

11317

L'AGRONOMIE TROPICALE

Publication trimestrielle Juillet-août-septembre 1984 Volume 39, Numéro 3

INSTITUT DE RECHERCHES AGRONOMIQUES TROPICALES
ET DES CULTURES VIVRIÈRES



Sommaire

Évaluation du milieu naturel des plaines alluviales de la boucle du Niger (Mali).	
I - Le milieu.	
BERTRAND (R.), BOURGEON (G.)	199
Évaluation du milieu naturel des plaines alluviales de la boucle du Niger (Mali).	
II - Potentialités.	
BOURGEON (G.), BERTRAND (R.)	208
Effets de la date de semis sur l'élaboration du rendement du blé tendre et de l'orge en zones semi-arides et arides (cas du Maroc atlantique).	
JOUVE (P.), DAQUDI (A.)	216
Indices SIDR et diagnostic foliaire du soja (<i>Glycine max</i> L. Merrill) au Sénégal.	
LARCHER (J.), Cisse (L.)	229
Comportements hydriques de deux types variétaux de riz à l'égard des potentiels décroissants de l'eau dans le milieu nutritif.	
AHMADI (N.), PUARD (M.)	236
Étude de l'hérédité de la translucidité chez cinq variétés de riz (<i>Oryza sativa</i>).	
Applications pratiques en sélection.	
CLÉMENT (G.), POISSON (C.)	243
Conservation des semences de soja (<i>Glycine max</i> L. Merrill) en zone tropicale.	
LARCHER (J.), GODON (P.), SALEZ (P.)	252
Culture <i>in vitro</i> des tissus foliaires de canne à sucre infectée par <i>Ustilago scitaminea</i> Syd.	
PEROS (J.-P.), CHAGVARDIEFF (P.)	259
Quarantaine de canne à sucre à Montpellier, France.	
BAUDIN (P.)	262
Les bio-modèles à géométrie variable appliqués à la surveillance des criquets ravageurs.	
LAUNOIS (M.)	269
Quelques moyens de lutte pour enrayer les nosémoses de trois foreurs des graminées élevés en laboratoire sur milieu nutritif artificiel.	
BORDAT (D.), COQUARD (J.), RENAND (M.)	275
Documentation	
Ouvrages et documents généraux	286
Bibliographie analytique	288

COMITÉ DE RÉDACTION

PRÉSIDENT : M. CEPEDE, Président du Comité de la FAO.

MEMBRES : H. BICHAT, Administrateur général du GERDAT - F. BOUR, Directeur général de l'IRAT - J. BUSTARRET, Directeur général honoraire de l'INRA - B. CHEZE, Directeur du CEEMAT - J. CONNEAU, Représentant les successeurs d'A. DENIS fondateur de la revue « Riz et Riziculture » - R. COSTE, Président de l'IRCC - J. FLEURY, Directeur général de l'IRHO - H.L. HUGUET, Directeur général du CTFT - A. PROVOST, Directeur général de l'EMVT - J.-P. RAISON, Commissaire du Gouvernement - A. RUELLAN, Directeur général de l'ORSTOM.

COMITÉ DE LECTURE

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

PUBLICITÉ : S'adresser à PUBLICLAIR 38 Av. des Mathurins - 75008 PARIS Tél : 266.25 54 - 265.17.08

Direction, Rédaction :
45 bis, avenue
de la Belle Gabrielle
94130 Nogent-sur-Marne
Tél : 876.12.33

© 1984 - IRAT
Tous droits
de traduction,
de reproduction
et d'adaptation
réservés pour
tous pays

Contents

Evaluation of the natural environment in the alluvial plains of the Niger River bend (Mali). I - Environment. BERTRAND (R.), BOURGEON (G.)	199
Evaluation of the natural environment in the alluvial plains of the Niger River bend (Mali). II - Potentialities. BOURGEON (G.), BERTRAND (R.)	208
Sowing date effects on the yield components of soft wheat and barley in arid and semi-arid areas. JOUVE (P.), DAOUDI (A.)	216
SIDR indices and foliar diagnosis for soyabean (<i>Glycine max</i> L. Merrill) in Senegal. LARCHER (J.), Cisse (L.)	229
Water behaviour of two rice varieties as related to decreasing water potentials in the nutrient medium. AHMADI (N.), PUARD (M.)	236
Study of translucency inheritance in five rice (<i>Oryza sativa</i>) varieties. Practical applications in breeding. CLÉMENT (G.), POISSON (C.)	243
Storage of soyabean (<i>Glycine max</i>) seed in the tropics. LARCHER (J.), GODON (P.), SALEZ (P.)	252
<i>In vitro</i> culture of leaf tissue from sugar cane infected with <i>Ustilago scitaminea</i> Syd. PEROS (J.-P.), CHAGVARDIEFF (P.)	259
Sugar cane quarantine at Montpellier, France. BAUDIN (P.)	262
Monitoring locusts and grasshoppers by means of bio-modelling. LAUNOIS (M.)	269
Some means to control the nosema of three stalk borers reared on artificial diet in the laboratory. BORDAT (D.), COQUARD (J.), RENAND (M.)	275
Documentation	286

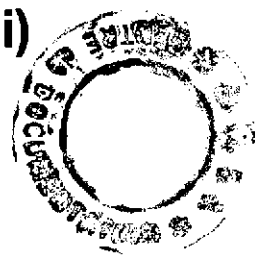
Sumario

Evaluación del medio natural de las llanuras aluviales de la esquina del Níger (Mali). I - El medio. BERTRAND (R.), BOURGEON (G.)	199
Evaluación del medio natural de las llanuras aluviales de la esquina del Níger (Mali). II - Potencialidades. BOURGEON (G.), BERTRAND (R.)	208
Efectos de la fecha de siembra sobre la elaboración del rendimiento del trigo candeal y de la cebada en zonas semi-áridas y áridas. JOUVE (P.), DAOUDI (A.)	216
Índices SIDR y diagnóstico foliar de la soja (<i>Glycine max</i> L. Merrill) en Senegal. LARCHER (J.), Cisse (L.)	229
Comportamientos hídricos de dos tipos varietales de arroz con respecto a los potenciales decrecientes del agua en el medio nutritivo. AHMADI (N.), PUARD (M.)	236
Estudio de la herencia de la translucidez en cinco variedades de arroz (<i>Oryza sativa</i>). Aplicaciones prácticas en selección. CLÉMENT (G.), POISSON (C.)	243
Conservación de las semillas de soja (<i>Glycine max</i>) en zona tropical. LARCHER (J.), GODON (P.), SALEZ (P.)	252
Cultivo <i>in vitro</i> de los tejidos foliares de caña de azúcar infectada por <i>Ustilago scitaminea</i> Syd. PEROS (J.-P.), CHAGVARDIEFF (P.)	259
Cuarentena de caña de azúcar en Montpellier, Francia. BAUDIN (P.)	262
Los bio-modelos de geometría variable aplicados a la vigilancia de las plagas de langostas. LAUNOIS (M.)	269
Algunos medios de lucha para atajar las nosemosis de tres perforadores de las gramíneas, criados en laboratorio en medio nutritivo artificial. BORDAT (D.), COQUARD (J.), RENAND (M.)	275
Documentación	286

Évaluation du milieu naturel des plaines alluviales de la boucle du Niger (Mali)

I - Le milieu

R. BERTRAND, G. BOURGEON (1)



RÉSUMÉ — Les auteurs, par une présentation géographique générale du bassin du Niger, expliquent pourquoi, dans la région considérée (Gao), le régime hydrologique du Niger est caractérisé par une onde de crue très étalée dans le temps (dix mois) et décalée par rapport aux précipitations estivales. Ils décrivent la vallée alluviale, dans laquelle ils distinguent deux grandes parties : des plaines inondables et des terrasses non inondables.

Les plaines inondables comportent : une plaine basse à modelé régulier et sols argileux hydromorphes relativement épais, inondée sous une forte lame d'eau (1 à 1,5 m) pendant six à huit mois ; une plaine haute à modelé d'incision faisant alterner irrégulièrement de longues rides sableuses et des chenaux à colmatage argileux d'épaisseur faible et très variable, inondée sous une lame d'eau peu épaisse (30 à 80 cm) pendant quatre à six mois.

Les plaines non inondables comportent : des bancs de sable arasés, qui, à fleur d'eau au maximum de la crue, présentent des remaniements éoliens locaux en micro-dunes ; une terrasse dominant le niveau des plus hautes eaux de 1 à 2 m, à modelé très régulier et sols limono-sableux rouges calcaires très épais, localement remaniés en micro-dunes.

La plaine alluviale, dans son ensemble, se présente comme une suite de marches d'escaliers, de vastes paliers, séparés par des contre-marches de quelques décimètres de haut qui expliquent le régime de submersion des plaines inondables en phases séparées dans le temps.

Mots clés : Vallée du Niger, Mali, géomorphologie, pédologie, sols alluviaux, régime hydrologique.

La boucle du Niger, entre la région de Tombouctou au nord-ouest et celle de Gao au sud-est, est placée dans les marges du désert, le Sahel sud-saharien.

Dans l'environnement semi-aride régional, la présence d'un grand fleuve comme le Niger évoque la vallée du Nil ou la plaine Mésopotamienne, marquées par un contraste saisissant entre le ruban vert de la vallée et le semi-désert qu'elle traverse (au moins pendant une partie de l'année), et par des civilisations prestigieuses basées sur la mise en valeur agricole par l'irrigation. Le Niger n'a-t-il d'ailleurs pas été confondu avec le Nil par les grands voyageurs et les géographes jusque vers la fin du XIX^e siècle ?

Pour le voyageur contemporain, peu de tout cela ! Les « limons fertiles » déposés par les crues n'auraient-ils

aucun effet ou ne se déposeraient-ils pas ? Le milieu et par conséquent les potentialités de production seraient-ils très différents ? Est-il complètement mis en valeur ? N'a-t-on pas négligé certaines parties de la plaine ?

C'est à ces questions que nous voudrions apporter des éléments de réponse.

Pour cela nous aurons une démarche en deux temps. Par l'étude du milieu naturel : modelé, mise en place des matériaux, régime hydrologique (inondation, nappes phréatiques, pluviosité), sols, vus dans une perspective historique et dynamique, nous établirons les bases du raisonnement de l'aménageur et de l'agronome.

Ensuite, dans un deuxième article, en nous appuyant sur les éléments majeurs des caractéristiques et du fonctionnement du milieu, nous essaierons de montrer quelles sont les potentialités d'aménagement et d'utilisation qui nous paraissent adaptées.

Le cadre géographique

Nous nous intéresserons ici aux formations alluviales du fleuve Niger que nous avons eu à étudier sur quelques périmètres (BOURGEON, 1978 ; BROUWERS, 1978 ; BERTRAND, 1980). La portion de vallée étudiée s'étend sur 160 km entre Bourem et Ansongo (fig. 1). Elle constitue la partie sud-orientale de la boucle du Niger et a Gao comme capitale régionale (16° 15' N et 0° 18' E).

Pour illustrer notre présentation, nous nous sommes appuyés sur un exemple concret, celui de l'île d'Ansongo, qui a l'avantage pour nous (et l'inconvénient pour l'aménageur) de regrouper en un seul lieu toutes les variantes de milieu rencontrées ailleurs. Nous avons ainsi établi différents documents qui figurent :

- le milieu physique et son organisation par un bloc diagramme (pl. I*) ;
- la crue par une courbe de variation de sa hauteur en fonction du temps (fréquence 0,8 et 0,5) (fig. 2).

Pour bien comprendre les systèmes d'utilisation actuels et potentiels des terres alluviales de la région étudiée, il est indispensable de connaître le régime hydrologique du

(1) IRAT-GERDAT, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex, France.

*Les planches se trouvent à la fin de la publication.

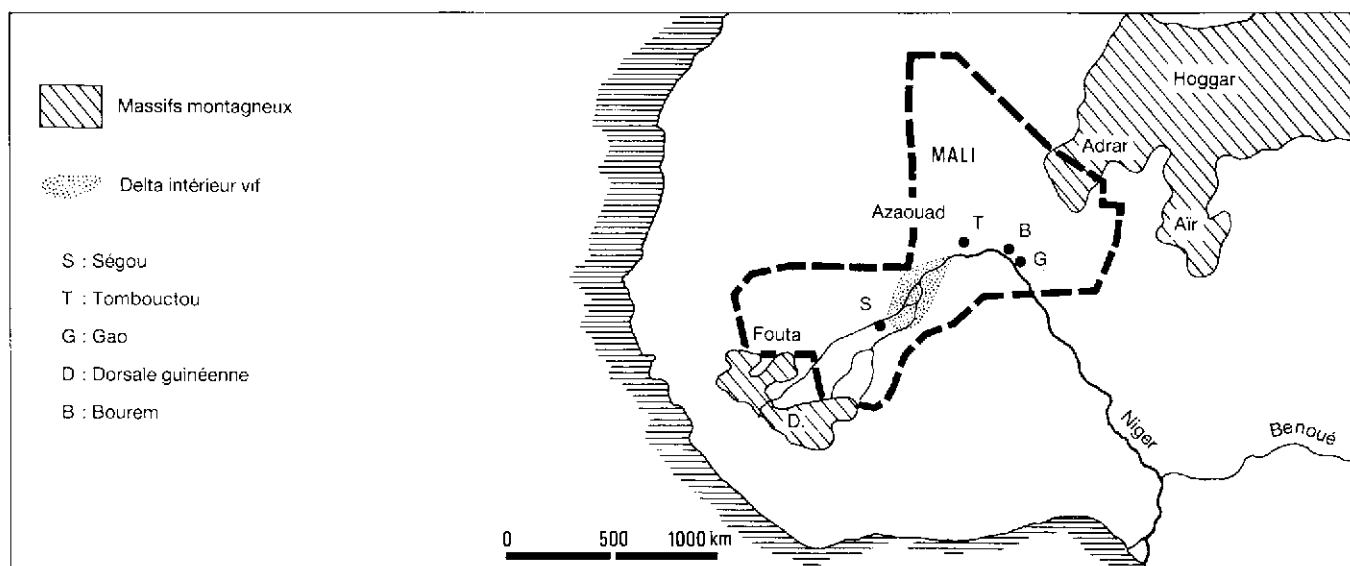


Fig. 1a : Carte schématique du bassin du Niger.

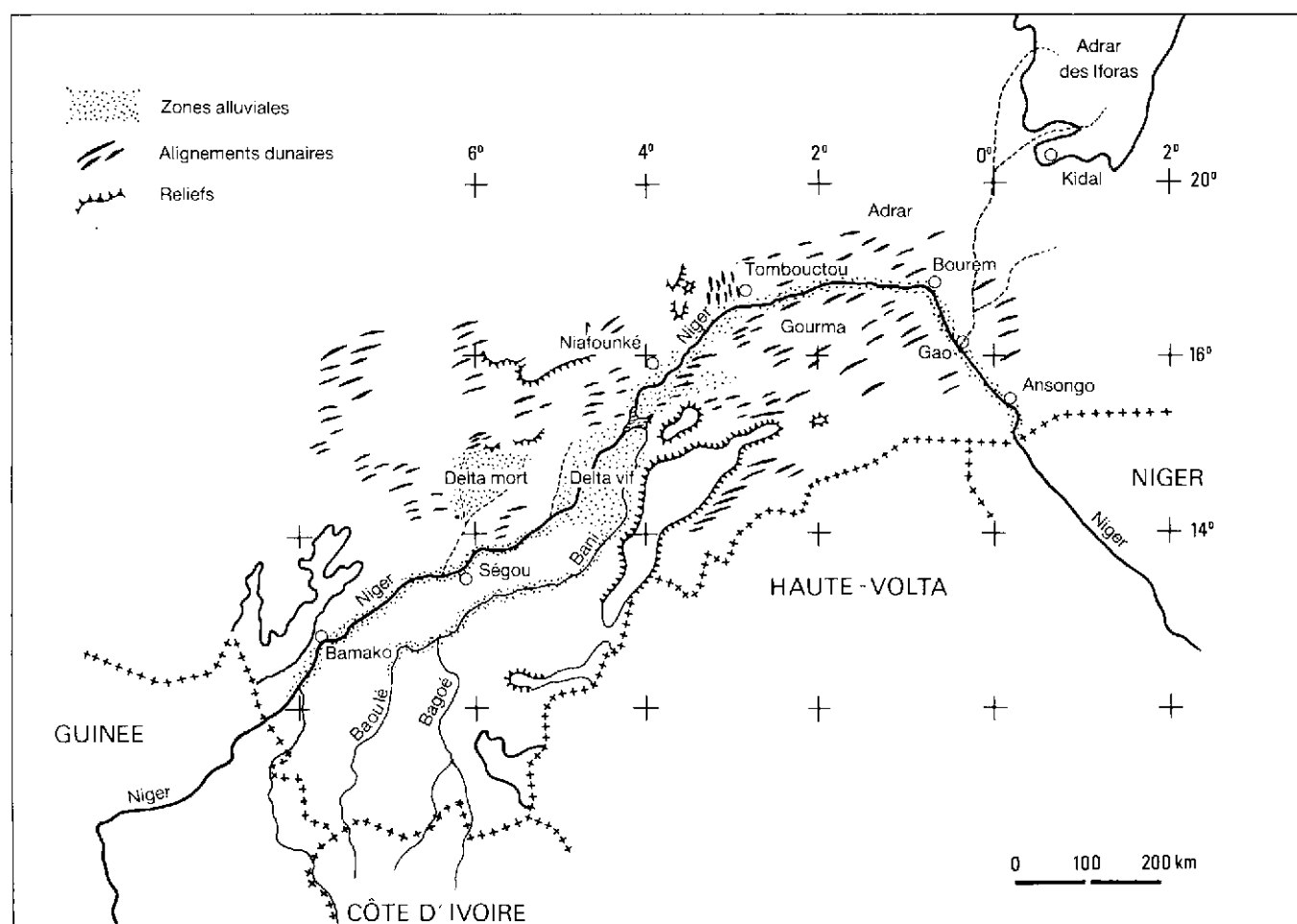


Fig. 1b : Schéma morphologique du moyen bassin du Niger.

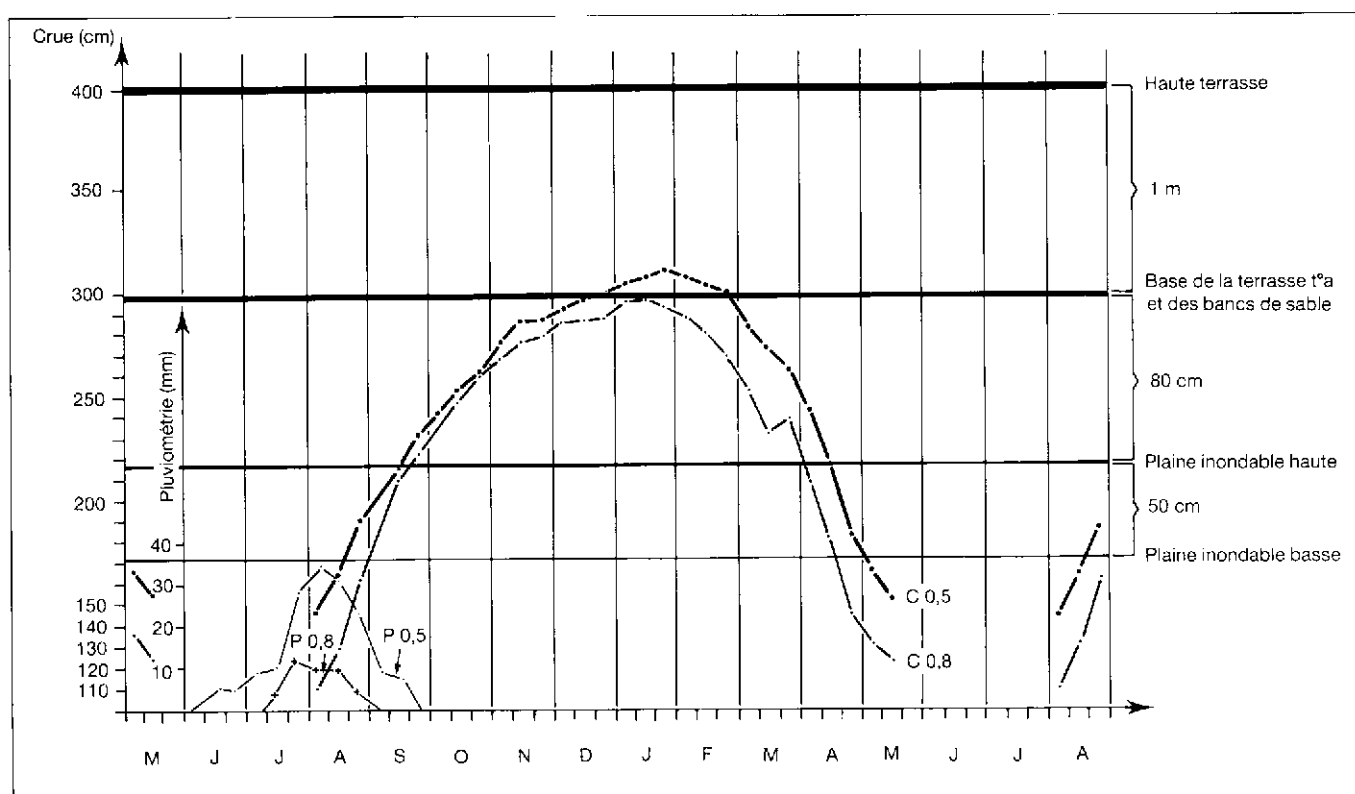


Fig. 2 : Représentation schématique de l'onde de crue et des différents niveaux de terrasses alluviales du Niger à Ansongo. En bas à gauche : pluviométrie observée à Gao.

fleuve. Pour cela, il est essentiel de rappeler certains éléments morphologiques du bassin du Niger qui conditionnent le régime hydrologique observé aujourd'hui.

Le bassin du Niger

Le fleuve Niger a un bassin complexe lié à une longue histoire pendant le tertiaire et surtout le quaternaire. Schématiquement, on peut y distinguer un bassin amont où l'écoulement s'effectue du sud vers le nord, et un bassin aval où l'écoulement se fait du nord vers le sud et dont nous ne décrivons que la partie amont (cf. fig. 1).

Le bassin amont de type endoréique

Le premier est comparable au bassin de Logone et du Chari qui se déversent dans le Tchad. Le lac Debo en est l'aboutissement actuel en arrière du barrage constitué par des dunes de l'erg de Niafunke. C'est un bassin de type endoréique dont la terminaison, en aval de Ségou, constitue un vaste bassin d'épandage deltaïque. Ce dernier est désigné sous le nom de « delta intérieur vif du Niger » (par comparaison avec un ancien delta actuellement non fonctionnel appelé « delta mort », partiellement mis en valeur par l'Office du Niger).

