de mortalité a été enregistrée dans le paddy à 18% d'humidité stocké à 30-35°C, lorsque la teneur en oxygène est tombée à 0,6%. Les larves au pre-

mier stade ont été détruites dans le paddy à 14% de teneur en eau, lorsque la concentration en oxygène est tombée à 3%, alors que dans le grain à 16 et 18%, il n'y a pas eu mortalité avant que le taux d'oxygène ne se soit abaissé à 0,24%. Les larves au quatrième stade et les nymphes ont été tuées dans toutes les conditions lorsque la concentration en oxygène est tombée à 0,21%. La sensibilité relative au stockage hermétique a été dans l'ordre décroissant suivant : larve au premier stade, larve au quatrième stade, nymphes. Autre facteur affectant la mortalité en conditions de stockage hermétique : la dessiccation. Les détériorations causées au paddy n'ont pas été éliminées par le stockage hermétique, mais ont été liées à la teneur en eau et à la température. Le développement des champignons a été retardé.

32-14

BARRE (H.J.), WIMBERLEY (J.E.), 1975. — **Storage of food grains in South Asia.** (La conservation des grains en Asie du Sud). Communication présentée en 1975, Mtg. Amer. Soc. agric. Engrs, Davis, Californie, 22-25 juin 1975, n° 75-4506, 11 p., 1 tabl., 8 fig., 18 réf.

Des progrès sont actuellement réalisés en ce qui concerne les méthodes de manutention et de stockage des grains en Asie du Sud. La plupart des méthodes de stockage rural indigènes sont inefficaces et coûteuses. Or, un simple silo métallique permettrait de conserver le grain sec pendant une période de temps indéterminée sans perte et à un faible coût. Le passage du stockage en sacs au stockage en vrac, en magasin, est en cours d'acceptation. Cette méthode, bien mise au point, peut être facilement adaptée aux pays de climat chaud et sec, ou chaud et humide.

32-15

BIELORAI (R.), ALUMOT (E.), 1975. — **The temperature effect on fumigant desorption from cereal grain.** (Effet de la température sur la désorption des fumigants des grains (céréales). *J. Agric., Fd Chem.*, 23 (3), 426-9, 6 tabl., 7 réfs.

Deux méthodes d'analyse et plusieurs fumigants ont permis de confirmer une désorption plus rapide des résidus de fumigant des grains entiers à une température faible (14-17°C) qu'à une température élevée (30-37°C). Des résidus de fumigant intacts semblent être présents dans les grains ayant subi une fumigation sous deux formes : solidement fixés et non solidement fixés. La désorption des résidus solidement fixés dans les grains après fumigation à la température de la pièce est au moins deux fois plus rapide aux températures d'aération basses qu'aux températures élevées. Les températures de la fumigation affectent l'importance rela-

tive des résidus : aux températures plus faibles, on constate des niveaux plus faibles de résidus solidement fixés. Cet effet de la température peut être responsable d'une désorption plus rapide l'hiver que l'été, comme cela a été noté lors d'un essai au champ. Ceci pourrait influencer sur la durée d'aération nécessaire après la fumigation en conditions de climat chaud par rapport au climat tempéré. L'effet des faibles températures a été supprimé par le broyage des grains ; il n'était pas dû à la fraction lipidique du produit traité. Il semble que la structure intacte du grain soit responsable de cet effet.

32-16

DEASON (D.), 1975. — **Adequate cleaning a problem. Proper drying important.** (Un problème : un bon nettoyage ; importance d'un bon séchage). *Rice J.*, 78 (5), 22.

Les directives de l'auteur pour parvenir à un bon système de séchage en silo comprennent un débit d'air correct, une source de chaleur, des contrôles appropriés, un système de nettoyage pour éliminer toute matière inerte. Le riz récolté à 22% de teneur en eau peut être facilement séché jusqu'à 2,5 m de profondeur. Le système d'alimentation en air doit pouvoir fournir au minimum 0,07 m³/mn/0,20 q à une pression statique de 7,60 cm d'eau. Les ouvertures du toit devront être d'au moins 0,09 m² par 425 m³/mn de volume d'air. Les besoins en chaleur sont modérés et une élévation de température de 6,7°C par rapport à l'air ambiant est suffisante. Des contrôles pour une qualité supérieure sont indispensables et devront comprendre des thermostats et des humidistats. Enfin, un nettoyage complet pour éliminer toute paille, graines de mauvaises herbes et autre matière inerte sera nécessaire si l'on veut obtenir un rendement maximum et éviter toute perte de grains dans le magasin.