Ce bassin ne trouve un écoulement vers le bassin aval, et finalement vers le golfe du Bénin, que par l'intermédiaire d'une portion de vallée complexe désignée sous le nom de « boucle du Niger ».

Le bassin aval s'écoulant vers le golfe de Guinée

La boucle du Niger

Au sortir du lac Debo, le Niger s'engage dans l'erg de Niafunke qu'il traverse à l'étroit, en suivant un tracé sinueux contournant les alignements de dunes. Après s'être à nouveau élargie, la vallée s'incurve vers l'est à la hauteur de Tombouctou et garde cette nouvelle direction ouest-est jusqu'à Bourem, après le passage du « défilé » de Tossaye. Elle prend alors brusquement une direction nord-ouest - sud-est qu'elle conservera jusqu'au Nigeria dans le bassin aval du fleuve.

C'est la partie amont de cette dernière portion de vallée qui fait l'objet de notre étude.

Le cadre géologique et géomorphologique

Ici, comme dans bien d'autres vallées inondables, le réseau hydrographique, tel que nous pouvons l'observer aujourd'hui, est le résultat de nombreuses vicissitudes. Pour l'essentiel des phénomènes, l'histoire est d'âge quaternaire, et mieux quaternaire récent.

D'après J. TRICART (1969), au cours de l'ère tertiaire le Niger actuel se composait de deux bassins-versants sans

communication : un bassin situé en amont du delta intérieur actuel et un bassin aval, dont l'écoulement se prolongeait jusque vers le golfe de Guinée.

Le Niger du bassin amont se perdait dans une série de cuvettes, de lacs, de vastes dépressions endoréiques dans lesquels de puissantes couches de matériel détritique purent sédimenter grâce à un affaissement tectonique lent. Suivant les oscillations climatiques, le Niger se perdait plus ou moins loin au nord ou au voisinage de Tombouctou. Cette sédimentation se poursuivait pendant une grande partie du tertiaire (Continental Terminal) et du quaternaire ; son importance relative ainsi que sa nature varièrent en fonction des oscillations climatiques. La crue apportait les produits de l'altération des roches ou de l'érosion mécanique des sols de l'amont du bassin-versant : la dorsale guinéenne. Plus tard, « ce remblaiement a fini par déborder de la cuvette tectonique et par envoyer le léger bombement de Tossaye qui la délimite à l'est. De la sorte, le Niger, à l'avant-dernier pluvial (Ouljien*), a pu se déverser en divaguant sur sa plaine d'ennoyage dans un cours d'eau qui descendait de l'Adrar** et qui atteignait le golfe de Guinée. La capture de Tossaye est, en fait, un déversement » (TRICART, 1969).

Suite à ce déversement, la portion de vallée qui nous intéresse a été le siège d'entailles pouvant mobiliser puis redéposer des sédiments grossiers et de sédimentations donnant des alluvions tantôt argileuses, tantôt sableuses en fonction de leur position dans la vallée inondable.

Le régime hydrologique du Niger

Le Niger est donc un fleuve allogène dont les eaux et les alluvions viennent de très loin, de la dorsale guinéenne (sud du Mali, nord de la Côte d'Ivoire, nord-est de la Guinée (fig. 1a). On retrouve ici un caractère commun avec le Nil ou le Tigre et l'Euphrate.

Mais ici la progression de la crue et sa durée sont fortement perturbées, d'abord par son étalement dans le vaste « delta intérieur vif », puis par son écoulement difficile dans l'étroit passage entre les dunes de l'erg de Niafunke en amont de Tombouctou (fig. 1b).

La crue est décalée dans le temps. « L'onde de crue progresse rapidement en amont et se ralentit considérablement dans le delta, où elle ne se déplace plus que de 5 km par jour. Ainsi, les maxima sont atteints entre le 15 septembre et le 15 octobre à Ségou » (BERTRAND, 1975). Ils ne le sont que fin novembre à fin décembre à la sortie du delta pour ne l'être qu'en janvier à Gao, dans la portion de vallée qui nous intéresse.

Mais, si l'inondation de la plaine alluviale est très retardée, l'arrivée de la crue dans le lit mineur l'est beaucoup

*Les chronologies affinées depuis semblent indiquer une date très récente, 8 000 à 11 000 BP (BP : « before present » c'est-à-dire avant 1950) (MICHEL, ELOUARD, FAURE, 1968, *in* : BERTRAND, 1974).

**Adrar des Iforas : le cours d'eau étant probablement un affluent du Tilemsi.

moins (quinze jours à un mois). L'onde de crue est plus étalée dans le temps : quatre mois à l'entrée dans le « delta vif » et de huit à dix mois à Gao (en fonction des années, fig. 2). L'inondation de la plaine alluviale la plus basse se situe entre septembre et le début d'avril, soit un peu plus de sept mois. Il s'ensuit que si la disponibilité de l'eau dans le temps est très grande (dix mois environ), par contre, la durée de l'inondation nécessite l'utilisation d'un matériel végétal adapté ou de techniques culturales particulières (cf. plus loin sorgho de décrue).

De plus, l'inondation du « delta intérieur vif » a pour conséquence une sédimentation importante des matériaux en charge dans le Niger. Ainsi, à l'entrée dans le delta, la charge moyenne est de l'ordre de 75 g/m³ (GALAIS, 1967), soit trois à quatre fois moins que le Sénégal, le Tigre et l'Euphrate ou que le Nil avant la construction du haut barrage d'Assouan. Dans la boucle du Niger, cette charge est plus réduite encore : 8 à 15 g/m³, selon GALAIS (1967). On comprendra ainsi que les conditions d'alluvionnement et de façonnement fluvial soient très éloignées de celles des grands fleuves de la zone périméditerranéenne déjà évoqués.

En résumé, dans la boucle du Niger en aval du seuil de Tossaye l'alluvionnement actuel est très faible et le façonnement fluvial correspond plus à des remaniements d'alluvions qu'à des sédimentations.

Le déversement du Niger par le seuil de Tossaye favorise plus l'entaille que l'accumulation. L'alluvionnement par les « limons fertiles », sans être nul, est très réduit. Les conditions sont donc nettement différentes de celles qui ont favorisé le développement des « civilisations prestigieuses » nilotiques ou mésopotamiennes.

Le régime d'inondation, très étalé dans le temps, est à la fois un facteur favorable et un facteur limitant : favorable parce que l'eau est disponible pendant une longue durée ; limitant (en l'absence d'ouvrages de maîtrise de l'eau) car peu de plantes sont adaptées à ce régime d'inondation de très longue durée.

Dans la région, la crue et la submersion du lit majeur qui l'accompagne règlent les activités agricoles. En effet, sauf dans l'extrême sud de la région, entre Ansongo et la frontière Mali-Niger, le climat trop aride ne permet guère l'établissement de cultures pluviales.

Aperçu climatique

Le climat de la région a été qualifié de tropical sahélio-saharien (AUBREVILLE, 1949).

Pluies

Les précipitations annuelles dans la région étudiée sont en moyenne de l'ordre de 200 mm (fig. 2). Elles décroissent du sud vers le nord : environ 250 mm à Ansongo, 170 mm à Gao et 150 mm à Bourem. Nous ana-

lyserons plus en détail les données de Gao qui sont les seules pour lesquelles nous disposons de sources sûres (revues et corrigées par le CIEH, 1975).

À Gao, les premières pluies utiles apparaissent au cours de la troisième décade de juillet : 29 mm en moyenne, mais à peine 13 mm deux années sur dix. Ensuite, tout le mois d'août est relativement bien arrosé et les pluies s'arrêtent dès fin août. Pour la dernière décade d'août, la pluie est supérieure ou égale à 5 mm seulement deux années sur dix. Il n'y a donc, en définitive, que trente jours deux années sur dix, et quarante jours une année sur deux où la pluie puisse assurer les besoins hydriques des cultures : sans irrigation, les semis ne sont donc possibles qu'à partir de fin juillet.

Températures

Du point de vue des cultures, il faut souligner :

- que les températures minimales sont inférieures à 20 °C de novembre à mars. C'est uniquement pendant cette période que la culture du blé, et éventuellement celle de l'orge sont possibles ;
- que les températures minimales les plus faibles (15 °C), de décembre à février, risquent d'être peu favorables à une germination rapide et régulière du riz et à la bonne croissance du sorgho.

Vents

La fréquence élevée et la force des vents constituent des traits saillants du climat de la région :

- en saison sèche, les vents soufflent 75 % du temps selon une direction nord-est - sud-ouest. Ce sont des vents secs et chauds ;
- en saison des pluies, ils soufflent à 69 % du temps en direction opposée du sud-ouest au nord-est. Ce sont des vents humides et chauds.

La caractéristique principale de ces vents est leur violence. Ils soufflent en moyenne à une vitesse de 5 à 6 m par seconde. Les vents à 10 m/s sont fréquents. Ils atteignent et dépassent souvent des vitesses de l'ordre de 18 m/s (60 km/h) à la fin du printemps et avant la saison pluvieuse, période pendant laquelle les vents de sable peuvent survenir plusieurs fois par semaine.

On comprend le pouvoir érosif de ces vents lorsqu'on sait qu'ils surviennent au moment où les sols sont les plus secs (les plus mobilisables) et que le pouvoir de déflation est fonction du cube de la vitesse du vent. Le potentiel érosif dépasse ici 200 t/ha par an. Mais, outre les effets néfastes à attendre d'un tel potentiel de dégradation des sols, il faut insister sur l'effet du vent sur l'augmentation des besoins en eau des plantes et sur la gêne pour l'irrigation par aspersion. On comprendra aisément que l'installation de brise-vent constitue dans ces conditions une pratique très intéressante, voire indispensable.

Les différentes unités de paysage

L'organisation du paysage est présentée d'une manière résumée sur le bloc diagramme de la planche I. La vallée du Niger se compose ici de trois grands types de milieux :

- la plaine alluviale non inondable ;
- la plaine alluviale inondable haute ;
- la plaine alluviale inondable basse.

La plaine alluviale non inondable

Lambeaux de la haute terrasse graveleuse (T_{II} de BLANCK)

À Ansongo, ces lambeaux en deux bandes de 200 à 500 m de large, s'étendant sur 4 à 5 km de long, constituent les zones les plus hautes de la plaine alluviale. Ils dépassent le niveau des plus hautes crues de plus de 2 m. Ce sont les restes d'un remblaiement ancien, probablement du quaternaire moyen, donc préalables au déversement du Niger par-dessus le seuil de Tossaye. Le matériau est composé de 70 % de galets de quartz de 1 à 3 cm de diamètre dont l'indice d'usure est très variable et de 30 % d'une matrice rouge sableuse, par endroits sablo-argileuse. Localement, quelques indurations en carapace ferrique ont pu être observées. Le fait pédologique le plus important est la présence d'accumulations de calcaire sous forme de pseudomycélium (1 % de CO₃ dans la terre fine) et de gypse (1 % de la terre fine). Le calcaire s'accumule parfois sous les galets. On a donc affaire à des sols rubéfiés calcimorphes polyphasés qui attestent d'un long passé pédogénétique. Du point de vue agricole, cette unité ne présente aucun intérêt. Cependant, en raison de sa position topographique haute, elle est très favorable à l'installation de constructions permanentes. Sables et graviers constituent une source de matériaux de construction intéressante.

Terrasse sablo-argileuse sub-récente (haute terrasse T_{II} de BLANCK)

La mise en place de cette terrasse a été précédée d'une période aride, appelée Ogolien au Sénégal et en Mauritanie, au cours de laquelle la région de la boucle du Niger a été envahie par des formations dunaires (BLANCK *et al.*, 1968). Les dunes ont barré la vallée, et le Niger se perdait alors en amont de Mopti (TRICART, 1965).

La période humide qui a suivi a été marquée par le déversement du Niger par-dessus le seuil de Tossaye et par le remaniement du sable des dunes par le fleuve aboutissant à la mise en place d'une « haute terrasse » (T_{II} de BLANCK *et al.*, 1968). « Il semble, qu'à cette époque, la vallée de Tilemsi fonctionnait encore, témoin la vaste terrasse sableuse qui occupe le fond de la vallée à l'est de Gao et dans laquelle on trouve par endroits des bancs de graviers de quartz » (BLANCK, 1968). Cette période humide correspond à l'Ouljien de TRICART ; elle peut

être assimilée à la période humide post-ogolienne du Sénégal (8 000 à 11 000 BP). Cette terrasse domine le cours du Niger de plusieurs mètres et la hauteur des hauts niveaux d'inondation d'environ 1 à 2 m. Sa base se situe vers 246 m d'altitude à Ansongo. Entre les lambeaux de la haute terrasse graveleuse, elle est située vers 247 m. S'agit-il de colluvionnements, de piégeage de sable, ou d'un niveau de terrasse intermédiaire ? Quelques profils en travers bien choisis le long de la vallée permettront de répondre à cette question.

Dans l'île d'Ansongo, cette terrasse présente une topographie extrêmement plate et uniforme dans l'ensemble, sauf sur les bordures où elle est plus ou moins envahie par des dépôts éoliens accumulés par le vent en rebdous et nebkas.

Les sols sont en majeure partie rubéfiés et à texture sableuse à sablo-argileuse. Ils présentent souvent des accumulations de calcaire en pseudomycélium et localement en légers encroûtements, et de faibles proportions de gypse.

Les vitesses d'infiltration y varient autour de 40 à 50 mm/h, sauf localement sur quelques plages à sols sodiques où elles sont réduites à 0,5 mm/h.

Une nappe phréatique alluviale existe à une profondeur de l'ordre de quelques mètres, mais l'on ne dispose d'aucune information valable à son sujet.

Cette terrasse est très étendue (50 à 100 000 ha) et garde à peu près les mêmes caractères, à quelques détails près, entre Tombouctou au nord et Labezanga (à l'extrême sud). Très souvent dépourvue de végétation, elle est soumise, par endroits, à une déflation éolienne intense. Elle se prête, à notre sens, à de grands aménagements irrigués, à condition de pomper dans le fleuve voisin ou dans des dérivations. Cette terrasse, entre Bourem et Ansongo, mériterait une étude pédologique de reconnaissance. Elle représente sans doute une grande richesse potentielle pour la région (cane à sucre, cultures vivrières et industrielles variées).

Formations récentes non ou peu inondables (T^{oa} de BLANCK)

Ces formations se sont mises en place postérieurement à la terrasse sablo-argileuse récente, après un épisode plus sec au cours duquel se sont édifiées de petites dunes (t') d'orientation générale nord-sud. Le climat est devenu plus humide. Au cours de cette période pluvieuse, le Niger a édifié une terrasse récente entaillée dans la terrasse précédente. Ainsi, de nombreux bancs de sable résiduels plus ou moins étendus ont été mis en place. Il semble que l'on puisse assimiler cette phase au Nouakchottien du Sénégal (5 500 BP) d'après BLANCK (1968) et BERTRAND (1973). Dans l'île d'Ansongo, ces bancs de sable récents se sont mis en place par entaille de la haute terrasse, ou se sont édifiés à partir des matériaux sableux de cette terrasse. Ils se présentent en unités allongées

dans le sens de l'écoulement du fleuve. Longues de quelques centaines de mètres à plusieurs kilomètres, ces unités ont une largeur très variable, de 50 m à près de 1 km. Cette terrasse se situe entre 245 m à sa base et 246 m pour certaines levées et formations éoliennes, c'est-à-dire très légèrement au-dessus du niveau maximum des crues de fréquence 0,8.

Nous avons distingué deux variantes selon l'existence ou non de remaniements éoliens actuels. En règle générale, les parties basses longtemps humides ne présentent pas de remaniements éoliens.

Régime hydrologique

En effet, les bancs de sable sont, semble-t-il, soumis au régime hydrologique suivant :

- crue : la crue n'atteint jamais les parties les plus élevées, elle recouvre exceptionnellement et pendant des durées limitées les parties basses de l'unité. Ce fait est corroboré, pensons-nous, par l'absence de remaniements éoliens dans les zones basses, où le sable longtemps humide résiste à la déflation éolienne et où le clapotis disperse les petites accumulations qui pourraient se former ;
- nappe phréatique : dans la plupart des périmètres, il existe une nappe phréatique proche de la surface, même en période d'étiage. Cette nappe, dont la montée accompagne celle du fleuve, progresse librement dans ces formations très perméables ; le battement de nappe n'affecte que la base des sols dans le cas des zones élevées, mais concerne tout le profil dans les zones plus basses.

Modelé

Les zones hautes ont un modelé très chaotique lié à la présence de remaniements éoliens actuels en nebkas, et plus localement, en rebdous.

Les zones basses ont au contraire un modelé régulier.

Conclusion

Les défauts actuels de ces terres sont liés à leur texture sableuse :

- perméabilité excessive (>50 mm/h) ;
- réserves hydriques et minérales faibles ;
- engorgement partiel ou total du profil en période de crue avec même localement, lors de fortes crues, une inondation peu profonde et de faible durée.

Ces caractères sont tels que ces terres sont peu utilisées et ne paraissent pas faire l'objet d'une appropriation très forte. Elles présentent cependant des potentialités intéressantes liées à la présence de la nappe phréatique peu profonde.

La plaine alluviale inondable haute (formations alluviales récentes inondables)

« Après la période humide t^{oa}, où se sont mises en place les formations récentes non inondables précédentes, le

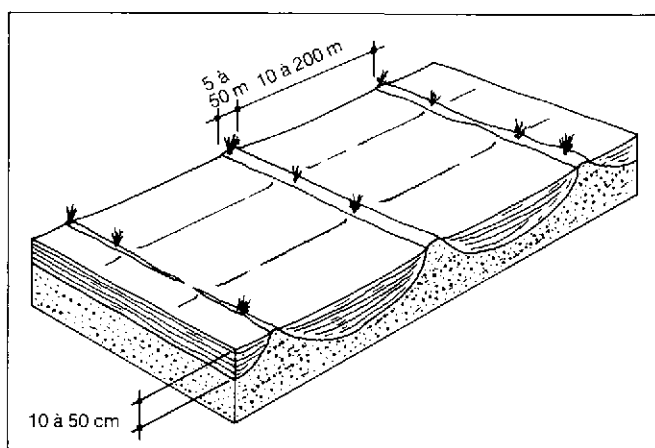


Fig. 3 : Modelé et matériaux de la plaine inondable haute.

climat est devenu un peu plus sec. Cette pécjoration du climat s'est faite progressivement et a marqué un palier au cours duquel se sont mis en place des bancs de sable, les levées alluviales t^{ob} , ainsi que quelques lambeaux de terrasses alluviales sablo-argileuses, qui, le plus souvent, constituent un replat dans les rebords de la terrasse t^{oa} » (BLANCK, 1968).

À cette époque, la zone d'inondation du fleuve était déjà à peu près celle que nous connaissons aujourd'hui. Les crues, semble-t-il, étaient plus fortes que maintenant. Le fleuve incisait les bancs de sable et les arasait ici pour en édifier d'autres là, tandis que, dans les cuvettes de décantation latérales, il déposait des argiles. Il s'agit donc là d'une continuation de la dynamique d'incision précédente dont les conséquences pour l'aménagement sont essentielles.

En effet, une telle dynamique d'entaille explique la présence d'un modelé transversal très ondulé que les dépôts argilo-limoneux postérieurs n'ont pu colmater que très partiellement.

Nous avons ainsi été amenés à distinguer :

- des bancs de sable arasés et incisés en chenaux ;
- des lambeaux de terrasse argileuse.

L'altitude moyenne de ces derniers se situe vers 244,2 m au droit d'Ansongo, c'est-à-dire 80 cm en dessous du niveau maximum des crues de fréquence 0,8.

Les bancs de sable arasés et incisés en chenaux faiblement colmatés d'argiles subactuelles. Il s'agit d'une unité très hétérogène (fig. 3) en ce qui concerne les sols. En effet, les bancs de sable récents mis en place au cours du Nouakchottien ont été incisés par des chenaux subparallèles laissant subsister entre eux des crêtes sableuses. Le colmatage argileux postérieur actuel ou plutôt subactuel ne remplit pas complètement les chenaux. Ainsi, entre les chenaux évasés de quelques dizaines de mètres, voire quelques centaines de mètres de large, des crêtes sableuses de quelques mètres à quelques dizaines de mètres de large subsistent. Le remplissage argileux des chenaux a

une épaisseur irrégulière : quelques dizaines de centimètres dans les cas les plus favorables. Par ailleurs, au sud de l'île, l'incision des chenaux atteint fréquemment le substratum rocheux.

Cette unité est largement représentée dans toute la vallée en aval de Bourem. Dans la plaine alluviale inondable, elle occupe, suivant les tronçons considérés, entre 30 et 60 % de la superficie de la plaine inondable.

On peut associer à ce type de milieu celui des rares et peu étendues levées de débordement.

Les lambeaux de terrasse argileuse récente. Cette unité représente des témoins de cuvettes de décantation. Elle est située nettement plus haut que les cuvettes de décantation actuelles et, de ce fait, présente des caractères pédologiques différents ou plus affirmés : caractères verticaux, saturation du complexe absorbant.

Régime hydrologique

Comme on l'a vu plus haut, la submersion de la plaine d'inondation haute est tardive et de durée relativement courte : six mois environ pour les lambeaux de la terrasse argileuse récente, plus variable pour les bancs de sable arasés dont l'altitude est moins régulière. Ici, une différence d'altitude de 50 cm se traduit par un décalage d'environ deux mois pour la venue et le départ de la crue ; les crêtes sableuses résiduelles et leurs bordures immédiates ne sont donc vraisemblablement inondées que un à deux mois en année moyenne.

Conclusion

Les défauts de ces formations alluviales récentes inondables sont, d'une part, le morcellement et l'hétérogénéité latérale des sols et, d'autre part, l'irrégularité de la topographie. Il convient d'y ajouter, au sud de l'île d'Ansongo, la présence d'affleurements rocheux.

La plaine inondable basse (formations subactuelles)

L'altitude de ces formations au droit d'Ansongo est d'environ 243,7 m, c'est-à-dire environ 1,3 m en dessous du niveau maximum des crues de fréquence 0,8.

Ce milieu est constitué essentiellement de dépôts argileux à modelé relativement plat, parcourus par un réseau de chenaux à tracé sinueux présentant de fréquentes anastomoses. Au nord de l'île, où le socle rocheux est profond, on note quelques cuvettes correspondant aux cours d'anciens bras du Niger. On y a observé des surcreusements locaux. Dans le détail, on peut distinguer dans ces formations subactuelles :

- des dépôts argileux épais et continus, matelassant un ancien modelé et reposant le plus souvent sur des sables grossiers. Ces sables, épais au nord de l'île, plus minces et fréquemment absents au sud, sont évidemment l'héritage de conditions de dépôt différentes de celles qui ont prévalu pour l'argile qui les recouvre. Ils dérivent du remblaiement sableux initial (post-ogolien ou plus ancien) de

la vallée. Le dépôt argileux superficiel est le plus souvent une argile sableuse. Elle présente une porosité tubulaire bien développée, soulignée par des oxydes de fer rougeâtres ; la perméabilité est moyenne, de l'ordre du centimètre heure ;

- des cuvettes qui, hormis leur topographie, présentent les mêmes caractéristiques que les dépôts précédents ;
- des chenaux servant à la fois lors de l'arrivée de la crue et au moment de la vidange ; c'est cette dernière dynamique qui les marque le plus et oriente la direction générale du réseau parallèlement à l'axe d'écoulement du fleuve.

Dans la partie sud de l'île d'Ansongo, leur fond présente de nombreux obstacles rocheux.

Régime hydrologique

L'inondation de la plaine inondable basse est précoce ; elle commence par les chenaux et les cuvettes, ces dernières pouvant s'inonder par remontée de la nappe en l'absence de communication directe avec le fleuve.

L'inondation atteint la majeure partie des dépôts en août ; elle persiste en moyenne huit mois. Pendant quatre mois, la lame d'eau a 1 m d'épaisseur et plus.

La nappe suit le rythme de l'onde de crue, mais avec un certain décalage à la descente ; témoins de cette dynamique, les puits creusés dans les points bas atteignant la nappe phréatique peu profonde dans les formations sableuses qui forment le soubassement de la plaine. Ils servent à alimenter de petits campements dans la plaine pendant l'étiage.

Conclusions

Le Niger, entre le seuil de Tossaye (près de Bourem) et la frontière nigérienne, traverse une région à climat aride, sub-saharien, dans laquelle les cultures pluviales sont quasiment impossibles, sauf dans l'extrême sud.

La plaine alluviale peut y être subdivisée en deux parties :

- une plaine inondable comprenant :
 - une plaine inondable basse, à modelé régulier et sols argileux hydromorphes, cultivée en riz flottant et en sorgho de décrue avec une espérance de rendement médiocre à faible ;
 - une plaine inondable haute, à modelé très ondulé dans le détail et à sols à texture très variable, cultivée en riz semi-flottant et en sorgho de décrue avec une espérance de rendement très aléatoire ;
- une plaine non inondable, à sols limono-sableux rouges plus ou moins calcaires, actuellement non cultivée.

Cette morphologie de la vallée alluviale évoque celle d'une suite de marches d'escalier très larges (pl. I) séparées par des contremarches de quelques décimètres de haut, quoique inégales.

Dans la portion de vallée étudiée, la crue est décalée dans le temps et sa durée est très allongée (par rapport aux pluies qui en sont la cause) en raison de son étalement dans le vaste « delta intérieur vif » puis de son écoulement difficile dans l'étroit passage entre les dunes de « l'erg de Niafunke » en amont de Tombouctou. L'onde de crue débute ici fin juillet, atteint son maximum en janvier, pour revenir à l'étiage fin mai.

L'organisation du paysage naturel, en marches d'escalier, conjuguée avec la montée régulière de la crue (1 à 2 cm par jour) permet de comprendre la dynamique d'inondation des plaines du lit majeur. La submersion des différents niveaux des alluvions inondables se fait en plusieurs temps. Les eaux débordent du lit mineur du fleuve fin août et envahissent en quelques jours le premier palier (la plaine inondable basse). Puis les eaux s'élèvent lentement dans ce premier lit majeur. Il faudra attendre un mois pour que la crue submerge brusquement le second palier (la plaine inondable haute). La crue continue à monter jusqu'au début de janvier. Les eaux lèchent alors le troisième palier, qui n'est inondé que lors de crues exceptionnelles. Le retrait des eaux s'effectue très lentement jusqu'à la mi-avril où le fleuve ne coule plus que dans son lit.

Bien entendu, les paysans du cru ont mis au point toute une série de techniques culturelles pour tirer le meilleur parti des caractéristiques du milieu dans la plaine inondable : climat, sols, modelé et crue. Leurs techniques constituent une excellente adaptation à la dynamique du milieu mais ne tentent nullement de la domestiquer. L'indigence, sinon l'absence, de leurs moyens d'intervention font que la productivité est non seulement faible mais le plus souvent aléatoire. Pourtant, en raison des ressources en terres et en eaux, le potentiel de production paraît très important, à condition toutefois de pouvoir les mobiliser le plus complètement possible, non seulement par des aménagements hydroagricoles malheureusement coûteux et par conséquent limités dans l'espace, mais aussi et peut-être surtout par l'adaptation, par la mise en œuvre de techniques hydroagricoles simples, efficaces, peu onéreuses et éprouvées dans des pays écologiquement voisins : Afrique noire saharienne, Egypte, Pakistan, Inde. Ces techniques font autant appel à l'exhaure artisanale ou animale (chadouf, noria...) qu'à l'utilisation de cultures susceptibles de mobiliser l'eau située à quelques mètres de profondeur (palmier-dattier et fourrages arbustifs).

Bien entendu, la mise en œuvre de ces techniques au moindre coût, au moindre effort humain, animal ou économique suppose une stricte adaptation des techniques aux caractéristiques du milieu que nous avons décrites.

*Reçu le 10 novembre 1983.
Accepté le 26 avril 1984.*

Références bibliographiques

- BERTRAND R., 1974. Les systèmes de paysage des plaines inondables du delta vif du moyen Niger (Mali). *L'Agron. Trop.* 24 (2-3) : 154-212.
- BERTRAND R., 1980. Reconnaissance morphopédologique, plaine d'Ansongo, extensions (région de Gao, Mali). Montpellier, IRAT, 13 p., carte.
- BERTRAND R., 1980. Reconnaissance morphopédologique, plaine de Bourem-Forghas (région de Gao, Mali). Montpellier, IRAT, 12 p., carte.
- BERTRAND R., 1980. Reconnaissance morphopédologique dans la région de Gao, Mali. Notices explicatives des cartes d'aptitudes culturales. Montpellier, IRAT, 12 p., carte.
- BLANCK J.-P., TRICART J., 1968. La boucle du Niger (Mali). Cartes géomorphologiques et notice. Projet d'aménagement. Strasbourg, Centre de géographie appliquée.
- BOURGEON G., 1978. Reconnaissance morphopédologique, plaine de Gargouna (région de Gao, Mali). Montpellier, IRAT, 14 p., carte.
- BOURGEON G., 1978. Reconnaissance morphopédologique, plaine d'Ansongo (région de Gao, Mali). Montpellier, IRAT, 45 p., carte.
- BOURGEON G., BERTRAND R., 1984. Évaluation du milieu naturel des plaines alluviales de la boucle du Niger (Mali). II - Potentialités. *L'Agron. Trop.*, 39 (3) : 208-215.
- BROUWERS M., 1978. Reconnaissance morphopédologique dans les plaines de Tacharan et de Forgho (région de Gao, Mali). Montpellier, IRAT, 45 p., annexes, cartes.
- GALLAIS J., 1967. Le delta intérieur du Niger et ses bordures. Étude morphologique. Paris, CNRS, 153 p. (Mém. et doc., nouv. série, vol. 3).
- HUBERT H., 1912. Sur un important phénomène de capture en Afrique occidentale. *Bull. Assoc. Géol. Fr.*, n° 21.
- TRICART J., GUERRA de MACEDO, 1965. Rapport de la mission de reconnaissance géomorphologique de la vallée moyenne du Niger. Dakar, IFAN, 196 p. (Mém. n° 72).
- TRICART J., CAILLEUX A., 1969. Le modelé des régions sèches. Paris, SEDES, 472 p.
- URVOY Y., 1935. Terrasses et changements de climat quaternaire à l'est du Niger. *Bull. Assoc. Géol. Fr.* : 254-265.
- URVOY Y., 1942. Les bassins du Niger. Paris, Larose, 139 p. (Mém. IFAN n° 4).

Summary

BERTRAND R., BOURGEON G. - Evaluation of the natural environment in the alluvial plains of the Niger River bend (Mali). I - Environment.

The authors outline the geographical situation of the Niger River Basin and explain why in the area considered (Gao) the hydrologic regime is characterized by the river flooding over an extended period of time (10 months) and out of phase with the summer rains.

They describe the alluvial valley in which they distinguish two main parts : floodable plains and non floodable plains.

The floodable plains show : a low plain with a regular land-form and rather thick hydromorphic clayed soils flooded under deep standing water (1 to 1.5 m) for 6 to 8 months ; a high plain with a cutting landform in which is found an irregular alternation of long sandy ripples and chanel with thin clayey surface deposits of varying depth and which is flooded (depth of water : 30 to 80 cm) for 4 to 6 months.

The non floodable plains comprise : planed sand banks ; at water level when the flood is maximum, they are shown to be locally reworked in micro-dunes by wind ; a terrace 1 to 2 m above the maximum height of standing water, with a very regular landform and very deep red sandy clay loamy soils, locally reworked in micro-dunes.

Taken as a whole the alluvial plain appears as a succession of steps and large landings of stairs, separated by height of stairs some decimeters high which explain the submersion regime of the floodable plains in time separate phases.

Key words : Niger River Valley, Mali, geomorphology, pedology, alluvial soils, hydrologic regime.

Resumen

BERTRAND R., BOURGEON G. - Evaluación del medio natural de las llanuras aluviales de la esquina del Niger (Mali). I - El medio.

Los autores, mediante una presentación geográfica general de la cuenca del Niger, explican porqué, en la región considerada (Gao), el régimen hidrológico se caracteriza por una onda de crecida muy extendida en el tiempo y desplazada respecto a las precipitaciones estivales.

Describen el valle aluvial, en el que distinguen dos partes : las llanuras inundables y las terrazas no inundables.

Las llanuras inundables comprenden : una llanura baja con relieve regular y suelos arcillosos hidromorfos relativamente espesos, inundada por una capa de agua alta (1 a 1,5 metro) durante 6 a 8 meses ; una llanura alta con relieve de incisión que hace alternar de manera irregular largos pliegues arenosos y canales con colmataje arcilloso de poco espesor y muy variable, inundada por una capa de agua poco espesa (30 a 80 cm) durante 4 a 6 meses.

Las llanuras no inundables comprenden : bancos arenosos enrasados por la erosión ; a flor de agua cuando el nivel de la crecida es máximo, éstos presentan modificaciones colias locales en micro-dunas ; una terraza que domina de 1 a 2 m el nivel de las aguas más altas, con relieve muy regular y suelos limo-arenosos rojos calcáreos muy espesos, localmente modificados en micro-dunas.

La llanura aluvial se presenta en conjunto como una sucesión de escalones, de vastos rellanos, separados por contrahuellas de unos decímetros de altura que explican el régimen de sumersión de las llanuras inundables en fases separadas en el tiempo.

Palabras-clave : Valle del Niger, Mali, geomorfología, edafología, suelos aluviales, régimen hidrológico.

Évaluation du milieu naturel des plaines alluviales de la boucle du Niger (Mali)

II - Potentialités

G. BOURGEON, R. BERTRAND (1)

RÉSUMÉ — Partant de l'analyse du milieu naturel de la boucle du Niger, présentée dans un autre article, le but des auteurs est de montrer comment, en s'appuyant sur la connaissance du milieu physique, on peut non seulement comprendre le fondement et les aléas des systèmes de culture traditionnels, mais aussi comment concevoir des améliorations de ces systèmes et proposer des modes de mise en valeur nouveaux concernant l'ensemble de la vallée et non pas seulement les plaines inondables.

Ainsi, après avoir rappelé les traits essentiels du modelé et du régime de crue, les auteurs expliquent, par des blocs diagrammes, le régime de submersion des plaines inondables et les relations d'altitude entre les diverses parties de la plaine et le niveau de la crue au cours de l'année. Cela permet d'abord de comprendre la parfaite adaptation, mais aussi la passivité des systèmes de culture traditionnels face au milieu, les aléas et la faible productivité qui s'ensuivent.

En second lieu, ce résumé de la dynamique du milieu permet : de déduire des propositions pour l'amélioration des systèmes traditionnels par de la petite hydraulique assortie d'une exhaure très réduite ; de constater que les aménagements lourds actuellement en projet (poldérisation) ne permettront guère une augmentation radicale de la production agricole, car ils sont limités à une partie des terres déjà utilisées ; d'attirer l'attention sur les terrasses non inondables dont le fort potentiel de production et de diversification agricole, méconnu ou négligé jusqu'à présent, pourrait être mis en valeur par l'irrigation sans nécessiter de gros travaux de génie civil (ni digue, ni barrage, ni investissements très lourds), soit au moyen de « petits périmètres irrigués villageois », soit par des projets de plus vaste ampleur.

Partant donc de l'analyse du milieu physique (figuré sur un bloc diagramme) qu'ils conjuguent avec la dynamique de la crue du Niger, les auteurs aboutissent ainsi à représenter sur un autre bloc diagramme ce que pourrait être le paysage agricole de la région : une vaste oasis comparable à celle de la vallée du Nil.

Mots clés : Vallée du Niger, Mali, évaluation des sols, régime hydrologique, aménagements hydroagricoles, petits périmètres, irrigation, oasis, riz flottant, sorgho, blé, palmier-dattier.

Le potentiel de production de la vallée du Niger a été reconnu depuis bien longtemps. Sans remonter à la colonisation marocaine des XVI^e et XVII^e siècles, il n'est que de se souvenir des idées de BÉLIME qui, après la première guerre mondiale, attira l'attention sur ces vastes terres

appelées à devenir une « nouvelle Égypte », le grenier de l'Afrique noire. Cela aboutit à la création de l'Office du Niger, dont les vicissitudes ont tenu à des problèmes humains et sans doute surtout à la méconnaissance du milieu physique. « Plutôt que d'utiliser les forces naturelles en les dirigeant, on préféra de coûteuses réalisations de travaux publics » (TRICART, 1962). Une des leçons de cet échec fut sans doute à l'origine de l'essor de la petite hydraulique au niveau des communautés rurales du cru ; sa consécration s'est manifestée par la multiplication des « petits périmètres villageois » dans toute la frange sahéenne de l'Afrique noire au cours des dix dernières années.

Ce que nous voudrions montrer ici c'est que, dans la boucle du Niger, en adaptant peu à peu leurs techniques de culture au fonctionnement du milieu naturel, les paysans ont abouti à un compromis de productivité qui serait acceptable dans notre monde moderne s'il n'était complètement soumis aux aléas climatiques et, partant, à ceux du régime de submersion, et donc trop souvent déficitaire. Nous voudrions aussi montrer que si des interventions, des aménagements importants, et par conséquent coûteux, peuvent théoriquement pallier ces insuffisances, des améliorations peuvent être conçues qui, sans bouleverser l'ordre traditionnel, sont susceptibles non seulement d'augmenter et de régulariser les récoltes, mais aussi de les diversifier. Fondées sur l'analyse des caractéristiques et du fonctionnement du milieu, ces améliorations consistent à profiter des opportunités offertes par ce milieu (des terres et des eaux) avec un minimum d'aménagements et d'efforts.

Il n'y a cependant pas pour nous opposition totale entre « grands périmètres hydroagricoles » et « petits périmètres villageois ». L'essentiel, dans ces deux modes de mise en valeur, est que les aménagements soient conçus et conduits non pas en s'arc-boutant d'une façon démesurée contre les forces naturelles, mais au contraire en composant le plus possible avec elles comme ont su le faire les nombreuses générations qui nous ont précédés.

Aperçu sur l'occupation humaine

Occupation humaine ancienne

La région a été habitée depuis des temps reculés. L'industrie lithique que l'on trouve sur les hautes surfaces

(1) IRAT-GERDAT, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex, France.

avoisnantes en est une preuve, tout comme d'ailleurs les nombreux « tells »* que l'on trouve dans la vallée proprement dite, aussi bien dans la boucle du Niger que plus en amont dans le delta intérieur (BERTRAND, 1973 ; S.K. et R.J. Mc INTOSH, 1983). Ces tells de plusieurs hectares de surface de base et de 5 à 10 m de haut évoquent ceux de la Mésopotamie.

Soulignons au passage que l'implantation actuelle de la ville d'Ansongo est très récente. Les tells situés dans l'île, en face de la ville actuelle, sont les vestiges des anciens emplacements d'Ansongo. Il est clair que ces situations insulaires offraient de grandes garanties de sécurité au cours des périodes troublées qu'a connues la région.

Plus récente et plus intéressante pour notre propos est la période historique telle qu'elle a pu être reconstituée par MUNIER (1963), notamment en ce qui concerne l'épisode de la conquête marocaine. Du XVI^e au XVIII^e siècle, les Marocains ont envahi la région et y ont développé une agriculture florissante en donnant un grand essor à la culture du palmier-dattier. Le déclin de cette agriculture et l'abandon de la culture du dattier semblent dus au départ des Arabes chassés par les Touaregs et aux guerres intestines avec les Songhais créant des conditions d'insécurité telles que les palmeraies disparaissent « à l'exception de quelques petits peuplements, touffes et pieds isolés » (MUNIER, 1963).

Occupation humaine actuelle

La région est actuellement occupée :

- soit par des paysans qui cultivent essentiellement du riz et du sorgho (et quelques cultures maraîchères) ; leurs villages sont implantés à proximité immédiate de la plaine inondable ;
- soit par des pasteurs nomadisant dans les pâturages sahéliens qui entourent la vallée et dont la productivité est directement soumise aux aléas climatiques. C'est dire leur vulnérabilité aux périodes de sécheresse.

Il existe une certaine complémentarité entre ces deux modes de vie : les troupeaux utilisent les résidus de récolte. Il ne s'agit pourtant pas toujours d'un échange duquel toutes les parties tirent un bénéfice égal, ce qui, dans le cadre de la création de périmètres irrigués, pourrait devenir une source de conflits.

Les cultures possibles dans la région et calendrier général de conduite

L'utilisation actuelle et l'histoire montrent qu'il est possible de cultiver ici riz, sorgho, mil, cultures maraîchères, fourragères, fruitières (palmier-dattier notamment).

L'exemple de régions proches ou dont les conditions

écologiques sont analogues incite à penser que des cultures de blé, d'orge, de niébé, de maïs, d'une grande gamme de produits maraîchers, fruitiers et fourragers sous palmeraie sont envisageables. On trouvera par ailleurs (BERTRAND, 1980) une étude sommaire des principales cultures possibles, ainsi que des commentaires sur les calendriers culturels tenant compte des exigences écologiques des cultures et des conditions de milieu propres à cette région. Il en ressort que les possibilités de double culture annuelle, en particulier de riz, ne sont guère envisageables sur de vastes superficies, même dans le cadre d'aménagements hydroagricoles très coûteux.

Rappel des principaux caractères du milieu

Organisation du relief et des sols

Dans un autre article (BERTRAND et BOURGEON, 1984), nous avons décrit avec un certain détail les différentes unités de paysage ; aussi nous nous contenterons ici d'en rappeler les grandes lignes. On trouvera aussi dans le bloc diagramme de la planche I*, l'organisation générale du paysage morphopédologique.

La plaine alluviale dans la boucle du Niger peut être subdivisée en deux parties :

- la plaine inondable se compose essentiellement de deux niveaux d'alluvions séparés par un petit gradin de 50 cm de haut environ :

- la plaine inondable basse présente un modelé régulier et des sols argileux hydromorphes relativement épais (50 cm à plus de 1 m) reposant le plus souvent sur un sous-bassement de sables lités ;

- la plaine inondable haute a un modelé très ondulé dans le détail. Il s'agit d'anciens bancs de sables arasés et incisés en chenaux faiblement colmatés par des dépôts argileux subactuels. C'est donc une unité à sols très hétérogènes du point de vue de leur texture, à la fois dans le sens vertical et dans le sens horizontal ;

- la plaine non inondable se compose de trois niveaux d'alluvions séparés par des gradins de 80 cm à 1 m de haut :

- des formations sableuses récentes situées à la limite des plus hautes eaux ;

- une terrasse sablo-argileuse située à 80 cm ou 1 m au-dessus du niveau des plus hautes eaux. Cette terrasse relativement ancienne présente des sols limono-sableux rouges plus ou moins calcaires. Elle est très étendue de part et d'autre du Niger et tout le long de sa vallée ;

- de rares lambeaux d'une haute terrasse graveleuse sans intérêt pour le développement des cultures.

* Colline artificielle, tertre ou tumulus formés par des ruines cf. planche I.

* Les planches se trouvent à la fin de la publication.

Conclusion

Cette organisation du paysage de la vallée évoque celle d'une suite de marches d'escalier ou de paliers très étendus séparés par des contremarches, des gradins, de quelques décimètres de haut.

Cette morphologie permet de comprendre le régime hydrologique ou d'inondation des plaines.

Le régime d'inondation

L'onde de crue

Dans un précédent article (BERTRAND et BOURGEON, 1984) nous avons exposé le régime hydrologique général du Niger. Nous avons expliqué comment l'onde de crue était ici largement décalée par rapport à la saison pluvieuse estivale. Nous avons aussi montré les raisons de son étalement dans le temps.

On trouvera dans la première partie de ce travail (BERTRAND et BOURGEON, 1984) un schéma représentant les hauteurs de crue (fréquence 0,8 et 0,5), les précipitations (fréquence 0,5) et l'altitude relative des différentes parties de la plaine alluviale (fig. 2). On remarquera sur cette figure que dans la boucle du Niger l'onde de crue est étalée sur dix mois environ puisque les eaux montent régulièrement de 1 à 2 cm par jour depuis fin juillet (au milieu de la courte saison des pluies) jusqu'à mi-janvier, et que le niveau de crue s'abaisse aussi régulièrement jusque vers la fin du mois de mai. Le niveau d'étiage est atteint quelques semaines après.

Outre la régularité de la montée et de la descente des eaux, le fait le plus important pour la mise en valeur est sans doute la disponibilité de grandes quantités d'eau pendant environ dix mois par an.

Le régime de submersion des plaines

Les blocs diagrammes des planches II et III illustrent le régime de submersion des plaines alluviales. Aussi, nous ne ferons que quelques commentaires. À la fin du mois de juillet et durant le mois d'août, le fleuve et ses défluent se remplissent d'eau. À la fin du mois d'août, le Niger coule à pleins bords puis déborde. Il submerge alors, en quelques jours, toute la plaine inondable basse (pl. IIb).