32-17

DELOUCHE (J.C.), BASKIN (C.C.), 1973. — **Accelerated ageing techniques for predicting the relative storability of seed lots.** (Techniques de vieillissement accéléré pour prévoir la capacité de stockage relatif des lots de semences). *Seed Sci. Technol.*, 1 (2), 427-52, 7 tabl., 3 pl., 6 fig., bibl.

L'auteur souligne que bien que la plupart des paquets de graines du même type, de la même variété et de même âge aient à peu près le même pouvoir germinatif, toutes ne se conservent pas également bien dans les mêmes conditions, et ce fait a une importance économique. Plusieurs méthodes ont été mises au point pour évaluer le potentiel relatif de conservation des semences. La méthode la

plus efficace comprend le vieillissement accéléré à des températures de 40-45 °C et 100 % d'humidité relative pour des périodes de dix jours, suivant l'espèce et la variété. Les résultats d'une étude de six ans, portant sur un grand nombre de lots de seize espèces de graines différentes montrent que les réponses de germination après un vieillissement accéléré sont étroitement liées aux réponses de stockage dans tout un éventail de conditions pendant des périodes allant jusqu'à trois ans. Un certain nombre de réactions des graines concernant leur potentiel de conservation est étudié.

32-18

DICHTER (D.), 1975. — **West African Seminar on the volunteer role in grain storage.** (Séminaire Ouest Africain sur le rôle des volontaires dans le stockage des grains). Cotonou, Dahomey, décembre 13-21, 1974, 249 p., tabl., fig., ph., bibl.

Compte rendu d'un séminaire dont l'objectif était la production d'un document d'utilité pratique immédiate. La partie principale du rapport comprend certains des documents de travail et des manuels présentés au séminaire, suivie d'une série de questions et de réponses d'un caractère pratique. Une présentation sur cassette et diapositives est en cours de préparation, elle traitera des points importants, y compris la phase d'instruction sur le terrain. Les documents de travail présentés sont les suivants :

LINDBLAD (C.), NEWMAN (M.), VINITA (R.). — Problèmes relatifs à la vulgarisation d'une technologie nouvelle pour le stockage des grains par les paysans.

THORSHAUG (H.). — Construction et utilisation de diverses installations de stockage des céréales au niveau de la ferme et du village.

DO SUP CHUNG, PEDERSEN (J.R.). — Notions fondamentales sur le stockage des grains au niveau de la ferme et du village.

ADESUYI (S.A.). — La bonne application d'insecticides aux magasins de grains en milieu paysan et dans les villages.

KETE (L.). — Aspects socio-économiques des programmes de stockage des grains au niveau du village.

POINTEL (J.G.). — Techniques de stockage des grains à la ferme et au village autre que les silos.

NTITI (E.O.). — Coopératives céréalières rurales : leur direction et administration.

FAO/ITA. — Manuel pour la construction d'un silo de séchage et de stockage (crib).

US PEACE CORPS/MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT RURAL ET DE L'ACTION COOPÉRATIVE, RÉPUBLIQUE DU DAHOMEY. — Manuel complet pour la construction de séchoirs en terre de barre et de silos en douves de ciment d'une capacité de 2,5 t et de 4,5 t.

US PEACE CORPS/MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT ET DE L'ACTION COOPÉRATIVE. — Comment utiliser votre silo et votre séchoir.

RIGTERS (K.A.). — Silo traditionnel amélioré du Ghana septentrional. Coûts comparatifs des systèmes améliorés de stock-

kage des grains au niveau de la ferme et du village.

La troisième partie concerne la réalisation des systèmes améliorés.

32-19

FEDERATION FRANÇAISE DES CÉRÉALES, 1975. — Ravageurs des graines entreposées. *Bull. anc. Elev. Ec. Meun.*, 1975 (268), 211-4, 12 fig.

Les principaux insectes nuisibles des grains sont brièvement décrits, accompagnés d'illustrations de ces insectes et des dommages causés. Ces insectes comprennent *Sitophilus granarius*, *S. oryzae*, *Tribolium confusum*, *Oryzaephilus surinamensis*, *Tinea granella*, *Plodia interpunctella* et *Sitotroga cerealella*. Les précautions à prendre dans la lutte contre ces ravageurs comprennent l'hygiène dans les magasins — l'emploi d'un aspirateur industriel est recommandé — ainsi que la pulvérisation des murs, parois et sols avec des insecticides et l'isolation, si besoin est, des planchers en bois par un film plastique. Puis des notes sont présentées sur les causes d'infestations, les pertes et les insecticides couramment utilisés, en particulier le lindane, le malathion et les pyréthrines. On propose de préférence, comme insecticide, le malathion. Les fumigations au bromure de méthyle ou à la phosphine ne sont mentionnées que brièvement et les dangers encourus sont soulignés. Les autres méthodes de lutte mentionnées sont le séchage complet et le refroidissement du grain par ventilation.

32-20

FRANCE : SECRETARIAT D'ÉTAT AUX AFFAIRES ÉTRANGÈRES, 1974. — Manuel de conservation des produits agricoles tropicaux et, en particulier, des céréales (Techniques rurales en Afrique). *Cent. Etud. Exp. Mach. Agric. Trop.* (CEEMAT), 356 p., 184 fig., 5 ann., bibl.

Ce manuel comprend trois parties. La première partie traite des problèmes généraux et des facteurs de dégradation des denrées stockées, tels que les micro-organismes et les moisissures, les insectes nuisibles et les rongeurs. Les méthodes de conservation étudiées comprennent le séchage, la ventilation, la lutte contre les agents extérieurs. Dans la deuxième partie, sont étudiés plus en détail : le séchage et le stockage, tant le stockage traditionnel que le stockage commercial. La troisième partie concerne l'équipement et le fonctionnement des principaux centres de stockage. Quelques évaluations sur l'économie du stockage sont données. Dans les annexes sont présentés les diagrammes de l'air humide, les principaux parasites des stocks, les pertes de charge dans les conduits de ventilation, et une liste limitative des principaux constructeurs. Enfin, huit cultures dont le maïs, le riz et les légumineuses à graines sont étudiées en détail.

32-21

FREEMAN (J.A.), PILTZ (H.), 1975. — **Storage pests : list of dangerous pests in commodities particularly liable to infestation.** (Parasites des produits stockés : liste des insectes nuisibles dans les denrées particulièrement sensibles aux infestations). *Pl. Hlth Newsl.*, EPPO Publ. Ser. B., n° 80, 9-18, 3 tabl.

L'auteur note l'addition, à la liste, des insectes nuisibles de *Tenebroides mauritanicus* et *Oryzaephilus mercator*. *Trogoderma granarium* est introduit sur la liste des insectes soumis à la quarantaine. Les listes des denrées stockées sont divisées en denrées particulièrement sensibles à des infestations modérées ou fortes et celles régulièrement très infestées.

32-22

GIBBONS (R.W.), LAURENCE (R.C.N.), NORSE (D.), COX (R.A.J.), 1975. — **Groundnut drying trial in Malawi.** (Essais de séchage des arachides au Malawi). *Trop. Sci.*, 17 (1), 15-24, 4 tabl., réf.

Séparer les arachides des fanes à l'arachage et étendre les gousses sur des nattes constituait la meilleure méthode de séchage rapide des arachides pour éviter la contamination fongique. La mise sous abris est recommandée la nuit et en cas d'averses. Autrement, il est préférable de laisser les gousses non séparées des fanes retournées en andains jusqu'à séchage complet ou possibilité de disposer de la main-d'œuvre nécessaire. Des recherches sur les champignons ont montré que l'invasion de ces derniers était étroitement liée à la brisure des gousses due aux insectes ou au matériel de récolte. Dans les principales régions arachidières du Malawi, les conditions météorologiques sont favorables pour obtenir un séchage rapide et sûr des récoltes d'arachide.

32-23

JACOBSON (M.), 1975. — **Insecticides from plants. A review of the literature, 1954-1971** (Une revue de la littérature, 1954-1971). USDA, Agric. Res. Serv. Handb. n° 461 (insecticides d'origine végétale)

Les plantes dont sont tirés les insecticides sont groupées par familles. 1.485 espèces sont représentées. On n'a pas tenté d'introduire d'informations sur les insecticides d'origine végétale bien connus tels que le pyréthre, le roténone ; la nicotine et le ryania. Les amandes broyées en poudre de margousier, *Azadirachta indica*, sont un agent de protection actif des graines de blé contre *Sitophilus oryzae*, *Rhizopertha dominica* et *Trogoderma granarium* pendant douze mois, lorsque celles-ci sont mélangées à la dose de 1-2 % de graines de blé (en poids).