Pendant tout le mois de septembre, les choses semblent figées. Cependant, peu à peu la hauteur d'eau augmente dans la plaine alluviale. Brusquement, fin septembre, la crue submerge en quelques jours l'ensemble de la plaine inondable haute, laissant cependant émerger les sommets des ondulations, des rides de cette plaine pendant deux ou trois semaines. Jusque vers la fin mars rien ne semble évoluer : l'ensemble des plaines inondables est submergé (pl. IIIa). Cependant, la hauteur d'inondation se modifie. Elle augmente régulièrement jusqu'au début de janvier. À ce moment là, la hauteur d'eau atteint 1 m à 1,5 m sur la « plaine basse d'inondation », tandis qu'elle n'a que de 0,5 à 0,8 m sur la plaine haute d'inondation.

Mi-avril, le Niger réintègre son lit, laissant cependant des mares ici et là, soit dans des sillons entre les levées de la plaine inondable haute, soit dans certaines cuvettes (pl. IIIb). Les lits des défluent restent en eau jusqu'au début du mois de juin, date à laquelle on est revenu au niveau d'étiage (pl. IIa).

Les nappes phréatiques alluviales

D'une manière schématique, on peut considérer qu'une tranchée de quelques mètres de profondeur creusée dans la plaine ferait apparaître, sous une couche argileuse discontinue de 0,5 à 2 m d'épaisseur, une très épaisse assise de sable. Cette succession s'explique par l'histoire de la vallée, en particulier celle du déversement récent du Niger par-dessus le seuil de Tossaye, il y a 8 000 à 10 000 ans (BERTRAND et BOURGEON, 1984 ; BLANCK et TRICART, 1968 ; TRICART, 1965).

Une nappe phréatique peu profonde existe dans cette assise sableuse alluviale parfois très puissante, mais relativement peu épaisse aux environs des seuils rocheux (au sud d'Ansongo par exemple). Cette nappe phréatique communique très facilement avec le fleuve. Elle oscille donc en phase (quoique avec un certain décalage) avec l'onde de crue. En période de hautes eaux, le fleuve alimente la nappe ; par contre, en période de basses eaux, la nappe phréatique alluviale contribue à soutenir le débit d'étiage. Jusqu'à présent, aucune recherche hydrogéologique n'a été consacrée à l'étude de cette nappe qui s'étend pourtant en dessous des plaines alluviales non inondables, et ceci à quelques mètres de profondeur à peine. On imaginera le parti qui pourrait être tiré de cette nappe, soit en pompant dans des puits peu profonds, soit en utilisant des plantes à enracinement profond (palmier-dattier, arbres fourragers, etc.).

Conclusions

L'organisation du paysage naturel, en marches d'escalier, conjuguée avec la montée régulière de la crue, permet de comprendre la dynamique d'inondation des plaines du lit majeur du Niger. La submersion des différents niveaux se fait en plusieurs étapes ; les lits mineurs se remplissent peu à peu à partir de fin juillet, puis, un mois après, la plaine basse est submergée en quelques jours ; il faudra encore attendre un mois pour que, fin septembre, la plaine inondable haute soit à son tour inondée en quelques jours. Les techniques de culture mises au point par les paysans restent sous l'entière dépendance de ce régime de submersion avec tous les aléas qu'on peut imaginer pour peu que la crue soit en retard de quelques jours ou semaines. Pourtant l'eau est là, à quelques décimètres en dessous des terres de culture.

La mise en valeur traditionnelle

Les deux cultures essentielles de la région sont le riz et le sorgho.

Riziculture

Traditionnellement, le riz est semé « directement en sec » fin juillet. Les pluies assurent la germination et le début de la croissance. Si les pluies s'arrêtent trop tôt, avant l'arrivée de la crue, les plantules meurent de soif. C'est malheureusement très souvent le cas pour le riz cultivé sur la « plaine inondable haute ». À l'opposé, si la crue est trop précoce les plantules risquent d'être noyées. En effet, le riz flottant se maintient hors d'eau en allongeant les entre-nœuds des tiges. S'il n'est pas assez fort pour cela, car trop jeune encore ou trop mal venu, il est inexorablement noyé. C'est un cas assez courant dans les rizières de la « plaine inondable basse ». Comme les eaux ne se retirent que progressivement, vers mi-avril, la récolte se fait le plus souvent en pirogue, à moins de disposer de variétés à cycle très long de huit mois pour pouvoir récolter à pied sec.

Cette brève discussion de la technique de riziculture montre la vulnérabilité de cette agriculture entièrement dépendante de nombreux aléas climatologiques et hydrologiques. Dans ces conditions, la productivité est relativement faible (0,8 à 1 t/ha pour des riz flottants dont le potentiel est de l'ordre de 2 à 2,5 t/ha en culture améliorée réussie). Les rendements sont bien entendu beaucoup plus irréguliers et plus faibles sur la « plaine inondable haute » submergée plus tardivement que sur la « plaine inondable basse ».

Sorgho de décrue

Le sorgho de décrue est cultivé suivant un système très particulier. Le semis est fait au fur et à mesure du retrait des eaux en avril. Les plantules survivent tant bien que mal, à l'état prostré, sur les réserves en eau du sol jusqu'à la fin de juillet où la végétation reprend avec l'arrivée de la brève saison pluvieuse. La récolte est faite en août (les pieds dans l'eau).

Dans les positions les plus basses, sur sols argileux, le cycle cultural du sorgho de décrue peut se réaliser uniquement sur les réserves en eau du sol (nappe phréatique et réserve utile du sol proprement dite).

Comme pour la riziculture, les rendements en sorgho sont faibles. Ils sont d'autant plus aléatoires qu'ils sont, pour une bonne part, soumis aux caprices d'une saison pluvieuse incertaine et courte.

Conclusions

Les techniques mises au point par les agriculteurs permettent l'utilisation effective de la majeure partie de la plaine réellement inondée dans l'année en cours. Malgré une adaptation presque parfaite des systèmes de culture et des espèces cultivées aux conditions naturelles, les rendements sont faibles et aléatoires.

Ce type d'agriculture ne doit cependant pas être condamné au bénéfice (très théorique) de systèmes d'agriculture dits modernes nécessitant des investis-

sements considérables, des mutations techniques difficiles à assimiler, et pour lesquels les risques de rejet social sont grands.

Potentialités de développement

Notre propos ici sera d'examiner un certain nombre de possibilités d'augmentation du potentiel de production sans exclusive pour aucun des systèmes envisageables. Nous étudierons d'abord les solutions susceptibles d'améliorer la production dans la plaine inondable, actuellement presque entièrement utilisée ; puis nous essaierons de montrer comment la mise en valeur des plaines non inondables pourrait être conçue.

Amélioration de la productivité dans les plaines inondables

Deux types de systèmes de mise en valeur peuvent être conçus : soit des aménagements lourds faisant intervenir de gros travaux de génie civil hors de portée des communautés locales, soit des systèmes d'aménagement légers s'appuyant sur les caractéristiques du milieu naturel en les dirigeant par des efforts limités des paysans.

Aménagements lourds

Les aménagements lourds tels qu'ils sont conçus actuellement consistent à se protéger des inondations par des digues et à irriguer les terres, ainsi poldérisées, à partir d'un réseau de canaux dans lesquels on fait pénétrer l'eau, soit à partir de grosses stations de pompage, soit en profitant de la hauteur de la crue.

Dans ce contexte, la « plaine inondable basse » serait très favorable à la riziculture car le nivellement y est rendu possible par une forte épaisseur d'alluvions argileuses, eu égard à la modestie des variations topographiques. Les riz flottants pourraient alors être remplacés par des riz dressés, d'autant plus productifs que la maîtrise de l'eau pourrait permettre l'utilisation de fertilisants minéraux. La maîtrise complète de l'eau permettrait, si on le désirait, une diversification des cultures : blé, maïs, sorgho, coton longues fibres, cultures fourragères diverses, cultures maraîchères (tomates, choux, etc.).

Pour ce qui concerne la « plaine inondable haute », le problème serait un peu différent car si l'aménagement permettait de lever les incertitudes dues à l'inondation naturelle, il ne pourrait résoudre les problèmes liés à l'hétérogénéité spatiale des sols et au modelé ondulé. L'aménagement ne pourrait être fait que dans les meilleurs sites : chenaux les plus larges à fond argileux relativement épais. Les crêtes sableuses pourraient éventuellement porter des brise-vent assurant en outre une certaine production fourragère. On peut ici redouter que la nécessité de choisir les terrains les plus favorables fasse que :

- les gains de production obtenus sur les parcelles aménagées soient partiellement perdus par la diminution très substantielle des superficies cultivables ;
- des remembrements toujours problématiques doivent être réalisés.

Aménagements légers

Il s'agit ici de composer avec les éléments naturels, non pas d'une manière passive comme c'est le cas pour les techniques traditionnelles, mais en intervenant avec plus ou moins d'intensité.

La première technique venant à l'esprit est celle de la pratique du repiquage systématique du riz. Dans la région, cette méthode n'est pas ignorée, mais elle est rarement mise en pratique pour diverses raisons : rejets psychologiques et sociaux, pénibilité... Il est sûr cependant que la vulgarisation de cette technique permettrait d'assurer une plus grande régularité des récoltes même dans la « plaine inondable haute ». Cette méthode ne nécessite guère d'aménagements ni d'investissements, si ce n'est l'irrigation de pépinières.

La seconde technique consisterait à mettre en œuvre de petits aménagements et de la petite hydraulique. La conception de ces systèmes de mise en valeur repose sur le fait qu'il est catastrophique de voir crever de jeunes plantations de riz ou des champs entiers de sorgho alors que l'eau se trouve à quelques décimètres à peine en dessous du niveau de ces champs. Il suffirait ainsi d'abord de creuser, à la main, un réseau de fossés qui amèneraient naturellement l'eau à proximité des parcelles. Dans un second temps, il s'agirait d'apporter une dose d'eau relativement faible (5 à 600 m³/ha) sur les champs à partir de ces fossés. Cela pourrait être fait par des moyens d'exhaure les plus divers dont les coûts en investissement et fonctionnement pourraient être modulés en fonction des disponibilités financières locales. Ne voit-on pas encore tous les jours des paysans égyptiens, pakistanais, indiens et autres..., utiliser chadouf, vis d'Archimède ou chapelet incliné tandis qu'à quelques centaines de mètres d'eux des bœufs, des chameaux, des chevaux, ou des ânes animent des norias ou des sakias et que plus loin ces mêmes machines ou bien des pompes sont animées par de petits moteurs thermiques.

Nous pensons que la mise en œuvre et la vulgarisation de tels types d'aménagements légers, réalisables progressivement sans bouleversement des systèmes traditionnels, permettraient d'améliorer et de régulariser d'une manière décisive la production des plaines inondables. Il ne serait guère possible dans ce cas de diversifier les cultures, mais cela pourrait être accompli par une mise en valeur des plaines alluviales non inondables qui sont restées jusqu'à présent inutilisées malgré leur potentiel élevé.

Mise en valeur des plaines non inondables

Les sols des deux niveaux de terrasse de la plaine alluviale non inondable ne sont actuellement pas utilisés. Pourtant, ces terres se trouvent à quelques décimètres (alluvions récentes du bloc diagramme de la planche I) ou à 1 à 2 m (terrasses sub-récentes de la même figure) au-dessus du niveau des plus hautes eaux huit années sur dix. Elles sont en majeure partie irrigables pendant une durée de six à dix mois pour une élévation de l'eau variant entre 1 et 3 m. Il convient de souligner en outre qu'une nappe phréatique peu profonde (1 à 4 ou 5 m) existe sous la surface de ces alluvions, quoique aucune recherche sérieuse n'ait été menée pour en étudier la dynamique et par conséquent les possibilités d'exploitation.

Alluvions récentes non inondables

Il s'agit de bancs de sable résiduels, parfois entaillés en terrasse. On y a distingué (BERTRAND et BOURGEON, 1984) des zones hautes affectées par des remaniements éoliens et des zones basses à peu près planes.

Les zones hautes sont peu propices à l'aménagement hydroagricole, et ceci d'autant plus que les perméabilités sont très élevées. Cependant, dissociés par les piétinements d'un bétail surabondant en certaines périodes, les sables de ces zones, remis en mouvement en fin de saison sèche, risquent d'envahir les aménagements s'ils sont laissés tels quels.

Dans la plupart des périmètres, il existe une nappe phréatique proche de la surface (1 à 3 m) même en période d'été. Cette nappe peut alimenter des plantes à enracinement profond, comme par exemple le palmier-dattier ou des arbres et arbustes fourragers. Dans ces conditions, il paraît souhaitable d'y développer des reboisements ou des ensemencements, ceci dans le but de protéger les zones aménagées sous le vent d'ensablements éventuels. Il s'agirait donc de constituer à la fois des brise-vent, des réserves de bois d'œuvre ou de chauffage et, dans les cas favorables, de petits périmètres de production de palmier-dattier ou de palmier doum (*Hyphaene*).

Tout dépend évidemment des possibilités locales d'irrigation. En effet, beaucoup de ces bancs de sables éolisés constituent des points hauts sur lesquels s'appuieront, dans leur plus grande longueur, les canaux d'irrigation (dans le cas des aménagements lourds). Aussi paraît-il indispensable et facile d'irriguer les premières années (jusqu'à ce que les racines puissent atteindre la nappe) des plantations de quelques lignes de palmiers-dattiers, filaos, eucalyptus, acacias divers, atriplex, etc., si l'on ne veut pas voir une obstruction rapide des canaux par des dépôts de sable. Ces dispositifs de brise-vent productifs seront éventuellement complétés par des lignes de boutures d'*Euphorbia balsamifera* implantées en saison des pluies pour les protéger de la dent des animaux vagabonds. Dans d'autres cas, ces plantations pourront être arrosées à partir de puits peu profonds.

En outre, à proximité des canaux, de préférence sous les dattiers, des cultures maraîchères ou fruitières pourraient être réalisées dans de bonnes conditions à l'échelle familiale.

Dans ce contexte, on peut dire que l'aptitude aux plantations arbustives et arborées et au palmier-dattier est bonne.

Dans les zones basses peu ou pas affectées par des remaniements éoliens, la culture des céréales, sorgho, maïs, des arachides, niébé, est possible, de même que les cultures maraîchères et fruitières (agrumes), soit en culture pure, soit en complantation avec du palmier-dattier. Ce dernier trouvera là les meilleures conditions en raison de la plus faible profondeur de la nappe phréatique. La proximité éventuelle des canaux d'irrigation permettra leur arrosage, même à la main, au cours des trois premières années de plantation ; autrement ou ailleurs l'arrosage pourra être fait à partir de puisards.

En raison de la perméabilité excessive, des faibles possibilités de stockage de l'eau et des éléments minéraux, l'irrigation (par gravité) et la fertilisation des céréales et cultures maraîchères seront assez contraignantes. Il faudra sans doute aménager des microbassins d'irrigation et y apporter de forts débits d'eau pendant quelques dizaines de secondes. La fertilisation devra être fractionnée en plusieurs apports. Il serait évidemment plus satisfaisant d'irriguer ces zones par aspersion, mais cela demande un surplus d'énergie et d'équipement peut-être hors de proportion par rapport à la fertilité naturelle du milieu.

Pour l'ensemble de ces raisons, l'aptitude des terres sableuses à la culture des céréales est moyenne dans le cadre strict des aménagements et méthodes gravitaires d'irrigation. Elle est par contre bonne dès lors qu'il existe un recouvrement argileux ou limoneux de 15 cm ou plus.

En ce qui concerne le palmier-dattier et les reboisements brise-vent ou de production d'intérêt local l'aptitude est bonne, à condition bien sûr de pouvoir arroser les plantations pendant les trois premières années (avec des moyens légers et mobiles).

Il n'est bien sûr pas question d'y cultiver du riz.

Terrasse sablo-argileuse sub-récente haute non inondable

De par son uniformité, sa perméabilité moyenne, ses sols bien pourvus en éléments minéraux, cette terrasse paraît favorable au développement des cultures irriguées les plus diverses : blé, maïs, sorgho, arachide, niébé, cultures maraîchères et fruitières, palmier-dattier, coton, tabac, canne à sucre, cultures fourragères. La luzerne et le bersim trouveraient ici les conditions de pH les plus favorables de la région en raison de la présence de calcaire dans la plupart des profils observés (BERTRAND, 1980).

Pour une élévation de l'eau de 1 à 3 m, cette vaste terrasse pourrait être irriguée grâce à des aménagements

simples et peu onéreux s'ils étaient réalisés par les paysans. Le principe de ces aménagements consisterait à creuser à même le sol un canal d'amenée d'eau directement dérivé du fleuve ou d'un de ses défluent. La profondeur du canal pourrait soit correspondre au niveau d'étiage si l'on voulait disposer d'eau plus de dix mois par an, soit être de 1,5 à 2 m si l'on ne désirait disposer d'eau que pendant une période de temps plus courte, au moment des plus hautes eaux par exemple. Le ou les points d'exhaure seraient situés sur ce canal ; l'eau serait distribuée par de petits canaux légèrement surélevés par rapport à la plaine. L'exhaure pourrait être assurée soit par des machines (norias*, sakias) mues par des animaux, soit par des pompes mues par le vent, et pourquoi pas par de petits moteurs thermiques.

Afin d'assurer une bonne distribution de l'eau, un nivellement peu coûteux pourrait être réalisé si l'on évitait les zones de terrasse affectées par des remaniements éoliens.

L'irrigation serait conduite à la raie ou en planches de quelques mètres de large séparées par de petites diguettes.

Au total, il s'agit d'aménagements simples susceptibles d'être réalisés au moindre coût par les communautés villageoises, à condition bien sûr d'en diriger les efforts. Les intrants pourraient être limités aux moyens d'exhaure, à la conception et au soutien technique et à un approvisionnement limité.

Des aménagements de plus vaste envergure, mettant en œuvre les techniques d'irrigation par aspersion, peuvent y être envisagés.

Conclusion pour la plaine alluviale non inondable

Les terres des plaines alluviales non inondables ne sont actuellement pas utilisées malgré leur potentiel de production élevé. Situées à quelques décimètres (basse terrasse) ou à 1 à 2 m (haute terrasse) au-dessus du niveau des plus hautes eaux du fleuve (huit années sur dix), elles pourraient être en grande partie irriguées pendant une durée de six à dix mois pour une élévation de l'eau variant entre 1 et 3 m. Ces hauteurs d'exhaure relativement faibles permettent d'envisager l'intervention de machines à élever l'eau mues par des animaux (sakias, norias...), par le vent ou par des moteurs de faible puissance.

Les superficies concernées sont considérables, de l'ordre de 30 % de celle de la plaine inondable avec une répartition régulière tout le long de la vallée dans la boucle du Niger.

Sans qu'il soit nécessaire d'attendre la création de digues de protection contre les crues, ces terrasses se prêtent aussi bien à la mise en œuvre de nombreux petits

* Avec une noria et pour une élévation d'eau de 3 m, le débit horaire est d'environ 50 m³/jour/animal travaillant 3 à 4 h/jour, soit encore la possibilité d'irriguer 2 hectares par animal (boeuf, cheval, chameau) (MOLENAAR 1956).

aménagements villageois qu'à la réalisation de projets irrigués de plus vaste dimension (canne à sucre ou blé, par exemple). Un aménagement expérimental et pilote pourrait être installé à proximité de Gao.

Dans la planche III, nous avons imaginé que de tels périmètres (petits ou grands) avaient été créés sur ces vastes terres exondées et incultes, conjointement à des aménagements légers ou lourds dans la plaine inondable. Quel changement par rapport à l'état actuel ! Toute la plaine alluviale, dans ses parties favorables, est utilisée en fonction des caractéristiques propres à chaque type de milieu. La diversification des cultures est assurée, tandis que le calendrier cultural, les travaux agricoles peuvent être largement étalés dans le temps, permettant ainsi le plein emploi des populations rurales jusqu'alors condamnées à l'inaction pendant les longs mois qui séparent les semis de la fin de la crue et pendant les mois d'étiage.

Conclusions générales

En résumant et en revenant à notre comparaison initiale entre les possibilités agricoles des plaines alluviales dans la boucle du Niger et celles du Nil, du Tigre et de l'Euphrate, il apparaît que les conditions de milieu ont ici certains aspects moins favorables :

- topographie irrégulière de la plaine inondable ;
- dépôts de « limons fertiles » très faibles ;
- sols hétérogènes souvent grossiers à faible profondeur.

Il apparaît aussi des aspects nettement plus favorables :

- températures presque continuellement propices à la croissance des plantes ;
- étalement naturel de la crue dans le temps sur environ dix mois permettant une mise en valeur progressive en petits tronçons ne nécessitant pas d'ouvrages de génie civil (barrages) démesurés indispensables dans certaines autres vallées de pays tropicaux voisins.

Il n'y a donc pas de malédiction, bien au contraire ; à condition toutefois de mettre en valeur toutes les ressources possibles en terres et en eaux suivant des techniques adaptées aux caractéristiques du milieu naturel qu'il ne s'agit pas d'affronter mais plutôt d'infléchir à notre profit par petites touches.

Si l'on doit critiquer les techniques mises au point par les agriculteurs de la région, ce n'est pas en raison de leur manque d'adaptation à la dynamique du milieu, loin s'en faut, mais essentiellement de leur passivité qui les met à la merci des aléas climatiques et, partant, des caprices de la crue.

Les aménagements lourds en projet ne concernent que la plaine alluviale inondable déjà largement cultivée. On peut en espérer une régularisation et une amélioration de la production agricole malgré les difficultés à prévoir pour la réalisation d'une double culture annuelle. Aussi ne faut-il pas en attendre, dans l'immédiat, une augmentation vraiment massive de la production agricole. En

outre, un remembrement des terres sera sans doute nécessaire avec toutes les séquelles sociales prévisibles.

Notre connaissance du milieu naturel, analysée dans un autre article (BERTRAND et BOURGEON, 1984), nous a permis, ici, de mettre en exergue les caractéristiques expliquant le fonctionnement du système terres - eaux - hommes, en particulier le rôle de l'organisation morphologique des plaines alluviales en marches d'escalier sur la submersion, les propriétés et la répartition des terres. Une telle connaissance du milieu suggère des propositions d'aménagement faisant appel soit à des techniques culturales simples (repiquage par exemple), soit à de la petite hydraulique dans la plaine inondable, soit à l'initiation de la mise en valeur, par l'irrigation, des plaines non inondables. Concernant les plaines inondables, les techniques de petite hydraulique (réseau de fossés à creuser, exhaure de l'eau sur quelques décimètres à peine) proposées sont susceptibles de modifier l'alimentation hydrique des cultures au moindre coût en précédant la crue et sans prétendre la contrôler. Il s'agit donc ici d'améliorer les systèmes de culture traditionnels et de les rendre moins dépendants des aléas climatiques, et par conséquent plus réguliers et plus productifs.