32-24

KEM (T.R.), 1975. — **Studies on the development of resistance to phosphine in *Tribolium castaneum*** (Herbst). (Études sur le développement de la résistance à la phosphine chez *Tribolium castaneum*). Ph. D. Thesis, Indian Agric. Res. Inst., *Ent. Newsl.*, India, 5 (2), 6-7, (résumé seulement).

Dans cette thèse sont rapportés les résultats de recherches effectuées en laboratoire sur la sélection d'une souche de *T. castaneum* résistante à la phosphine et ses caractéristiques de résistance croisée. On a obtenu, après sélection sur dix générations, une souche 11,95 fois plus résistante qu'une souche normale sensible. Des tests biologiques avec d'autres fumigants n'ont révélé aucune résistance croisée à un mélange EDCT, au bichlorure d'éthylène, au tétrachlorure de carbone,

au bisulfure de carbone, au dibromure d'éthylène ou au bromure de méthyle. Aucune résistance croisée n'a été observée lors d'essais avec onze insecticides dont le malathion, l'iodofenphos et les phyrétrines.

32-25

LA HUE (D.W.), 1975. — **Evaluating Gardona and malathion to protect wheat in small bins against stored grains insects.** (Evaluation du gardona et du malathion pour la protection du blé en petits silos, contre les insectes nuisibles des stocks). Mktg. Res. Rep., US Dep. Agric., n° 1037, iii + 12 p., 20 tabl., 1 fig., réf.

Des applications de malathion en pulvérisation à volume réduit (LV) et goutte à goutte, une application à volume très réduit (ULV) de gardona et une formulation de malathion sous forme de granulés carbonés ont été comparées comme traitement de protection contre les attaques d'insectes, sur du blé stocké dans de petits silos pendant douze mois. Des infestations de populations mélangées d'insectes nuisibles des grains stockés provenant d'insectes libérés dans la pièce se sont développées dans toutes les cellules-témoin non traitées, pendant les quatre premiers mois de stockage. La pulvérisation d'une émulsion de malathion à LV et l'application du malathion sous forme de granulés carbonés ont permis une excellente protection pendant douze mois. Les résidus de malathion récupérés après les différentes répétitions à LV ont été assez constants pour chaque période de vieillissement. Les résidus ont graduellement diminué de 4,5 à 1,5 ppm au cours des douze mois. On a découvert une quantité plus importante de résidus de malathion dans les échantillons avec application de granulés, mais une plus grande variation de ppm entre les répétitions. Les schémas de résidus n'ont pas été satisfaisants dans de nombreuses analyses de blé traité à l'émulsion goutte à goutte à LV. Les échantillons de 3 à 5 cellules ont révélé des dépôts nettement inférieurs aux quantités recherchées, tandis que dans une cellule, il y a eu excès de résidus. La protection contre les attaques d'insectes a varié en conséquence. Les résidus de gardona, en moyenne de 6,16 ppm, vingt-quatre heures après le traitement, ont diminué rapidement au cours des deux premiers mois de stockage pour parvenir à une moyenne de 1,78 ppm seulement. Il est resté cependant assez de résidus pour protéger le blé contre les attaques d'insectes dans les cellules de stockage pendant huit mois.

32-26

LE CATO (G.L.), 1975. — **Species composition influencing insect population growth and weight loss of stored rice, wheat and corn.** (Composition des espèces influençant le développement des populations d'insectes et les pertes de poids du riz, du blé et du maïs stockés). *J. Kansas ent. Soc.*, 48 (2), 224-31, 4 tabl., 6 réf.

Diverses combinaisons d'espèces d'insectes nuisibles des stocks ont influencé le développement de leurs populations et les pertes de poids des grains entiers de riz, de blé et de maïs, *Cryptolestes pusillus*, *Oryzaephilus surinamensis* et *Tri-*

bolium castaneum ont produit plus de descendants et ont provoqué plus de pertes de poids dans les grains lorsque chaque insecte a été associé à *Rhizopertha dominica* ou *Sitophilus oryzae*.

32-27

LIPTON (M.), COOK (I.), NAIR (N.), 1974. — **Cost-benefit analysis of crop storage improvements : a south Indian pilot study.** (Analyse du rapport coût-bénéfice pour l'amélioration du stockage des cultures : une étude-pilote dans l'Inde du Sud). Comm. EPPD, Conférence on Storage Pests and Diseases, Paris, 11-14 juin 1974, EPPD Bull., 4 (4), 447-53, 17 réf.