L'extension spatiale considérable (équivalente à 30 % de la plaine actuellement utilisée) et les potentialités élevées des plaines non inondables semblent avoir été méconnues ou négligées jusqu'à présent. Elles sont pourtant susceptibles d'être mises en valeur sans nécessiter des travaux d'endiguement préalables. À condition d'élever l'eau de 1 à 3 m, suivant la date, elles se prêtent soit à l'installation de petits périmètres irrigués villageois, soit à la mise en œuvre de périmètres irrigués plus ambitieux et plus vastes. Capables de supporter une grande diversité de cultures, ces terrasses recèlent en outre une nappe phréatique peu profonde qui pourrait être exploitée, soit par pompage dans des puits, soit directement par des plantes ligneuses à enracinement puissant (palmier-dattier notamment) à condition d'irriguer les plantations pendant les trois ou quatre premières années.

Nos conceptions, fondées sur la connaissance et la compréhension du milieu naturel, proposent un aménagement global des terres et des eaux disponibles. C'est sans doute au prix d'une telle mise en valeur de l'ensemble de la plaine alluviale (et non pas seulement de sa partie submersible) et d'efforts de vulgarisation bien orientés, pour profiter des opportunités offertes par le milieu, que cette partie sahélo-saharienne de la vallée de la boucle du Niger pourrait se transformer en une vaste oasis comparable à celle du Nil.

*Reçu le 10 novembre 1983.
Accepté le 26 avril 1984.*

Références bibliographiques

BERTRAND R., 1974. Les systèmes de paysage des plaines inondables du delta vif du moyen Niger (Mali). *L'Agron. Trop.*, 24 (2-3) : 154-212.

BERTRAND R., 1980. Reconnaissance morphopédologique, plaine d'Ansongo, extensions (région de Gao, Mali). Montpellier, IRAT, 13 p., carte.

BERTRAND R., 1980. Reconnaissance morphopédologique, plaine de Bourem-Forghas (région de Gao, Mali). Montpellier, IRAT, 12 p., carte.

BERTRAND R., 1980. Reconnaissance morphopédologique dans la région de Gao (Mali). Notices explicatives des cartes d'aptitudes culturales. Montpellier, IRAT, 12 p., carte.

BERTRAND R., BOURGEON G., 1984. Évaluation du milieu naturel des plaines alluviales de la boucle du Niger (Mali). I - Le milieu. *L'Agron. Trop.*, 39 (3): 199-207.

BLANCK J.-P., TRICART J., 1968. La boucle du Niger (Mali). Cartes géomorphologiques et notice. Projet d'aménagement. Strasbourg, Centre de géographie appliquée.

BOURGEON G., 1978. Reconnaissance morphopédologique, plaine de Gargouna (région de Gao, Mali). Montpellier, IRAT, 14 p., carte.

BOURGEON G., 1978. Reconnaissance morphopédologique, plaine d'Ansongo (région de Gao, Mali). Montpellier, IRAT, 45 p., carte.

BROUWERS M., 1978. Reconnaissance morphopédologique dans les plaines de Tacharan et de Forgho (région de Gao, Mali). Montpellier, IRAT, 45 p., annexes, cartes.

Mc INTOSH S.K., Mc INTOSH R.J., 1983. Current directions in West african prehistory. *Ann. Rev. Anthropol.*, 12 : 215-258.

Mc INTOSH R.J., 1983. Floodplain geomorphology and human occupation of the upper delta of Niger. *The Geogr. J.*, 149 (2) : 182-201.

MOLENAAR A., 1956. Machines à élever l'eau pour l'irrigation. Rome, FAO, 78 p. (Coll. Progrès et mise en valeur, agriculture, cahier n° 60).

MUNIER P., 1963. Étude des possibilités de la culture du palmier-dattier en république du Mali. Paris, IRFA, 37 p.

MUNIER P., 1975. Le palmier-dattier. Paris, Maisonneuve et Larose, 221 p.

POISSON C., 1981. Introduction de la culture du blé en Haute-Volta (résultats acquis par l'expérimentation en 1979). *L'Agron. Trop.*, 35 (1) : 54-62.

SATEC, 1975. Étude de reconnaissance de la vallée du Niger dans la région de Gao. Paris, SATEC, 240 p. (5 vol.).

TRICART J., 1962. L'épiderme de la terre. Esquisse d'une géomorphologie appliquée. Paris, Masson, 166 p.

Summary

BOURGEON G. BERTRAND R., - **Evaluation of the natural environment in the alluvial plains of the Niger River bend (Mali). II - Potentialities.**

The authors have analysed the physical environment in a previous paper. Their present aim is to show how it is possible from this knowledge : to understand the background and hazards of traditional cropping systems ; to conceive their improvement and to propose new development systems for the whole valley and not only the floodable plains.

So, after outlining the principal features of the landform and flood regime, using block-diagrams the authors explain the submersion regime of the floodable plains and altitude relations between the different parts of the plain and the flood level during the year. This

presentation helps to understand the perfect adaptation but also the passivity of traditional cropping systems regarding the environment and its related hazards and low productivity.

On the other hand, this review of environmental dynamics makes it possible : to make proposals for improving traditional cropping systems through small-scale hydraulics with very reduced pumping out ; to see that present projects of heavy reclaiming works (polder making) will not permit a radical increase in agricultural production since they are limited to a part of the lands already used ; to draw attention to the non floodable terraces having a high potential of agricultural production and diversification which have been unrecognized or neglected so far and could be exploited using irrigation without heavy civil engineering works (neither dike, dam nor heavy investments) either through small village-scale irrigated areas or large projects.

So, from the analysis of the physical environment (represented on a block-diagram) and flood dynamics of the Niger River, the authors succeed in representing on another block-diagram what could be the agricultural landscape of the region : a vast oasis comparable to that of the Nil River Valley.

Key words : Niger River Valley, Mali, soil evaluation, hydrological regime, water management, small irrigated areas, irrigation, oasis, floating rice, sorghum, wheat, date palm.

Resumen

BOURGEON G. BERTRAND R., - **Evaluación del medio natural de las llanuras aluviales de la esquina del Níger (Mali). II - Potencialidades.**

Partiendo del análisis del medio natural de la esquina del Níger, presentado en otro artículo, el propósito de los autores es de mostrar cómo, basándose en el conocimiento del medio físico, se puede : no sólo comprender el fundamento y los azares de los sistemas de cultivo tradicionales, sino también concebir mejoras dedichos sistemas y proponer nuevas formas de aprovechamiento de todo el valle y no sólo de las llanuras inundables.

Así pues, tras recordar los principales rasgos del relieve y del régimen de crecida, los autores explican, mediante bloques diagramas, el régimen de sumersión de las llanuras inundables y las relaciones de altitud entre las distintas partes de la llanura y el nivel de la crecida a lo largo del año. Eso permite, en primer lugar, comprender la perfecta adaptación, pero también la pasividad de los sistemas de cultivo tradicionales frente al medio y los azares y la escasa productividad que de ello resultan.

En segundo lugar, este resumen de la dinámica del medio permite : deducir proposiciones para la mejora de los sistemas tradicionales mediante pequeñas instalaciones hidráulicas provistas de un achicamiento muy reducido ; comprobar que las instalaciones pesadas que se proyectan actualmente (construcción de polders) apenas permitirán un aumento radical de la producción agrícola porque se limitan a una parte de las tierras que ya se utilizan ; llamar la atención en cuanto a las terrazas no inundables cuyo alto potencial de producción y de diversificación agrícola, ignorado o descuidado hasta hoy, podría aprovecharse por medio del riego sin necesidad de grandes obras de ingeniería civil (ni dique, ni presa, ni inversiones muy costosas), ya sea mediante « Pequeños perímetros de regadío campesinos », ya sea mediante proyectos de mayor importancia.

Partiendo pues del análisis del medio físico (representado en un bloque diagrama), que conjugan con la dinámica de la crecida del Níger, los autores llegan a representar en otro bloque diagrama lo que podría ser el paisaje agrícola de la región : un vasto oasis comparable con el del valle del Nilo.

Palabras-clave : Valle del Níger, Mali, evaluación de los suelos, régimen hidrológico, ordenaciones hidroagrícolas, pequeños perímetros, riego, oasis, arroz flotante, sorgo, trigo, palmera datilera.

Effets de la date de semis sur l'élaboration du rendement du blé tendre et de l'orge en zones semi-arides et arides (cas du Maroc atlantique)

P. JOUVE (1), A. DAOUDI (2)

RÉSUMÉ — Dans les zones semi-arides et arides du Maroc occidental, l'installation des céréales peut s'étaler sur deux à trois mois après l'arrivée des pluies. Compte tenu de la brièveté de la saison pluvieuse, on peut penser que tout retard des semis contribue à la faiblesse des rendements en accentuant les effets du déficit hydrique qui est systématique en fin de cycle. Pour tester cette hypothèse et vérifier l'intérêt d'une meilleure superposition du cycle cultural avec la saison pluvieuse, des essais de dates de semis échelonnées, portant sur l'orge et le blé tendre, ont été mis en place en zone semi-aride (Ben Ahmed) et en zone aride (Ben Guerir). Trois périodes de semis ont été comparées : des semis précoces dès l'arrivée des pluies, des semis de saison après la levée des mauvaises herbes, et des semis tardifs un mois après. Ces essais ont montré en zone aride une nette supériorité des semis précoces aussi bien pour le blé tendre que pour l'orge. Par contre, en zone semi-aride, si les semis précoces sont nettement plus productifs pour l'orge, ce sont les semis de saison qui ont donné les meilleurs rendements en blé, du fait d'une forte concurrence des adventices en semis précoce. L'interprétation de ces résultats est faite à partir d'une étude comparée du développement et de l'élaboration du rendement du blé et de l'orge dans chacune des situations expérimentées. Cette étude permet de tirer un certain nombre de conclusions pratiques sur la conduite des céréales en zones arides et semi-arides.

Mots clés : *Triticum vulgare*, blé tendre, *Hordeum vulgare*, orge, aridité, date de semis, élaboration du rendement, phénologie, Maroc.

Sur les 4,5 millions d'hectares de céréales cultivés au Maroc, plus de 50 % sont localisés dans les zones semi-arides et arides, et plus particulièrement dans les plaines et plateaux qui s'étendent entre la chaîne de l'Atlas et l'océan Atlantique au sud d'une ligne Casablanca - Beni Mellal. Cette vaste région contribue pour près de 45 % à l'approvisionnement en grain du pays. Par ordre d'importance, les céréales qui y sont pratiquées sont : l'orge (51 %), le blé dur (20 %), le maïs (15 %) et le blé tendre (13 %). Alors que l'aire d'extension du maïs est stricte-

ment limitée par l'isohyète 300 mm, les autres céréales aux fonctions complémentaires se rencontrent, en proportions variables, dans toutes les zones semi-arides et arides.

Ces cultures céréalières sont essentiellement cultivées en « bour » c'est-à-dire que leur alimentation hydrique est strictement tributaire des précipitations. Celles-ci sont très variables d'une année à l'autre et leur hauteur moyenne décroît progressivement de 400 à 250 mm, suivant un gradient nord-sud (PAPY *et al.*, 1981).

Ces conditions pluviométriques constituent une première explication de la faiblesse des rendements (en moyenne 6,3 q/ha en zone aride et 8,5 q/ha en zone semi-aride) et de leur forte fluctuation interannuelle.

À ceci s'ajoute le fait que les techniques culturales sont souvent mal adaptées à ces contraintes climatiques, ce qui explique les écarts importants constatés entre les rendements obtenus par les meilleurs agriculteurs et ceux enregistrés en moyenne dans les mêmes conditions de milieu. Cet écart, de l'ordre de 50 %, fait apparaître une marge de progrès possible par l'amélioration culturelle.

Or, dans un pays où le déficit céréalier ne cesse de s'accroître (de 5 millions de quintaux en 1971, il est passé à près de 30 millions de quintaux par an au cours des quatre dernières campagnes), la valorisation de cette marge de progrès apparaît comme un objectif de première importance. C'est dans cette perspective qu'un programme d'expérimentation a été entrepris par le Département d'agronomie de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II et la Direction de la mise en valeur agricole du ministère de l'Agriculture et de la Réforme agraire.

Ce programme, centré sur l'amélioration des techniques de culture des céréales d'hiver en zones semi-arides et arides, a débuté en 1976 et s'est poursuivi durant cinq campagnes agricoles. Un des thèmes de cette expérimentation a consisté à étudier l'effet de la date de semis sur l'élaboration du rendement du blé tendre et de l'orge.

Ce thème de recherche est né de la constatation que la brièveté de la saison pluvieuse (octobre à mars), jointe à la faiblesse des précipitations, entraîne un déficit hy-

(1) IRAT-GERDAT, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex, France.

(2) Ministère de l'Agriculture et de la Réforme agraire, Rabat, Maroc.

drique quasi systématique en fin de cycle, les effets de ce déficit étant d'autant plus accusés que le cycle est tardif.

Or, l'analyse de la pratique des agriculteurs (JOUVE, 1981) fait apparaître que les semis de céréales s'étalent sur deux à trois mois à partir du début de la saison pluvieuse et peuvent, de ce fait, se prolonger jusqu'en janvier, voire exceptionnellement jusqu'en février dans le cas d'une arrivée tardive des pluies, comme en 1975 par exemple.

Les raisons d'une telle pratique sont nombreuses, mais la principale est le sous-équipement de la majorité des agriculteurs qui les oblige à étaler les travaux d'installation de leurs cultures. Ainsi, ceux qui ne disposent que de la traction animale – et ils restent la majorité (80 %) – sont condamnés à attendre les pluies pour travailler le sol et ne peuvent ensuite ensemercer qu'un sixième à un quart d'hectare par jour de travail, suivant la puissance de leur attelage.

Compte tenu de cette situation, nous sommes partis de l'hypothèse que pour augmenter les rendements dans ces zones il faut améliorer la superposition du cycle cultural des céréales avec la période pluvieuse en avançant la date de semis. Ainsi, on peut espérer réduire la durée et l'intensité du déficit hydrique intervenant en fin de cycle.

Pour tester cette hypothèse, on a, durant les cinq campagnes d'expérimentation, comparé différentes positions de cycle induites par des dates de semis échelonnées. Ces comparaisons ont d'abord été faites dans le cadre de tests d'itinéraires techniques effectués chez les agriculteurs et dont les résultats ont donné lieu à plusieurs publications (JOUVE et BERRADA, 1979 ; JOUVE et EL BAGHATI, 1980). Ces tests ont été ensuite complétés par la mise en place en 1979-80 d'un dispositif d'essais permettant une analyse approfondie de l'effet de la date de semis sur le rendement du blé tendre et de l'orge.

Ce sont les résultats de ces essais qui seront présentés ici. Les contrôles du milieu et de la végétation auxquels ils ont donné lieu nous permettent en effet d'analyser plus en détail l'effet de la position du cycle sur la phénologie et l'élaboration du rendement de ces deux céréales.

Cette analyse agronomique a non seulement pour but de fournir des références sur le comportement de ces espèces dans les conditions d'aridité marocaine, mais aussi d'expliquer les différences de rendement résultant de la variation des dates de semis.

Dans le prolongement de cette analyse agronomique, une étude agro-climatique des relations entre le déficit hydrique et le rendement des céréales en zones semi-arides et arides marocaines a été effectuée (JOUVE, 1983).

Cette étude, qui fait l'objet d'une autre publication, est complémentaire de l'analyse agronomique en ce sens qu'elle permet d'estimer, au cours de la période 1950-1980, l'impact économique du déficit hydrique sur la pro-

duction de blé et d'orge dans ces zones et de chiffrer les effets sur cette production de la variation des dates de semis.

Le but de ces deux études est de fournir les bases de nouvelles stratégies de culture des céréales minimisant les risques climatiques inhérents aux zones arides et semi-arides.

Matériel et méthode

Présentation des essais

Deux lieux d'expérimentation ont été retenus, le premier à Ben Ahmed représentatif de conditions de semi-aridité (pluviosité moyenne 390 mm), le second à Ben Guerrir en zone aride (pluviosité moyenne 226 mm).

Dans chacune de ces localités, deux essais ont été installés, un sur orge et l'autre sur blé tendre.

Les variétés choisies, 071 pour l'orge, Nesma 149 pour le blé, sont les variétés améliorées actuellement les plus cultivées par les agriculteurs ; ce sont également celles qui ont fait l'objet des expérimentations conduites les années précédentes.

Dans chacun de ces essais, la date de semis est le seul facteur de variation testé. Il a donné lieu à trois traitements correspondant à trois périodes de semis : semis précoce, semis de saison, semis tardif.

Plutôt que de fixer à priori des dates de semis échelonnées, ce qui, du fait de la variabilité de l'arrivée des pluies, a peu de sens du point de vue agronomique, nous avons préféré comparer trois types d'options en matière d'installation des céréales.

Le semis précoce correspond à l'installation de la culture dès l'arrivée des pluies, afin d'assurer la meilleure superposition possible entre le cycle cultural et la saison pluvieuse. Cette option, qui à la limite peut être assurée par un semis en sec, est assez fréquente pour l'installation de l'orge.

Le semis de saison correspond à l'installation de la culture après la levée des adventices, donc un certain temps après les premières pluies et une fois les pluies revenues afin de permettre la préparation du lit de semences et la levée. C'est le type de semis qui est privilégié par les agriculteurs pour l'installation du blé.

Le semis tardif correspond à une installation de la culture au-delà de décembre, soit en moyenne plus de deux mois après le début de la saison pluvieuse.

Dans la pratique, ces semis tardifs sont le fait d'agriculteurs sous-équipés n'ayant pu installer plus tôt la totalité de leurs céréales.

Compte tenu de ces options, les dates de semis effectivement comparées dans les quatre essais ont été celles indiquées dans le tableau I.

Il se trouve que les conditions pluviométriques de la campagne 1979-80 ont permis un décalage des semis de l'ordre d'un mois à partir de début novembre (cf. fig. 3). Toutes les parcelles ont été travaillées au chisel durant l'été, la reprise de ce travail a ensuite été faite au cover-crop juste avant le semis.

Dans ces quatre essais, un dispositif en blocs randomisés avec quatre répétitions a été adopté ; les parcelles élémentaires avaient 825 m² à Ben Ahmed, 690 m² à Ben Guerrir.

Les conditions du milieu physique

On se référera à la figure 1.

Tableau I Dates de semis des 4 essais.

Période de semis	Zone semi-aride		Zone aride	
	Blé	Orge	Blé	Orge
Semis précoce S1	3-11	6-11	10-11	10-11
Semis de saison S2	4-12	4-12	5-12	5-12
Semis tardif S3	5-01	5-01	26-01	26-01

Les sols

Ben Ahmed : sol du type brun calcaire (« hamri ») de texture argilo-limoneuse reposant sur un horizon tuffeux plus ou moins induré ; la réserve utile est de l'ordre de 90 mm.

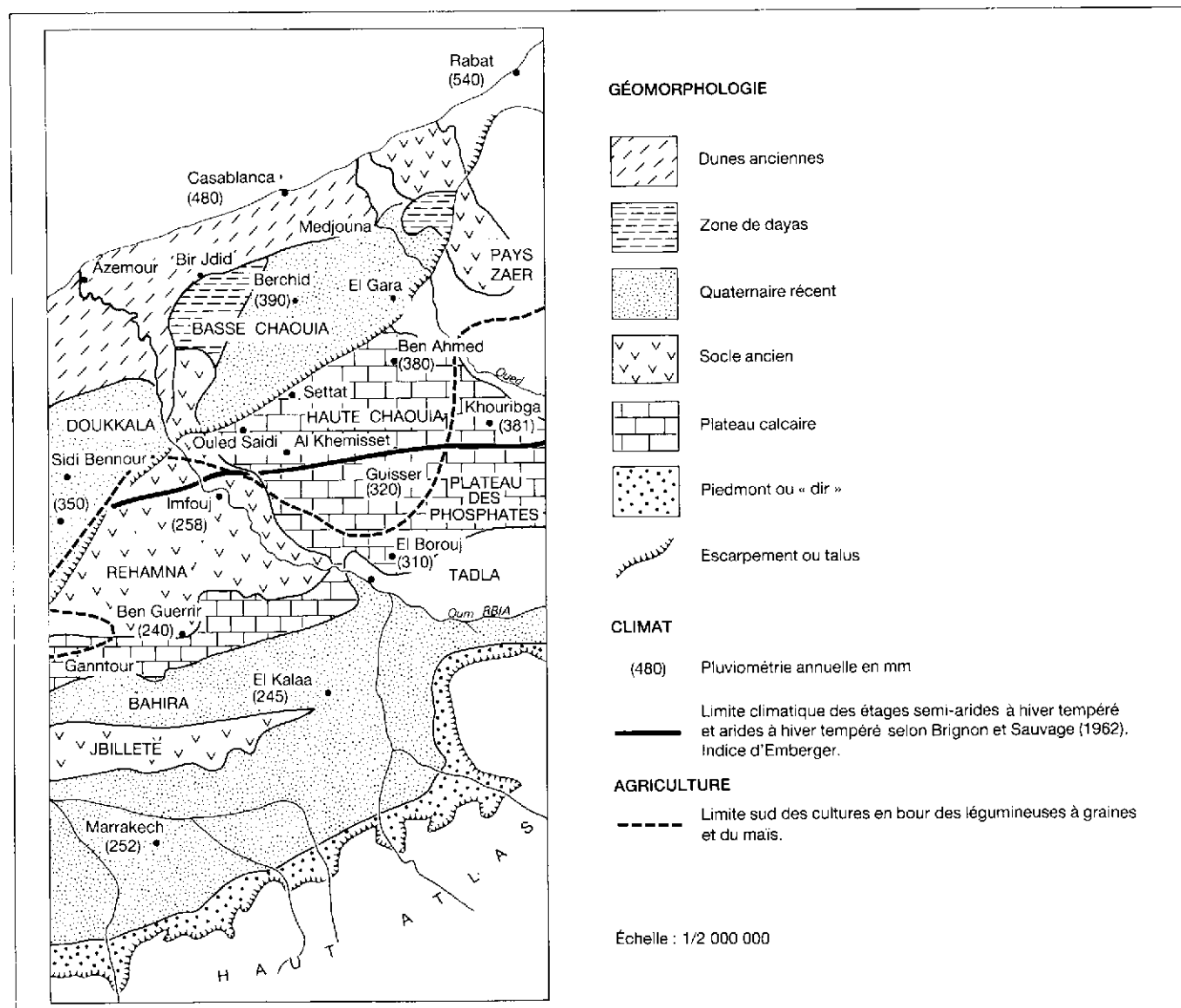


Fig. 1 : Situation des sites expérimentaux.

Ben Guerrir : lithosol sur schiste (« harch ») de texture limono-argileuse sur croûte calcaire à 40 cm ; réserve utile de 60 mm.