Les recherches sur le stockage, en particulier au niveau de la ferme, ont peu d'impact sur la politique, en grande partie par suite du manque de preuves que les bénéfices retirés d'une économie des grains — surtout pour les pauvres et les affamés — justifient le coût de l'amélioration des structures de stockage. Une étude-pilote sur le coût et le profit de divers systèmes de stockage du paddy dans deux villages de l'Inde du Sud est décrite. On peut déduire des premiers résultats que les travaux ultérieurs sur un plus grand échantillonnage de villages, justifieront d'importants investissements dans l'amélioration des magasins pour les petits cultivateurs et les ouvriers sans terre.

32-28

THOMAS (P.M.), 1974. — **Public warehousing. Role of pesticides.** (Entrepôts de stockages publics. Rôle des pesticides). *Pesticides Annual*, 1974, 81-4, tabl.

L'auteur remarque que les pesticides jouent un rôle important dans la conservation de plus de 200 produits agricoles et industriels stockés dans 820 entrepôts centraux et d'Etat, d'une capacité totale de 3,6 millions de tonnes. Les pertes causées par les insectes, les rongeurs et autres ravageurs sont évaluées à 5-10 %. Le développement de la Bangladesh Warehousing Corporation dont l'objectif est la prévention des pertes de stockage, le contrôle de la qualité, la stabilisation des prix, les facilités de crédit et l'intégration des installations de stockage est étudié. Les ravageurs courants des produits stockés sont recensés et des informations détaillées sont présentées sur les techniques d'applications, les doses et les périodes d'exposition pour des fumigants, des poudres, des pulvérisations, des fumées et des rodenticides sélectionnés. Les autres notes concernent le fonctionnement et l'économie de l'entreposage et de l'emploi des pesticides.

32-29

THOSHANS (H.), 1975. — **Installations de séchage et de stockage de céréales au niveau de la ferme et du village utilisés au Dahomey.** Bloc-notes du Monde Rural FEMEC, 1975 (5), 15-8, 3 fig.

L'auteur commence par étudier le séchage au soleil. Laisser le grain sécher sur le champ est la méthode la plus simple mais elle expose le grain aux attaques d'insectes. Il est recommandé que le grain soit séché au soleil sur une plate-forme

surélevée permettant une bonne ventilation et la prévention de toute contamination. Le séchage artificiel présente plusieurs avantages et les résultats obtenus avec un séchoir simple alimenté au bois, le séchoir « Brooks », sont présentés. Ce séchoir est de construction facile, les matériaux utilisés étant facilement disponibles ; il permet de réduire la teneur en eau de 800-100 kg de produits de 25 à 12 % en deux à trois jours. Les plans et la description de la construction de ce séchoir sont donnés ainsi que des instructions sur son fonctionnement. Une liste des matériaux nécessaires et une évaluation du coût sont présentées. Le maïs, qu'il soit décortiqué ou non décortiqué, peut être séché également rapidement, mais pour le maïs destiné à la semence, on propose d'utiliser une autre méthode.

32-30

UNITED STATES : DEPARTMENT OF AGRICULTURE : AGRICULTURAL EXTENSION SERVICE / LOUISIANA STATE UNIVERSITY, 1975. — **Grain dryers, last but not least.** (Les séchoirs à grains, les derniers mais non les moindres). *Wild Fmg.*, 17 (7), 20, 22-3, 29, 2 tabl., 2 fig.

L'auteur étudie la nécessité de sécher le grain et les avantages des techniques de séchage artificiel. Il recense, sous forme de liste, les teneurs en eau pour un bon stockage du maïs, du sorgho, de l'avoine, du paddy, du soja et du blé. Il donne des indications sur le plan et le choix des structures de stockage ainsi que sur l'emplacement. Quelques informations succinctes sont présentées sur le procédé de séchage des grains ainsi que sous forme de table, l'évaluation des pertes de poids lors du séchage des grains ou des graines passant d'une teneur en eau à une autre.

32-31

WALKER (D.J.), 1975. — **Report of the Swaziland rural grain storage project. September 1972-April 1975.** (Compte rendu d'un projet de stockage des grains en milieu rural au Swaziland. Septembre 1972-avril 1975). V., 79 p., 2 cartes, 1 pl., 5 réf., 2 annexes.