La pluviométrie

Comme le montre le tableau II, la pluviométrie de la campagne 1979-80 a été caractérisée dans les deux lieux d'expérimentation par une pluviosité totale proche de la moyenne, des pluies précoces et abondantes, une sécheresse en début d'hiver suivie d'une reprise au printemps.

Méthode

La mise en place d'un dispositif expérimental avec répétitions permet de donner une signification statistique

aux différences de rendement entre traitements. Cependant, si l'on souhaite expliquer ces différences, il convient d'associer à l'analyse statistique une analyse agronomique permettant de comprendre comment, dans chaque situation, s'est élaboré le rendement.

Pour ce faire, les différentes composantes du rendement ont été mesurées au fur et à mesure de leur élaboration. En parallèle ont été contrôlés les facteurs et conditions du milieu influant sur l'élaboration de ces composantes.

L'interprétation de ces différentes données a été ensuite effectuée en fonction des connaissances que l'on a des relations entre la date de semis et l'élaboration du rendement du blé et de l'orge, schématisées dans la figure 2.

Tableau II Pluviométrie enregistrée à Ben Ahmed et Ben Guerrir.

Zones		Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Total annuel
Semi-aride (Ben Ahmed)	1979-80	0	132,4	6	17,1	66	24,7	98,2	21,7	10,2	376,3
	Moyenne	9	42	63	63	53	47	51	38	19	390
Aride (Ben Guerrir)	1979-80	32,9	90,5	0	6	14,4	35,5	51,2	5,9	3,2	239,6
	Moyenne	9	20	29	39	29	30	32	19	16	230

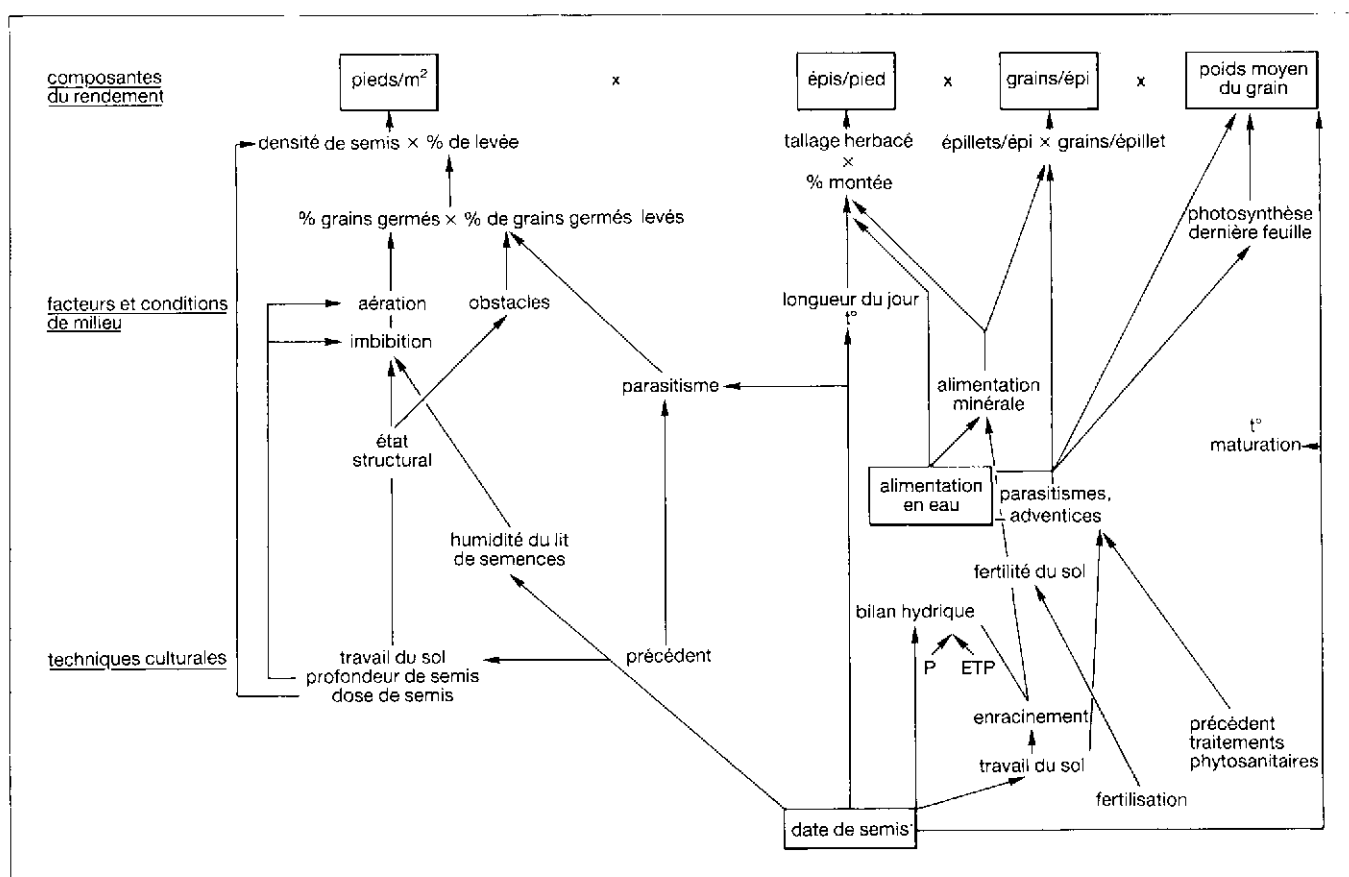


Fig. 2 : Schéma des relations date de semis-rendement.

Résultats et discussion

L'élaboration du rendement (fig. 2) étant sous la dépendance d'un certain nombre d'états du milieu, en particulier du salissement du sol, de son état hydrique et de la pression parasitaire, l'analyse agronomique des différences de rendement induites par les traitements (dates de semis) suppose la connaissance préalable de ces états du milieu.

Les états du milieu

Le salissement

Les essais ont fait l'objet d'un traitement herbicide (Certrol H) au stade tallage. Par la suite, des contrôles du taux de salissement des parcelles ont été effectués au stade fin montaison-début épiaison, à un stade où la culture est particulièrement sensible à la concurrence des adventices. L'estimation du salissement des parcelles s'est faite en évaluant le taux de recouvrement du sol par les mauvaises herbes (tabl. III).

Tableau III Taux de salissement par les adventices (en %).

Zones	Espèces et traitements					
	Blé tendre			Orge		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Semi-aride	60	60	60	3	26	25
Aride	6	10	8	10	8	6

S1 : semis précoce ; S2 : semis de saison ; S3 : semis tardif.

À Ben Ahmed, pour des raisons climatiques, l'efficacité des traitements herbicides a été très réduite ; aussi les taux de salissement y sont-ils essentiellement fonction de la date de semis et de l'espèce cultivée.

En semis précoce, les adventices ont levé en même temps que la culture ; dans ces conditions s'est pleinement manifestée la plus grande sensibilité du blé tendre, par rapport à l'orge, à l'envahissement par les mauvaises herbes. Cette caractéristique bien connue des agriculteurs et qui détermine en partie l'échelonnement de leurs semis, est due à la plus grande capacité de tallage de l'orge qui lui permet de couvrir rapidement le sol et de limiter ainsi la croissance des adventices.

À Ben Guerrir, on peut considérer que le contrôle des adventices, sans être total, a été correctement assuré.

L'état hydrique du sol

L'humidité du sol a été contrôlée par mesures gravimétriques à cinq dates successives de la campagne agricole.

Les résultats de ces contrôles, effectués à cinq niveaux de profondeur de 0 à 40 cm, et répétés trois fois par traitement, ne présentent pas de différences significatives entre espèces cultivées ni entre dates de semis.

Si le premier résultat peut être compréhensible compte tenu de la grande similitude de développement du blé tendre Nesma 149 et de l'orge 071, par contre l'absence de différence entre dates de semis est plus surprenante.

Parmi les hypothèses que l'on peut invoquer pour expliquer un tel résultat, une des plus plausibles est le fait que les parcelles semées tardivement ont porté des mauvaises herbes jusqu'à l'installation de la culture ; de ce fait, elles ont évaporé l'eau du sol comme l'aurait fait un couvert végétal cultivé.

Ceci étant, l'absence de différence d'humidité du sol entre traitements à une date donnée ne signifie pas pour autant que les conditions d'alimentation hydrique ont été les mêmes pour toutes les dates de semis. En effet, comme nous le verrons par la suite (fig. 3), la position des stades de développement a été différente pour chaque traitement, si bien que les stades les plus sensibles au déficit hydrique (floraison, grossissement du grain) des différentes dates de semis n'ont pas bénéficié des mêmes conditions d'alimentation hydrique.

Les taux moyens d'humidité du sol figurant sur le tableau IV constituent donc des repères permettant de situer les périodes de déficit hydrique, à interpréter en fonction du déroulement de chaque cycle.

Si l'on prend comme seuil de déficit hydrique l'épuisement de la moitié de la réserve utile, les cultures ont subi un stress hydrique durant les périodes suivantes :

- à Ben Ahmed : de la deuxième décennie de décembre à la première décennie de janvier ; à partir de la deuxième décennie d'avril ;
- à Ben Guerrir : de la deuxième décennie de décembre à la première décennie de février ; à partir de la première décennie d'avril.

Maladies et prédateurs

Le blé tendre, en début de cycle, en particulier à Ben Ahmed, a fait l'objet d'attaques de fourmis et de passe-reaux qui ont affecté le pourcentage de levée.

Par ailleurs, le blé et l'orge ont subi des attaques sensibles de cécidomyie, comme l'indique le tableau V. Ces attaques ont eu des répercussions sur le taux de tallage herbacé.

En cours de végétation sont apparues, notamment pour la première date de semis en zone semi-aride, des attaques de *Septoria nodorum* sur blé tendre. Ce champignon s'est développé aussi bien sur les feuilles que sur les épis, provoquant une diminution de photosynthèse, une perte d'épillets et une réduction de l'accumulation des réserves dans les grains.

Tableau IV Évolution du taux d'humidité volumique du sol et du pourcentage de la réserve utile disponible au cours de la campagne 1979-80.

Horizons	Zone semi-aride						Zone aride				
	9-1	28-2	25-3	25-4	22-5	10-6	10-1	2-3	27-3	29-4	21-5
0-5	15,7	21,3	40	10,3	7,8	4,7	3,8	14,3	10,6	5,6	19,8
10	26,3	31,0	40,4	21,4	20,4	12,3	15,0	21,6	19,9	5,9	5,9
20	27,6	28,2	36,4	22,1	21,5	18,4	19,3	23,8	22,3	9,7	10,0
30	27,2	28,7	35,6	22,3	22,8	20,6	17,5	24,0	21,9	10,7	11,1
40	24,8	27,5	32,1	22,9	24,3	22,9	18,1	17,2	18,4	12,1	11,9
RU (%)	46	59	100	23	22	5	48	87	75	3	0
R (mm)	41,5	53	90	21	20	4,5	29	52,2	45	18	0

Tableau V Intensité des maladies et attaques parasitaires (% de pieds atteints).

Maladies	Zones	Orge			Blé tendre		
		S1	S2	S3	S1	S2	S3
Cécidomyie	Semi-aride	0	50	81	80	60	100
	Arde	38	0	81	17	16	43
Septoriose	Semi-aride	—	—	—	48	3	3
	Arde	—	—	—	4	2	1
Oïdium	Semi-aride	15	49	66	—	—	—
	Arde	33	27	33	—	—	—
Rouille	Semi-aride	26	21	22	—	—	—
	Arde	0	0	0	—	—	—

S1 : semis précoce ; S2 : semis de saison ; S3 : semis tardif.

Enfin, sur orge on a noté des attaques d'oïdium (*Erysiphe graminis*) et de rouille (*Puccinia glumarum*). Toutes ces attaques ont été plus accentuées en zone semi-aride.

Position des cycles et stades phénologiques

Les différentes positions du cycle cultural résultant de l'échelonnement des dates de semis ont entraîné des conditions de développement variables (température, longueur du jour, alimentation hydrique, etc.). Celles-ci se sont répercutées sur les dates d'apparition des stades de développement, comme le montre la figure 3, où pour les différentes situations culturales testées nous avons fait figurer la position dans le temps :

- du stade A, correspondant au début de différenciation de l'apex du brin maître et à l'apparition des premiers entre-nœuds et des ébauches d'épillets ;
- du stade B, caractérisé par l'apparition des ébauches de glumes ;
- de l'épiaison et de la floraison : stades E et F.

Pour donner à ces références phénologiques une portée

plus générale, nous avons calculé en somme de degré-jour les durées des phases de développement du blé et de l'orge ainsi que les dates d'apparition des stades A, B, E et F.

Ce mode d'évaluation de la chronologie du développement permet de comparer les cycles entre eux ainsi qu'avec les normes établies au Maroc pour le blé tendre et l'orge suite aux travaux de LELIEVRE et PAPY (1977) et BAMOUH (1981) pour le blé tendre, BRICHA et NYOUBE (1981) pour l'orge.

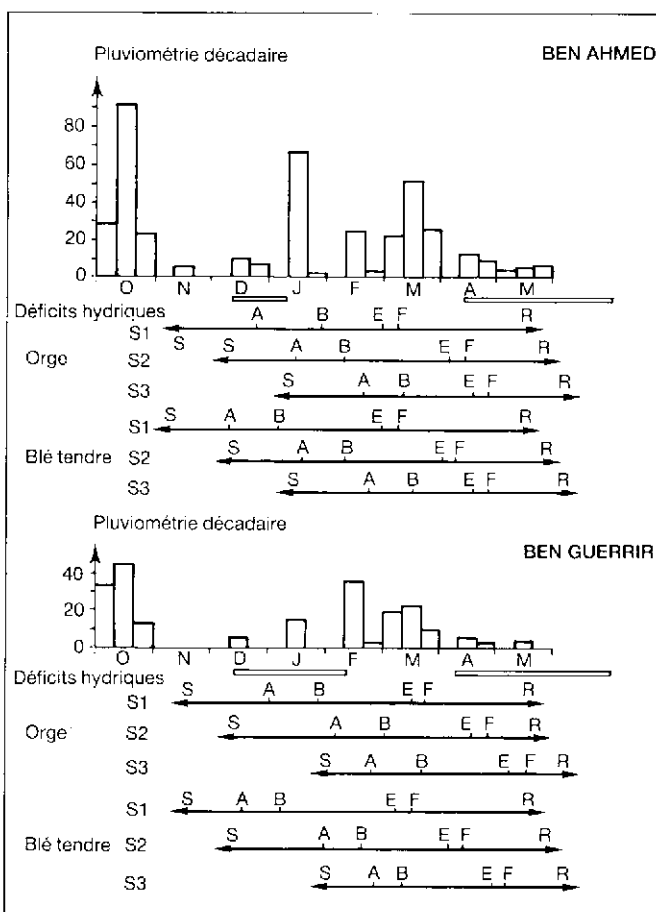


Fig. 3 : Positions respectives des cycles culturaux.

Les résultats de ces calculs, qui sont donnés dans le tableau VI, appellent les commentaires suivants :

- la chronologie du développement du blé tendre Nesma 149 est assez voisine de celle de l'orge 071 ; la sélection et la vulgarisation de nouvelles variétés de blé à cycle court a réduit et même supprimé l'avantage de précocité que l'on reconnaissait traditionnellement à l'orge ;

- la phase semis-levée est une des plus variables, sa durée dépendant des conditions de germination et de levée. En conditions sèches, particulièrement pour les semis précoces et de saison, en zone aride, cette durée peut être trois à quatre fois plus longue que celle constatée en conditions optimales.

L'apparition du stade A nécessite en principe une somme de températures qui diminue au-delà d'un seuil de photopériode (GRIGNAC, 1964 ; HOUDARD et BARLIER, 1978). Si ce schéma de développement se vérifie en conditions hydriques satisfaisantes, par contre il est profondément perturbé lorsque survient une période de sécheresse, comme l'ont montré LELIEVRE et PAPY (1977). Il se produit alors un retard du stade A qui peut être interprété comme un mode d'adaptation de la céréale à la sécheresse. C'est ce que nous avons constaté en zone aride pour les semis précoces et les semis de saison.

La phase A-B, durant laquelle se développent les talles et au terme de laquelle commence la montaison, a tendance à se réduire avec le retard du semis, ce qui diminue la capacité de tallage des cycles tardifs. Ce résultat est conforme à ce que l'on sait des conditions de réalisation du stade B. Celui-ci, en effet, intervient lorsque la durée du jour dépasse un seuil déterminé pour chaque espèce et

variété, ce seuil étant lui-même en interaction avec la température (HOUDARD et BARLIER, 1978).

La durée de la montaison se réduit en zone semi-aride pour les cycles tardifs, tandis qu'elle se rallonge considérablement en zone aride. Cette différence de comportement est à relier aux conditions d'alimentation hydrique. Lorsque celles-ci deviennent très sévères, on assiste à un retard de l'épiaison pouvant aller jusqu'à l'avortement des épis.

La position des stades épiaison-floraison, particulièrement sensibles au déficit hydrique, se situe entre début mars pour les cycles précoces et le milieu d'avril pour les semis tardifs. Les trois mois de décalage des cycles au semis se sont donc réduits de moitié par suite d'une accélération du développement des cycles tardifs. Cette réduction du décalage entre les cycles n'a pas diminué pour autant les risques de déficit hydrique des semis de saison et tardif étant donné que le dessèchement du sol (cf. tabl. IV) est intervenu dès le mois d'avril, en zone semi-aride comme en zone aride, c'est-à-dire lors de la phase épiaison-floraison correspondant à ces semis.

Le rendement et ses composantes

La figure 4, où sont figurés les rendements en grain des différents traitements par espèce et par zone, fait apparaître une forte différence de productivité entre les zones semi-aride et aride et un effet positif significatif de l'avancement de la date de semis sur les rendements du blé comme de l'orge, à l'exception de la zone semi-aride où le rendement du blé tendre en semis précoce a été nettement plus faible que pour les autres dates.

Tableau VI Longueur en degré-jour des phases de développement.

Espèces	Zones	Dates de semis	Phases				Stades			
			Semis levée	Levée stade A	A-B	Montaison	A	B	E	F
Blé tendre (149)	Semi-aride	S1	165	285	235	645	450	685	1 330	1 460
		S2	180	220	265	630	400	665	1 295	1 415
		S3	250	275	225	555	525	715	1 270	1 400
	Aride	S1	310	210	250	770	520	770	1 540	
		S2	320	370	270	690	690	960	1 650	
		S3	240	160	190	820	400	590	1 410	
Orge (071)	Semi-aride	S1	315	185	250	465	500	750	1 215	
		S2	150	220	305	645	370	675	1 320	
		S3	190	305	195	520	495	690	1 210	
	Aride	S1	460	290	290	670	705	995	1 675	
		S2	320	450	320	695	770	1 090	1 785	
		S3	190	210	265	965	400	665	1 630	
Normes orge			100	215	370	630	315	685	1 315	1 425
Normes blé tendre			100	260	250	650	250	610	1 260	

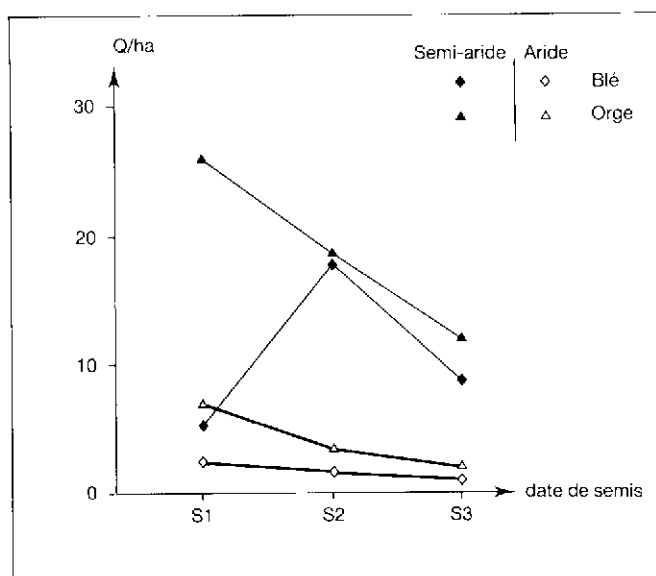


Fig. 4 : Rendement en grain en fonction des dates de semis.

Pour comprendre ces résultats, il est nécessaire de procéder à l'analyse de l'élaboration du rendement dans chacune des situations expérimentées.

Le rendement en grain

L'élaboration du rendement en grain du blé (tabl. VII) comme de l'orge (tabl. VIII) peut s'analyser comme étant le produit de trois composantes principales :

Peuplement épis	Fertilité de l'épi	Accumulation des réserves
$Rdt = nb \text{ d'épis/m}^2 \times nb \text{ de grains/épi} \times \text{poids du grain}$		

Le peuplement épis

Le nombre d'épis au mètre carré est lui-même fonction de deux composantes secondaires :

- le peuplement pieds, qui dépend de la dose de semis et du pourcentage de levée ;
- le coefficient de tallage épi (CTE).

Dans les conditions pédo-climatiques marocaines, on considère en culture pluviale que le pourcentage de levée est satisfaisant lorsqu'il atteint 65 à 70 %.

Compte tenu de cette norme, seuls les semis précoces et de saison d'orge et les semis de saison de blé en zone semi-aride ont permis une bonne levée.

L'analyse des autres situations fait apparaître deux causes essentielles aux levées défectueuses : le déficit hydrique post-semis et les prédateurs.

Ainsi, tous les semis dont la phase germination-levée a coïncidé avec la sécheresse d'hiver ont eu une levée médiocre (cf. fig. 3). Cette sécheresse ayant été plus accu-

sée en zone aride, les pourcentages de levée y sont plus faibles.

À cette première raison s'ajoute l'effet des prédateurs en début de cycle. De ce point de vue, le blé tendre s'est révélé beaucoup plus sensible que l'orge. On a constaté en effet que cette espèce était spécialement vulnérable aux attaques de fourmis qui déterrent les grains et détruisent les germes ainsi qu'aux attaques d'oiseaux qui sectionnent les jeunes tiges après la levée. L'absence de glumelles adhérent au grain et la finesse des jeunes plantules sont à l'origine de cette vulnérabilité particulière du blé. Ce sont ces attaques qui expliquent en particulier les peuplements pieds faibles du semis précoce à Ben Ahmed.

Le coefficient du tallage épi est le produit du coefficient de tallage herbacé (CTH) et du taux de montaison.

En zone aride comme en zone semi-aride les CTH enregistrés sont proches des normes admises : deux à trois pour le blé et quatre à cinq pour l'orge. On peut donc considérer que cette composante n'est pas à l'origine des fortes différences de rendements enregistrées entre situations. La formation des talles herbacées intervient durant la phase A-B ; on constate cependant que cette phase ne s'est pas toujours déroulée dans des conditions hydriques optimales, notamment pour les semis précoces. Par rapport à ce que l'on sait de l'élaboration de cette composante, un certain nombre d'anomalies sont à noter : à Ben Ahmed, le blé tendre a, en moyenne, plus tallé que l'orge, alors qu'en principe l'aptitude au tallage du blé tendre Nesma 149 est plus faible que celle de l'orge 071. Par ailleurs, certains semis tardifs ont un CTH particulièrement élevé, alors que le décalage des cycles réduit la phase A-B et donc la durée du tallage. Ces résultats s'expliquent essentiellement par les attaques de cécidomyie. Ce parasite, qui s'attaque généralement au brin maître, provoque une réaction de la plante qui se manifeste par une multiplication des talles secondaires. C'est ainsi qu'on a pu établir de bonnes corrélations dans les placettes d'observation entre le CTH et le taux d'attaque de cécidomyie. Cet effet du parasite pourrait être considéré comme bénin - voire bénéfique - si en même temps il ne causait la disparition de nombreux pieds.

Si le tallage herbacé a été satisfaisant, par contre, la montaison a été très inégale entre les différentes situations. Si l'on admet comme norme de CTE 1,5 à 1,7 pour le blé tendre et 1,9 à 2,1 pour l'orge, on voit qu'aucune situation n'atteint ces normes. Ce sont les semis de saison et tardifs de blé comme d'orge en zone aride qui ont les CTE les plus médiocres ; le tallage épi a également été faible pour les semis précoces de blé en zone semi-aride.

Il est intéressant de rapprocher ces résultats des pourcentages de pieds improductifs, c'est-à-dire de pieds qui n'ont pas monté ou qui, ayant monté, n'ont pas donné d'épi récoltable. On voit que ce phénomène a fortement joué sur le niveau du tallage épi. Reste à expliquer les causes de cette mauvaise montaison-épiaison.

Tableau VII Élaboration du rendement du blé tendre.

Zones		Semi-aride			Aride		
Dates de semis		S1	S2	S3	S1	S2	S3
Rendements (q/ha)	grain	5,4	18,3	8,6	2,6	1,5	1,1
		CV = 24 % $S_2 > S_3 \equiv S_1$ xxx			CV = 35 %		
	paille	11,1	20	17,4	5,7	4,9	2,7
		CV = 18 % $S_2 \equiv S_3 > S_1$ xx			CV = 27 %		
Composantes du rendement (normes)							
Pieds par m ²		180	271	121	121	147	160
% levée		54	81	36	47	57	62
Épis par m ²		130	265	139	159	44	46
CTH (2 à 3)		3,86	2,36	5	2,62	2,77	2,11
% montée		19	42	23	44	11	14
CTE (1,5 - 1,7)		0,72	0,98	1,15	1,15	0,30	0,29
Épillets fertiles par épi (15 - 17)		8,9	11,5	11,6	7,3	6,9	7,9
Grains par épillet (1,8 - 2)		1,4	1,5	1,6	1,4	1,4	1,3
Grains par épi		12,4	17,6	18,9	5,11	9,11	10
Grains par m ²		1 612	4 656	2 622	710	434	459
Poids 1 000 grains (50 - 55)		33,4	39,3	32,8	36,8	33,7	25,1
États du milieu							
Salissement adventices (%)		60	20	20	4	12	6
Cécidomyie (%)		80	60	100	17	16	44
Septoriose (%)		41	3	3	4	2	1
Pieds improductifs (%)		56	29	44	27	79	86

xxx très hautement significati ; xx hautement significatif ; x significatif.

De nombreux travaux de recherche (ASPINAL *et al.*, 1964 ; SLABOWSKI, 1961) ont mis en évidence que la période où le blé et l'orge sont les plus sensibles à la sécheresse se situe vers la fin de la montaison et au début de l'épiaison. Les principales conséquences de cette sécheresse sont la diminution de grains par épi par suite d'une inhibition des primordias et la réduction du tallage épi.

Or, il se trouve que pour les semis de saison et tardifs en zone aride cette phase fin montaison-début épiaison a coïncidé avec la période de déficit hydrique qui a débuté dès la seconde décennie d'avril. Par contre, pour les semis précoces, cette même phase a pu se dérouler avant le dessèchement du sol, ce qui a permis l'obtention de CTE nettement supérieures, 1,20 en moyenne pour S1, contre 0,40 pour S2 et S3.

Par contre, le faible CTE enregistré pour le semis précoce du blé en zone semi-aride ne peut s'expliquer par cette raison. Il est plutôt à relier à l'infestation par les mauvaises herbes (taux de recouvrement du sol de 60 % à la montaison). Celles-ci, en concurrençant la culture, notamment pour l'eau, ont fortement affecté la montaison, entraînant un taux particulièrement élevé de pieds improductifs (56 %).

La fertilité de l'épi

Le nombre de grains par épi est déterminé par le nombre d'épillets fertiles par épi et pour le blé par le nombre de grains par épillet.

Dans deux situations seulement (S1, et S2, pour l'orge en zone semi-aride), on enregistre des niveaux de fertilité de l'épi proches des normes variétales habituellement admises. Dans les autres situations, la diminution de cette fertilité est due à plusieurs causes.

La plus importante est le déficit hydrique intervenu durant la phase floraison-épiaison, phase pendant laquelle ce déficit entraîne un avortement des épillets et une stérilisation des fleurs par suite d'une réduction de la viabilité du pollen et une diminution de la réceptivité des stigmates (ASPINAL, 1964 ; MARGHI et MOUGHLI, 1977). Cette première cause explique la faible fertilité des épis des semis de saison et tardifs en zone aride et des semis tardifs en zone semi-aride.

Quant à la faible fertilité des épis de blé du traitement S1, elle est en grande partie la conséquence d'une maturation plus précoce qui a aggravé les attaques de moineaux à la récolte. Ces attaques ont à la fois diminué le nombre

Tableau VIII Élaboration du rendement de l'orge.

Zones		Semi-aride			Aride		
Dates de semis		S1	S2	S3	S1	S2	S3
Rendements (q/ha)	grain	26,1	18,7	11,8	7,2	3,6	1,6
		CV = 24 % S ₁ S ₂ S ₃ xxx			CV = 28 %		
	paille	33,5	22,2	18	11,4	10,7	8,1
		CV = 9 % S ₁ >S ₂ >S ₃ xxx			CV = 14 % S ₁ ≡S ₂ >S ₃		
Composantes du rendement (normes)							
Pieds par m ²		165	142	115	76	101	114
% levée		79	68	55	29	55	62
Épis par m ²		224	155	145	95	59	44
CTH (3 - 4)		3,5	3,65	3,33	4,8	2,4	3
% montée		39	30	38	26	24	13
CTE (1,2 - 2,1)		1,36	1,09	1,26	1,25	0,58	0,39
Grains par épi (25 - 30)		28,1	27,7	22	20,8	17,2	13
Grains par m ²		6 289	4 299	3 089	1 973	1 014	571
Poids 1 000 grains (45 - 50)		41,5	43,5	37	36,3	37,8	27,7
États du milieu							
Salissement adventices (%)		3	26	25	15	15	4,5
Cécidomyie (%)		0	50	81	38	0	81
Oïdium (%)		15	69	66	33	27	33
Rouille (%)		26	21	22	—	—	—
Pieds improductifs (%)		14	25	24	15	42	61

xxx très hautement significatif ; xx hautement significatif ; x significatif.

d'épillets fertiles et le nombre de grains par épillet. On peut également penser que l'infestation par les mauvaises herbes de S1 en zone semi-aride et le peuplement épis élevé de S1 en zone aride ont aussi contribué à diminuer cette fertilité des épis.

Le poids des grains

Cette dernière composante est sous l'influence directe des conditions de transfert et d'accumulation des réserves dans les grains, conditions liées entre autres à l'activité photosynthétique de la dernière feuille. Le statut hydrique de la plante joue un rôle déterminant sur ces processus et explique la baisse de cette composante au fur et à mesure du décalage des cycles et en fonction du salissement de la culture.

En zone aride, les poids des grains obtenus en semis tardifs sont inférieurs de moitié aux normes variétales. À noter également que les maladies foliaires du type septoriose sur blé tendre, rouille et oïdium sur orge ont contribué à la réduction du poids des grains, particulièrement en zone semi-aride.

Le rendement en paille

En zone semi-aride aussi bien qu'en zone aride, la production de paille est fortement valorisée comme nourriture pour les animaux pendant la longue période estivale d'arrêt de la végétation. Aussi est-il nécessaire de la prendre en compte dans l'appréciation de la productivité des différentes situations culturales expérimentées.

D'une façon générale la production de paille, quels que soient l'espèce et le lieu, est supérieure à la production de grain, mais le rapport paille/grain n'est cependant pas constant d'une situation à l'autre. Pour le blé tendre, il passe de 1,5 en zone semi-aride à 2,05 en zone aride et de 1,3 à 1,87 pour l'orge, confirmant la tendance d'une augmentation de ce rapport avec l'aridité déjà notée dans d'autres essais d'aridoculture (JOUVE et BERRADA, 1979).

En zone semi-aride, la corrélation paille-grain est significative pour les deux espèces. Le coefficient de corrélation est pour le blé tendre de 0,85 (après avoir éliminé l'effet bloc), pour l'orge de 0,94.

Cette corrélation traduit la liaison existant entre la production végétative et la production de grain qui a souvent été constatée pour ces céréales (BAMOUH, 1980).

Dans les conditions des essais effectués à Ben Ahmed, cette corrélation peut s'expliquer par l'effet du déficit de décembre survenu lors des premières phases de la culture et qui a affecté à la fois la production de matière sèche et l'initiation des épis et des épillets.

En zone aride, cette liaison paille-grain se vérifie également ; les coefficients de corrélation pour le blé tendre et l'orge sont respectivement de 0,77 et 0,71 une fois éliminée l'influence du dispositif.

En conclusion, il ressort de cette analyse de l'élaboration du rendement que le peuplement épis a joué un rôle déterminant dans la différenciation des rendements entre traitements.

La corrélation entre le rendement et le peuplement épis calculée pour les différents traitements, une fois éliminé l'effet bloc, est significative pour le blé comme pour l'orge.

En zone semi-aride, les coefficients de corrélation sont de 0,93 pour le blé, 0,84 pour l'orge, tandis qu'en zone aride ils sont respectivement de 0,93 et 0,95.

La variation du peuplement épis a résulté essentiellement d'une montaison très différente suivant les situations pouvant aboutir dans certains cas à des taux de pieds improductifs supérieurs à 80 %.

Les facteurs du milieu qui sont à l'origine de cette forte différenciation des peuplements épis sont en premier lieu le déficit pluviométrique qui s'est manifesté dès le mois d'avril, et pour une situation le taux de salissement par les mauvaises herbes.

Dans les deux cas, la technique qui a déterminé l'influence de ces contraintes de milieu sur le rendement final est la date de semis. Les conséquences du dessèchement du sol au printemps ont été d'autant plus accusées que le cycle était tardif et le salissement du blé tendre en zone semi-aride s'est révélé être un risque inhérent à cette espèce en semis précoce.

Conclusion

Les résultats de ces essais d'échelonnement des dates de semis confirment ceux enregistrés les années précédentes dans les tests effectués en milieu paysan, qui avaient révélé une supériorité des semis précoces particulièrement en zone aride, moins systématiquement en zone semi-aride.

Ils justifient également les stratégies de culture des agriculteurs que nous avons analysées dans les enquêtes conduites en parallèle à ces expérimentations.

En zone semi-aride, les agriculteurs sèment systématiquement

l'orge en premier, attendant la levée des mauvaises herbes pour implanter le blé. Par contre, en zone aride ils s'efforcent de semer les blés et les orges le plus tôt possible. Au-delà de ces confirmations, plusieurs conclusions peuvent être tirées de ces essais.

Du point de vue agronomique, il apparaît que la plus grande aptitude de l'orge par rapport au blé à valoriser des semis précoces est due à une couverture plus rapide du sol. Celle-ci lui permet de surmonter la concurrence des mauvaises herbes qui, en semis précoce, lèvent en même temps que la culture et ne peuvent donc être détruites au préalable par les travaux du sol. À cette caractéristique, due à un tallage plus élevé et une vigueur plus grande des jeunes plantules, il faut ajouter aussi la moins grande vulnérabilité de l'orge aux prédateurs. Après la longue saison sèche estivale, les premiers semis sont en effet très exposés aux attaques de fourmis et d'oiseaux.

D'une façon plus générale, la plus grande productivité de l'orge en zone aride et semi-aride – alors que le potentiel variétal du blé 149 est supérieur à celui de l'orge 071 – s'explique par une perte de pieds plus faible au cours de la végétation.

Nos essais ont mis en évidence l'importance de ce phénomène qui pose en termes nouveaux l'obtention d'un peuplement pieds optimum. Partant de la corrélation peuplement pieds-rendement souvent constatée à la récolte pour les céréales du Maroc (FENECH et PAPY, 1977), il a été proposé d'améliorer le pourcentage de levée pour augmenter le peuplement pieds. Or, il semble qu'il faille aussi se préoccuper d'assurer la survie et la productivité des pieds levés. Il est assez remarquable de constater que dans toutes les situations expérimentées, même celles ayant eu un pourcentage de levée moyen ou faible, il s'est produit une régression du nombre de pieds initial. Cette régression entraîne une baisse d'efficacité de la culture dans la valorisation de ressources en eau limitées. L'analyse de nos résultats montre qu'en plus de l'aridité du climat, qui ne peut être modifiée, mais dont les effets s'accroissent avec le décalage du cycle, les mauvaises herbes et le parasitisme constituent des causes non négligeables de pertes de pieds.

En ce qui concerne le blé, sa mauvaise adaptation au semis précoce, dans les conditions de culture actuelles, constitue un handicap important à une meilleure valorisation des précipitations et du potentiel génétique des nouvelles variétés. Les causes de ce handicap ont été clairement mises en évidence dans nos essais : infestation par les adventices, forte pression parasitaire, attaques de moineaux à la récolte. Reste à s'interroger sur les moyens permettant de remédier à ce handicap.

Le contrôle des adventices pour les semis effectués en début de saison pluvieuse ne pouvant être assuré par le travail du sol, on est contraint de recourir aux herbicides. Encore faut-il qu'ils soient efficaces, ce qui, compte tenu de la flore et des conditions pluviométriques des zones arides et semi-arides, est loin d'être assuré actuellement.

Une intensification des recherches dans ce sens est donc à entreprendre.

La pression parasitaire (cécidomyie, septoriose, etc.) peut être fortement diminuée si l'on évite la culture continue de céréales en adoptant des successions faisant alterner des légumineuses à graines, voire du maïs, avec les céréales. Cette pratique n'est malheureusement guère possible en zone aride ; par contre, en zone semi-aride, où elle est traditionnelle, elle doit être maintenue et encouragée contre la tendance à la monoculture céréalière qui se développe dans les microfundia et les grandes exploitations.

Quant aux attaques de moineaux, leur impact est inversement proportionnel à l'étendue des semis précoces ; elles devraient donc diminuer avec l'extension de ceux-ci, mais la sélection de blés barbus résistants à l'égrenage peut aussi contribuer à réduire ces dégâts.

Enfin, il paraît important de souligner que le fait de devoir modifier les autres techniques pour rendre possible et profitable l'avancement des semis constitue une bonne illustration de la pertinence de la notion d'itinéraire technique (SEBILLOTE, 1978), qui traduit la nécessité de raisonner de façon cohérente la suite des opérations techniques intervenant dans la conduite d'une culture.

Sur le plan plus général des stratégies de culture à promouvoir pour améliorer la production céréalière des zones arides et semi-arides, l'enseignement principal de ces essais est incontestablement le manque à gagner qu'entraîne le retard des semis. Entre les meilleurs cycles et les moins bons, l'écart de productivité est dans un rapport de trois à un. Peu de techniques, que ce soit l'amélioration variétale ou la fertilisation, ont dans ces conditions un tel impact sur le rendement ; c'est dire l'importance que revêt le choix judicieux de la période de semis.

De ce point de vue, ce qui ressort nettement de nos essais et de ceux qui les ont précédés c'est la nécessité de raccourcir la période des semis. En effet, plus que l'adoption systématique de semis précoces – qui, comme nous l'avons vu, posent des problèmes particuliers pour les blés – ce qui apparaît comme indispensable c'est la suppression des semis tardifs. En effet, quelles que soient l'espèce cultivée et les conditions d'aridité, ces semis sont nettement moins productifs.

Supprimer les semis tardifs, cela suppose de semer plus tôt, plus vite, de travailler une partie des sols en sec avant l'arrivée des pluies, d'améliorer la préparation du sol pour assurer une levée correcte dans des conditions d'humectation des graines plus aléatoires.

Seul le recours plus systématique à la mécanisation permettra d'atteindre ces objectifs. Grâce en partie aux recherches en aridoculture, l'administration de l'agriculture a pris conscience de cet impératif et des mesures ont été prises en conséquence.

La difficulté, dans ce domaine, est de promouvoir des formes de mobilisation de la mécanisation qui, tout en assurant une augmentation de productivité de la terre, n'accroissent pas les disparités sociales et l'exode rural.

Reçu le 16 septembre 1983.
Accepté le 10 mai 1984.

Références bibliographiques

- ASPINAL D., NICHOLS P.B., MAY L.H., 1964. The effects of soil moisture on growth of barley. *Austr. J. Agric.*, 15 : 729-745.
- BAMOUH A., 1981. Effets d'une sécheresse en début de cycle sur l'élaboration du rendement du blé tendre Nesma 149. Mémoire de 3^e cycle, IAV Hassan II, Rabat, 125 p.
- BRICHA F., NYOUBE B., 1981. Effets de stress hydriques sur le comportement de l'orge (périodes végétatives et de reproduction). Mémoire de 2^e cycle, ÉNA Meknès, 40 p.
- FENECH J., PAPY F., 1977. Conditions de réussite de la levée en climat méditerranéen. *Ann. Agron.*, 28 (6) : 599-635.
- GRIGNAC P., 1964. Contribution à l'étude de *Triticum durum*. Thèse d'État, université de Toulouse, 221 p.
- HOUDARD Y., BARLIER J., 1978. Influence de la date de semis sur le développement et le rendement du blé dans l'est de la France. Versailles, CNRA, 37 p.
- JOUBE P., BERRADA A., 1979. Résultats d'expérimentation en aridoculture. *Maroc Agric.*, (113) : 20-24.
- JOUBE P., EL BAGHATI H., 1980. Compte rendu d'essais sur les techniques de culture de l'orge et du blé tendre en aridoculture. Rabat, IAV-Direction de la mise en valeur, 39 p.
- JOUBE P., 1983. Relation entre déficit hydrique et rendement potentiel du blé tendre et de l'orge en milieu aride. Montpellier, IRAT-GERDAT, 19 p.
- JOUBE P., PAPY F. Les systèmes de culture dans les zones semi-arides et arides du Maroc occidental. *Rev. Geogr. Maroc (à paraître)*.
- LELIEVRE F., PAPY F., 1977. Observation au champ des premiers stades de développement du blé dur en conditions d'alimentation hydrique et azotée déficientes. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 13 : 879-886.
- MANICHON H., 1983. Experimental bases of dry farming techniques in arid and semi-arid zones. In : 17^e Colloque de l'Institut International de la Potasse, Berne, IIK. Rabat, Maroc, p. 143-152.
- MARGHI M., MOUGHLI E., 1977. Effets du déficit hydrique sur les composantes du rendement du blé. Étude bibliographique. Rabat, IAV, 27 p.
- PAPY F., LELIEVRE F., 1979. Les pratiques de céréaliculture dans une région à climat aride de type méditerranéen : la plaine de Ben Guerir. *Rev. Géogr. Maroc*, (3) : 23-41.
- PAPY F., OUSSIBLE M., JOUBE P., 1981. Les contraintes pédoclimatiques à l'exploitation agricole des zones semi-arides et arides du Maroc occidental. *Rev. Géogr. Maroc*, (5) : 121-133.

SEBILLOTE M., 1978. Itinéraires techniques et évolution de la pensée agronomique. C.R. Acad. Agric. Fr., 11 : 906-913.

SLABOWSKY H., 1961. Investigation on drought resistance of spring wheat varieties. Field Crop Abstr., 1594 (4) : 14.

Summary

JOUVE P., DAOUDI A. - Sowing date effects on the yield components of soft wheat and barley in arid and semi-arid areas.

In the semi-arid and arid areas of West Morocco, cereals establishment can spread over two to three months after the coming of rains.

On account of a short wet season, it can be expected that any delay in sowing contributes to poor yields in increasing the effects of a water deficit systematic at the end of the cycle.

To test the hypothesis and verify the interest of having a better coincidence of the cultural cycle with the wet season, trials on staggered sowing dates for barley and soft wheat were established in a semi-arid (Ben Ahmed) and arid area (Ben Guerrir).

Three sowing times were compared : early sowing as soon as rains fall, mid-season sowing after weed emergence and late sowing one month later.

These trials showed that early sowing were markedly better both for soft wheat and barley in the arid area.

In the semi-arid area, if barley was much more productive when sown early, mid-season sowings of wheat produced the best yields because weed competition was strong when wheat sowings were early.

Results are interpreted from a comparative study of the development and yield components of wheat and barley in each tested situation. From it a number of practical conclusions on cereals crop management in arid and semi-arid areas can be drawn.

Key words : *Triticum vulgare*, soft wheat, *Hordeum vulgare*, barley, aridity, sowing dates, yield components, phenology, Morocco.

Resumen

JOUVE P., DAOUDI A. - Efectos de la fecha de siembra sobre la elaboración del rendimiento del trigo candeal y de la cebada en zonas semi-áridas y áridas.

En las zonas semi-áridas y áridas del Oeste de Marruecos, la instalación de los cereales puede escalonarse a lo largo de los dos o tres meses consecutivos a la llegada de las lluvias.

Dada la brevedad de la estación lluviosa, cabe pensar que el menor retraso de las siembras contribuye a disminuir los rendimientos, acentuando los efectos del déficit hídrico que es sistemático al final del ciclo.

Para comprobar esta hipótesis y justificar el interés de una mejor superposición del ciclo de cultivo con la estación de lluvias, se han realizado ensayos de fechas de siembra escalonadas relativos a la cebada y al trigo candeal en zona semi-árida (Ben Ahmed) y en zona árida (Ben Guerrir).

Se han comparado tres períodos de siembra : siembras tempranas nada más llegar las lluvias, siembras de temporada después de la emergencia de las malas hierbas y siembras tardías un mes después.

Estos ensayos han revelado, en zona árida, una neta superioridad de las siembras tempranas, tanto en lo que se refiere al trigo candeal como en lo que se refiere a la cebada.