L'auteur décrit en détail un projet financé par la Campagne de Lutte contre la Faim (UK) et l'Aide Chrétienne, dont l'objectif est l'amélioration du stockage du maïs et autres produits agricoles au Swaziland. Il donne une brève description des systèmes actuels et de leurs problèmes dans une communauté à économie de subsistance prédominante. Une enquête conduite en 1973, 1974 et 1975 recense les variétés de maïs stockées, les insecticides utilisés et les types de conteneurs rencontrés. Les teneurs en eau et l'étendue des dommages causés par les insectes, les moisissures et les rongeurs sont présentés. Un crib amélioré pour le séchage du maïs en épis a été lancé en même temps que des poudres de mélange insecticide diluées, comme, par exemple, 0,6 % de lindane pour le maïs en épis et 1,5 % de malathion pour les produits décortiqués. On a tenté, dans ce projet, d'améliorer l'efficacité des fumigations dans les petits fûts métalliques facilement scellés, courants dans tout le pays ; des efforts ont été faits pour augmenter l'utilisation des

préparations de phosphinè. La formation sur une grande échelle et un programme de vulgarisation ont été mis en œuvre pendant la durée du projet.

32-32

WELTY (R.E.), WEEKS (W.W.), 1975. — **Influence of relative humidity, temperature and time of fungal growth and chemical composition of flue-cured tobacco.** (Influence de l'humidité relative, de la température, de l'époque du développement des champignons et de la composition chimique du tabac flue-cured). *Tob. Sci.*, 11 juillet 1975, 77-80, 3 tabl., réf.

Lors de trois essais en laboratoire, du tabac flue-cured conservé six semaines à 75-90 % d'humidité relative et 20, 25 et 30 °C a été évalué pour le développement des champignons, la composition chimique et la teneur en eau. Les espèces de *Aspergillus* se sont développées dans le tabac avec le temps, l'élévation de la température et l'accroissement de l'humidité relative. *A. repens* et *A. ruber* ont été les espèces prédominantes, mais *A. niger* et *A. ochraceus*, *A. flavus* et *A. tamaris* ont été également présentes. Dans toutes les études, la teneur en sucre des tabacs a diminué avec l'accroissement des champignons, jusqu'à moins de 3%. Certains échantillons ont perdu jusqu'à 31,2% de matière sèche.

32-33

WHITE (G.D.), BERNDT (W.L.), WILSON (J.L.), 1975. — **Evaluating diatomaceous earth, silica-aerogel dusts and malathion**

to protect stored wheat from insects. (Evaluation de la terre de diatomée, des poudres de silice-aérogel et du malathion dans la protection du blé stocké contre les insectes). *Mkgt Res. Rep.*, US Dept Agric., n° 1038, iii + 18 p., 9 tabl., 6 fig., 11 réf.

Les auteurs rapportent les résultats de trois années d'essais sur 24.495 quintaux de blé traité avec des poudres inertes et du malathion et conservés en conditions de champ au Kansas. Le blé a été stocké dans des silos métalliques circulaires de 880 quintaux. Deux préparations de terre de diatomée, Perma-Guard et Kenite 2-1, et deux poudres de silice-aérogels, Cab-O-Sil et SG 68, ont été comparées avec le traitement standard au malathion et appliquées lors du chargement des silos. Le blé a été échantillonné périodiquement pour découvrir l'efficacité insecticide, les transformations physiques du blé concernant la qualité et les résidus chimiques. Les résultats de ces essais sont donnés. L'analyse chimique montre que le malathion a persisté dans le blé pendant les trois années. La poudre véhiculée par l'air a été une nuisance tant pour le chargement que pour le déchargement des silos et a augmenté les problèmes d'équipement. Le malathion et le Perma-Guard se sont révélés les meilleurs produits dans la lutte contre les infestations d'insectes.

32-34

WILLIAMS (B.D.), 1975. — **A foot-powered thresher for rice, sorghum, oats and other small grains.** (Une batteuse à riz à pédale pour le riz, le sorgho, l'avoine

et autres céréales). *Appropriate Technol.*, 2 (2), 607, illust.

L'auteur décrit une machine simple pouvant être fabriquée localement avec du bois, des accessoires de bicyclette et des débris de fer. Elle est constituée principalement par un cylindre de bois muni de pièces métalliques en forme de boucle formant des saillies asymétriquement, que l'on fait tourner à l'aide d'une pédale. Le grain non battu est maintenu contre le tambour percé, et le grain et les balles sont recueillis sur une plaque placée sous le tambour. Le vannage demeure une opération nécessaire et séparée, mais il paraît que cette machine multiplie d'au moins trois fois le rendement de l'homme.

32-35

YADAV (T.D.), PANT (N.C.), 1975. — **Immunity of processed pulses to bruchids.** (Immunité des légumineuses à graines égrenées contre les bruches). *Entomol. Newsl.*, 5 (1), 2.

L'auteur rapporte des observations faites sur la ponte et l'éclosion des œufs de *Callosobruchus maculatus* et *C. chinensis* sur des légumineuses à graines égrenées et non égrenées. Il conclut que la conservation des gousses empêche les pertes d'humidité, maintenant ainsi un milieu propice au développement. Les gousses enlevées, le système régulateur de l'humidité est perturbé, les pertes d'eau sont possibles et il en résulte des conditions défavorables au développement. Les insectes se développeront, mais seulement de façon limitée sur les légumineuses égrenées conservées en condition d'humidité élevée.

Votre expansion passe par le Crédit Lyonnais

Le Crédit Lyonnais offre désormais au monde des affaires un réseau de services très complet, ouvert sur le monde entier avec plus de 4.000 agences en Europe, des guichets, filiales et représentations sur les cinq continents.

Le Crédit Lyonnais a en effet conclu des accords de coopération dès 1971 avec le Banco di Roma et la Commerzbank, et plus récemment avec le Banco Hispano Americano.

88000 spécialistes vous assurent partout le même accueil et la même compétence, la même qualité de conseil et la même rapidité d'exécution.

Pour vos prochaines opérations en France comme à l'étranger, consultez-nous. Nous avons des possibilités d'action à la mesure de votre volonté d'expansion.



CREDIT LYONNAIS

EUROPARTENAIRES

Banco di Roma - Banco Hispano Americano - Commerzbank - Crédit Lyonnais

**VOUS VOULEZ
DU MATERIEL D'ARROSAGE
PERFORMANT, ROBUSTE ET FIABLE...
N'ACHETEZ RIEN
AVANT D'AVOIR CONSULTE
BANCILHON**

Spécialiste de l'arrosage en pays tropicaux, BANCILHON met à votre disposition une gamme complète de matériels : appareils à pivot ou "pivot-systems", arroseurs géants, appareils d'arrosage à enroulement automatique, canalisations tous diamètres en aluminium. Dans sa catégorie, chacun de ces matériels vous offre des performances, une robustesse et une fiabilité maximum.

Les appareils à pivot

Ces appareils tournants d'arrosage automatique conviennent aux grandes surfaces : ils peuvent arroser jusqu'à 100 hectares à la fois et ne nécessitent qu'une main-d'œuvre minimum.

Les arroseurs géants

Les arroseurs géants BANCILHON modèles G54 et G80 arrosent respectivement, à chaque position, une surface de 1 hectare et de 1,5 hectare.

Les appareils d'arrosage à enroulement automatique

Selon le débit d'eau dont vous disposez au départ, et selon la surface totale à arroser, vous avez le choix entre les différents enrouleurs suivants (le numéro de chaque appareil correspond au diamètre extérieur du souple, exprimé en mm) :

PLUIE-MATIC 50, PLUIE-MATIC 63

TURBO 70 et 75,
TURBO 83, TURBO 90

Les canalisations BANCILHON

Les tubes, raccords et accessoires BANCILHON sont entièrement en aluminium. A la différence de l'acier galvanisé ou du plastique, l'aluminium résiste parfaitement à la corrosion (eau acide, salée ou chargée en CO₂), à l'oxydation comme au vieillissement. L'aluminium est par conséquent le seul matériau qui conserve toutes ses qualités mécaniques en milieu tropical.

Sans engagement de votre part, soumettez donc votre problème aux techniciens du Service Exportation de BANCILHON. Après l'avoir étudié à fond, ceux-ci vous proposeront, à coup sûr, la solution la plus efficace et la plus rentable, donc la plus économique !

BON pour une documentation

Nom : _____

Prénom : _____

Adresse : _____

**arrosage
bancilhon**

Bon à retourner : **Ets Jules BANCILHON**
route d'Orléans, 45 ARTENAY (Loiret)
Tél. (38) 80.01.10 - Télex BANARRO 780 983 F