En cambio, en zona semi-árida, aunque las siembras tempranas son netamente más productivas en el caso de la cebada, las siembras de temporada son las que han proporcionado los mejores rendimientos de trigo, debido a una fuerte competencia de las adventicias en siembra temprana.

Estos resultados se interpretan a partir de un estudio comparado del desarrollo y de la elaboración del rendimiento del trigo y de la cebada en cada una de las situaciones experimentadas. Este estudio permite sacar cierto número de conclusiones prácticas acerca del manejo de los cereales en zonas áridas y semi-áridas.

Palabras-clave : *Triticum vulgare*, trigo candeal, *Hordeum vulgare*, cebada, aridez, fecha de siembra, elaboración del rendimiento, fenología, Marruecos.

Indices SIDR et diagnostic foliaire du soja (*Glycine max* L. Merrill) au Sénégal

J. LARCHER (1), L. CISSE (2)

RÉSUMÉ — À partir des analyses N, P et K de feuilles prélevées, à cinq stades végétatifs (R2, R3, R4, R5 et R6) sur deux essais conduits au Sénégal en 1981, les auteurs ont comparé le diagnostic foliaire utilisant les indices SIDR avec celui, plus classique, faisant appel à des valeurs critiques. Il s'est avéré qu'avec les valeurs critiques, le diagnostic foliaire n'est possible qu'à un moment précis du cycle (stade R2) et ne permet pas d'établir un ordre relatif des éléments dont la plante a besoin. Basés sur les rapports N/P, N/K et K/P, les indices SIDR ont présenté l'avantage d'être utilisables à n'importe quel âge de la plante et d'établir un ordre relatif des éléments dont la plante a besoin. Bien que n'importe quelle feuille du soja puisse être analysée, les auteurs, dans un souci de faciliter et uniformiser le travail des opérateurs, préconisent de prélever la deuxième feuille supérieure développée.

Mots clés : *Glycine max*, soja, diagnostic foliaire, indices SIDR, potasse, Sénégal.

L'analyse chimique de la plante entière permet parfois de mieux comprendre le processus de la nutrition minérale mais surtout d'apprécier les quantités d'éléments essentiels exportées par la culture, à condition toutefois de faire un échantillonnage soigné avant l'analyse, ce qui s'avère très difficile dès que l'espèce concernée atteint un certain développement végétatif. Cette méthode a aussi l'inconvénient de nécessiter la destruction de la plante et de ne donner des résultats qu'à posteriori, sans que l'agronome puisse intervenir pour modifier éventuellement la fertilisation en cours de végétation.

LAGATU et MAUME (1930, 1932, 1933) ont montré que le diagnostic foliaire permettait d'établir une « biopsie de la plante » (DEMOLON, 1956) en analysant une feuille de situation définie à un moment précis du cycle de la plante. En comparant les résultats de l'analyse à des « niveaux critiques de nutrition » définis par un ensemble d'essais au champ et en laboratoire, il est alors possible d'établir un diagnostic de la nutrition minérale durant le cycle de la plante.

(1) Ingénieur de recherches IRAT mis à la disposition de l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles, Centre National de Recherches Agricoles, Bambey, Sénégal.

(2) Institut Sénégalais de Recherches Agricoles, Centre National de Recherches Agricoles, Bambey, Sénégal.

La situation et le nombre de feuilles à prélever, l'époque du prélèvement et les niveaux critiques de nutrition ont ainsi été déterminés pour de nombreuses plantes cultivées comme la canne à sucre, le riz, l'arachide, le palmier à huile, etc.

Ainsi, pour le soja CHAPMAN (1964) préconise de prélever 50 à 100 limbes de feuilles supérieures au stade R4. L'EMBRAPA, au Brésil, conseille de prélever la quatrième feuille supérieure (limbe et pétiole) au stade R2 et 50 feuilles par répétition. Aux USA, on préconise de prélever 20 à 30 feuilles supérieures par répétition au stade R4.

Par ailleurs, des niveaux critiques et optima de nutrition du soja ont été établis par JONES (1966), SMALL et OHLORGE (1973), NELSON et BARBER (1964), MELSE et al. (1969), de MOOY et PESEK (1965, 1970).

Si ce type de diagnostic foliaire permet d'intervenir en cours de végétation, il est limité dans son utilisation car il doit être réalisé à un stade végétatif précis et « ne tient pas compte de façon satisfaisante de la variation des teneurs en éléments nutritifs en fonction de l'âge » (SUMNER, 1977) ni de l'aspect variétal.

Le système intégré de diagnostic et de recommandation (SIDR), mis au point par BEAUFILS pour le maïs et la canne à sucre et adapté au soja par SUMNER, permet de diagnostiquer si N, P ou K est l'élément nutritif qui limite le plus la production du soja dans un cas particulier. Ce diagnostic peut être effectué quels que soient la variété et l'âge de la feuille prélevée.

L'objet de notre étude a été de vérifier l'intérêt des indices SIDR appliqués à une culture de soja (cultivar ISRA-IRAT 44 A/73) au Sénégal.

Matériel et méthode expérimentale

Indices SIDR

À partir d'une banque de données, 1 245 séries d'analyses foliaires N, P et K réparties en deux sous-populations (A et B), SUMNER (1977) a calculé la valeur moyenne de N/P, N/K, K/P ainsi que leur coefficient de variation (CV). Les indices SIDR représentant « des évaluations quantitatives du degré relatif de déséquilibre entre les éléments nutritifs étudiés » (SUMNER) ont été calculés à l'aide des équations suivantes :

$$\text{Indice N} = + \left(\frac{f(N/P) + f(N/K)}{2} \right)$$

$$\text{Indice P} = - \left(\frac{f(N/P) + f(K/P)}{2} \right)$$

$$\text{Indice K} = + \left(\frac{f(K/P) - f(N/K)}{2} \right)$$

où $f(N/P) = 100 \left(\frac{N/P}{13,77} - 1 \right) \frac{10}{CV}$ lorsque $N/P > 13,77$

$f(N/P) = 100 \left(1 - \frac{13,77}{N/P} \right) \frac{10}{CV}$ lorsque $N/P < 13,77$

13,77 représentant la valeur moyenne N/P et CV = 20 le coefficient de variation de la sous-population B.

Les autres termes $f(N/K)$ et $f(K/P)$ sont obtenus de la même façon en utilisant pour $f(N/K)$ la moyenne 2,43 et CV = 21, pour $f(K/P)$ la moyenne de 5,97 et CV = 25.

Expérimentation

Deux essais (I et II) ont été réalisés en 1981 à la station de Séfa (moyenne Casamance) sur sols ferrallitiques moyennement désaturés (essai I) et sur sols ferrugineux tropicaux à taches et concrétions (essai II).

Essai I (tabl. I)

Traitements

- Factoriel $4 \times 3 + 1$, 6 répétitions
- Rotation maïs/soja avec enfouissement (AP), sans enfouissement (SP) des pailles de maïs ou inoculation (In.).

Tableau I Traitements (kg/ha) de l'essai I.

Traitements	Enfouissement pailles	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Inoculation
(1) N - P - K ₀ - SP	sans	100*	45	0	sans
(2) N - P - K ₄₀ - SP	sans	100*	45	40	sans
(3) N - P - K ₈₀ - SP	sans	100*	45	80	sans
(4) N - P - K ₁₂₀ - SP	sans	100*	45	120	sans
(5) N - P - K ₀ - AP	avec	100*	45	0	sans
(6) N - P - K ₄₀ - AP	avec	100*	45	40	sans
(7) N - P - K ₈₀ - AP	avec	100*	45	80	sans
(8) N - P - K ₁₂₀ - AP	avec	100*	45	120	sans
(9) N - P - K ₀ - In	sans	15**	45	0	avec
(10) N - P - K ₄₀ - In	sans	15**	45	40	avec
(11) N - P - K ₈₀ - In	sans	15**	45	80	avec
(12) N - P - K ₁₂₀ - In	sans	15**	45	120	avec
(13) TA (témoin absolu)	sans	0	0	0	sans

* 15 kg au semis, 40 kg au stade R1, 45 kg au stade R3.

** 15 kg au semis.

Conditions de réalisation

- Écartement entre lignes : 0,60 m
- Densité de peuplement : 333 000 pieds/ha
- Dimensions et superficie utile des parcelles élémentaires : $3,00 \times 11,40 \text{ m} = 34,20 \text{ m}^2$
- Cultivar : IRAT 273 (ISRA-IRAT 44A/73)
- Inoculum : (souche USDA 138 + tourbe) 25 kg/ha

Essai II (tabl. II)

Tableau II Traitements (kg/ha) de l'essai II.

Traitements	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
0 - 0 - 0	0	0	0
In - 0 - 0	Inoculation	0	0
In - 0 - 200	Inoculation	0	200
In - 100 - 0	Inoculation	100	0
In - 100 - 200	Inoculation	100	200
200 - 100 - 200	200*	100	200

* 1/5 au labour, 2/5 au stade R1, 2/5 au stade R2.

Conditions de réalisation

- Factoriel $2^2 + 2$, 6 répétitions
- Précédent cultural : maïs
- Écartement entre lignes : 0,60 m
- Densité de peuplement : 333 000 pieds/ha

- Dimensions et superficie utile des parcelles élémentaires : $1,80 \times 4,00 = 7,20 \text{ m}^2$
- Cultivar IRAT 273 (ISRA-IRAT 44 A/73)
- Inoculum (souche USDA 138 + tourbe) 25 kg/ha
- Fumure : les engrais ont été épandus manuellement et enfouis superficiellement au ratteau avant le semis.

Prélèvement des échantillons

- Stades végétatifs :
 - . essai I : R2
 - . essai II : R2, R3, R4, R5 et R6
- Situation de la feuille : limbe de la deuxième feuille supérieure ayant les folioles complètement déroulées
- Nombre de feuilles par parcelle : 25
- Séchage des échantillons à l'étuve à 60 °C.

Méthodes d'analyse

Pour chaque répétition, un échantillon représentatif de 500 mg de poudre végétale a été prélevé pour les analyses. L'azote total a été déterminé par colorimétrie automatique au dichloro-isocyanurate de sodium, après attaque Kjeldahl à la température contrôlée de 350 °C pendant trois heures (BD 20 Technicon).

Le phosphore et le potassium ont été dosés par colorimétrie automatique au réactif de Mission et émission de flamme, après minéralisation selon la technique du CII.

Résultats et discussion

Essai n° 1

Si on se réfère, par exemple, aux valeurs critiques proposées par SMALL et OHLROGGE (1973) :

- N = 4,25 - 5,50 %
- P = 0,26 - 0,50 %
- K = 1,71 - 2,50 %,

l'interprétation des teneurs en N, P et K des limbes (tabl. III, IV et V) pourrait être la suivante :

- azote : on ne constate aucune différence significative entre les traitements. À l'exception de TA, ces teneurs sont, sans doute, juste satisfaisantes ;
- phosphore : les teneurs sont très bonnes même pour le témoin, ce qui tend à prouver l'absence de toute carence phosphorique dans ce sol, du fait d'une fertilisation appropriée et qui reste efficace dans le temps. Les teneurs des traitements inoculés sont significativement plus faibles, l'azote engrais, apporté sur les autres traitements, favorisant une absorption du phosphore plus importante au moment de la floraison (GANRY et WEY, 1982) ;
- potasse : les teneurs sont faibles pour les traitements 1, 2, 5, 9 et TA, satisfaisantes pour les autres.

Tableau III Teneurs en azote des limbes au stade R2.

Traitements	SP + N 100	AP + N 100	In + N 15	Moyennes
P - K ₀	4,29	4,30	4,19	4,26
P - K ₄₀	4,15	4,25	4,32	4,24
P - K ₈₀	4,20	4,29	4,32	4,27
P - K ₁₂₀	4,40	4,18	4,50	4,36
Moyennes	4,26	4,26	4,33	
TA	-	-	-	3,70
CV %	6,42			

Tableau IV Teneurs en phosphore des limbes au stade R2.

Traitements	SP + N 100	AP + N 100	In + N 15	Moyennes
P - K ₀	0,494	0,492	0,440	0,476
P - K ₄₀	0,453	0,477	0,454	0,461
P - K ₈₀	0,468	0,488	0,437	0,464
P - K ₁₂₀	0,478	0,477	0,450	0,468
Moyennes	0,474 a	0,484 a	0,446 b	
TA	-	-	-	0,400
CV %	5,86			

Les résultats affectés de la même lettre ne sont pas significativement différents à $P = 0,05$.

Tableau V Teneurs en potasse des limbes au stade R2.

Traitements	SP + N 100	AP + N 100	In + N 15	Moyennes
P - K ₀	0,817	1,442	1,015	1,092 c
P - K ₄₀	1,600	1,895	1,835	1,777 b
P - K ₈₀	1,968	1,980	2,125	2,024 a
P - K ₁₂₀	2,172	2,195	2,900	2,186 a
Moyennes	1,639 b	1,878 a	1,791 ab	
TA	-	-	-	0,998
CV %	15,35			

Les résultats affectés de la même lettre ne sont pas significativement différents à $P = 0,05$.

Un tel diagnostic peut être cependant sujet à variations car des valeurs critiques sensiblement différentes ont été proposées par NELSON (1964), MELSTED *et al.* (1969) et de MOOY (1965).

En proposant, en plus, une hiérarchie relative des éléments limitants, les indices SIDR permettent aussi une meilleure compréhension des rendements (tabl. VI et VII) :

– l'apport de 40 kg de K_2O (traitements 2, 6 et 10) provoque une augmentation significative des rendements ainsi que des teneurs en potasse des limbes. Les besoins en potasse sont loin d'être satisfaits, l'indice K reste le plus faible (traitement 2) ou occupe la deuxième place, juste après l'azote. Sans les indices SIDR, il n'était pas possible de mettre en évidence l'aspect limitant de l'azote dans les traitements 6 et 10 ;

– 80 kilos de K_2O (traitements 3, 7 et 11) semblent satisfaire les besoins en potasse du soja : les teneurs en potasse et les rendements augmentent significativement, les indices K se classent en deuxième position. Les indices SIDR permettent donc de considérer l'azote comme plus limitant que la potasse alors que les teneurs des limbes en ces deux éléments sont à peine supérieures au minimum des valeurs critiques, sauf pour le traitement 11 ;

Tableau VI Rendements en grains (kg/ha).

Traitements	SP + N 100	AP + N 100	In + N 15	Moyennes
P – K_0	977	1 150	1 135	1 087 c
P – K_{40}	1 835	1 830	1 959	1 875 b
P – K_{80}	2 186	2 385	2 837	2 203 a
P – K_{120}	2 225	2 334	2 081	2 213 a
Moyennes	1 806	1 925	1 803	
TA	–	–	–	711
CV %	21,14			

Les résultats affectés de la même lettre ne sont pas significativement différents à $P = 0,05$.

Tableau VII Indices SIDR et ordre relatif des besoins en éléments nutritifs.

Traitements	Indices			Ordre des besoins en éléments nutritifs
	N	P	K	
(1) N – P – K_0 – SP	13	67	– 80	K > N > P
(2) N – P – K_{40} – SP	– 11	27	– 15	K > N > P
(3) N – P – K_{80} – SP	– 17	22	– 5	N > K > P
(4) N – P – K_{120} – SP	– 17	19	– 1	N > K > P
(5) N – P – K_0 – AP	– 9	35	– 26	K > N > P
(6) N – P – K_{40} – AP	– 15	24	– 8	N > K > P
(7) N – P – K_{80} – AP	– 17	24	– 7	N > K > P
(8) N – P – K_{120} – AP	– 21	20	1	N > K > P
(9) N – P – K_0 – In	5	43	– 49	K > N > P
(10) N – P – K_{40} – In	– 12	21	– 9	N > K > P
(11) N – P – K_{80} – In	– 15	14	– 1	N > K > P
(12) N – P – K_{120} – In	– 14	14	0	N > K > P
(13) TA	0	40	– 40	K > N > P

– 120 kilos de K_2O (traitements 4, 8 et 12) ne modifient plus les rendements ni la hiérarchie des indices où l'azote confirme son aspect limitant. Or le seul examen des teneurs, bonnes pour la potasse et satisfaisantes pour l'azote, n'autorise pas à dire, comme avec les indices SIDR, que des apports supplémentaires d'azote devraient améliorer les rendements. Ce dernier point, bien que vraisemblable, reste cependant une hypothèse, cet essai n'étant qu'une courbe de réponse à la potasse sur lequel nous avons voulu tester les indices SIDR.

Essai n° 2

Les teneurs des limbes en N, P et K ont été analysées, dans cet essai, à cinq stades végétatifs (R2, R3, R4, R5 et R6). En utilisant les valeurs critiques généralement

Tableau VIII Teneurs en azote des limbes et valeurs des F calculés.

Traitements	R2	R3	R4	R5	R6
0 – 0 – 0	5,144	4,907	4,367	4,026	3,520
In – 0 – 0	5,378	5,023	4,715	4,063	3,652
In – 0 – 200	5,262	5,212	4,847	4,432	4,011
In – 100 – 0	5,256	5,222	4,669	4,168	3,533
In – 100 – 200	5,575	5,247	4,784	4,394	4,112
200 – 100 – 200	5,941	5,999	5,298	4,647	3,949
Valeurs de F calculé					
– Traitements	1,73	4,93*	3,13*	1,56	2,59
.inoculation		0,36	0,21		
.reliquat		11,78*	7,51*		
CV (%)	8,2	6,5	7,2	9,1	8,5

*significatif à $P = 0,05$.

admisses, on peut seulement dire, au vu des résultats d'analyses (tabl. VIII, IX et X), qu'au stade R2 l'alimentation minérale des plantes est satisfaisante dans l'ensemble, avec cependant quelques teneurs élevées en azote. Par contre, ce diagnostic ne permet pas d'identifier l'élément limitant le plus la production du soja. Cette information, obtenue par le calcul des indices SIDR, révèle le caractère très limitant de la potasse, bien que les teneurs des limbes en K soient jugées satisfaisantes.

Dans le cas de cet essai, il convient de noter, pour les traitements In-0-200, In-100-200 et 200-100-200, la faible

absorption de la potasse donnant, d'une façon imprévisible, compte tenu des quantités importantes de K_2O apportées (200 kg/ha), un caractère très limitant à cet élément. Cette faible absorption est peut-être la conséquence des inondations partielles du début de cycle qui ont pu entraîner une partie de l'engrais superficiellement enfoui.

Une autre limite à l'emploi des valeurs critiques réside dans le fait qu'elles ne sont applicables qu'à un stade végétatif précis, en général à la floraison (R2) ou en fin de floraison. Au-delà de ce stade, les teneurs en N, P et K des

Tableau IX Teneurs en phosphore des limbes et valeurs des F calculés.

Traitements	R2	R3	R4	R5	R6
0 - 0 - 0	0,400	0,291	0,250	0,236	0,204
In - 0 - 0	0,492	0,335	0,300	0,260	0,239
In - 0 - 200	0,434	0,304	0,263	0,245	0,209
In - 100 - 0	0,481	0,347	0,327	0,268	0,254
In - 100 - 200	0,482	0,362	0,312	0,281	0,288
200 - 100 - 200	0,529	0,406	0,355	0,298	0,256
Valeurs de F calculé					
- Traitements	1,95	5,23*	6,20*	3,53*	3,29*
.inoculation		1,85	3,00	1,50	3,52*
.P					7,19*
.K					0,02
.P x K					3,36
.reliquat		10,38*	11,00*	6,58*	2,93
CV(%)	14,0	10,6	10,5	9,3	14,4

*significatif à $P = 0,05$.

Tableau X Teneurs en potasse des limbes et valeurs des F calculés.

Traitements	R2	R3	R4	R5	R6
0 - 0 - 0	1,771	1,315	1,096	0,971	1,096
In - 0 - 0	2,060	1,481	1,432	1,179	1,199
In - 0 - 200	2,084	1,668	1,461	1,435	1,224
In - 100 - 0	2,026	1,409	1,237	0,996	1,075
In - 100 - 200	2,227	1,816	1,550	1,414	1,492
200 - 100 - 200	2,228	1,943	1,630	1,469	1,424
Valeurs de F calculé					
- Traitements	3,24*	6,73*	3,63*	8,97*	2,48
.inoculation	0,89	3,80*	1,59	7,62*	
.P		0,16		1,83	
.K		9,89*		19,87*	
.P x K		1,35		1,14	
.reliquat	6,75*	11,11*	6,69*	10,99*	
CV(%)	9,0	11,8	15,0	12,2	17,4

*significatif à $P = 0,05$.

Tableau XI Indices SIDR à cinq stades végétatifs et rendements en grain (kg/ha).

Traitements	Stades	Indices			Ordre relatif des éléments limitants	Rendement kg/ha à 13 % H ₂ O
		N	P	K		
0 - 0 - 0	R2	3	9	-12	K > N > P	1 220
	R3	18	1	-19	K > P > N	
	R4	22	1	-22	K > P > N	
	R5	23	3	-26	K > P > N	
	R6	14	-4	-10	K > P > N	
In - 0 - 0	R2	-5	15	-10	K > N > P	1 640
	R3	12	5	-16	K > P > N	
	R4	12	1	-13	K > P > N	
	R5	13	3	-16	K > P > N	
	R6	9	1	-10	K > P > N	
In - 0 - 200	R2	-3	8	-6	K > N > P	1 854
	R3	13	-4	-9	K > P > N	
	R4	17	-7	-10	K > P > N	
	R5	14	-7	-7	K > P > N	
	R6	18	-9	-9	K > P > N	
In - 100 - 0	R2	-5	15	-10	K > N > P	1 618
	R3	15	7	-22	K > P > N	
	R4	14	11	-25	K > P > N	
	R5	20	9	-29	K > P > N	
	R6	9	8	-17	K > P > N	
In - 100 - 200	R2	-4	11	-7	K > N > P	1 984
	R3	6	2	-8	K > P > N	
	R4	9	1	-10	K > P > N	
	R5	10	0	-10	K > P > N	
	R6	4	2	-6	K > P > N	
200 - 100 - 200	R2	-3	14	-11	K > N > P	1 916
	R3	8	3	-11	K > P > N	
	R4	10	4	-14	K > P > N	
	R5	10	1	-11	K > P > N	
	R6	6	-2	-5	K > P > N	
Valeurs de F calculé						
- Traitements						2,92*
- Traitements inoculés						1,19
- Reliquats						5,51*
Coefficient de variation (%)						19,3

*significatif à $P = 0,05$.

feuilles diminuent et il n'existe plus des valeurs critiques éprouvées auxquelles on puisse se référer pour établir un diagnostic.

Dans le tableau XI, les indices N, P, K ont été calculés au stade R2 mais aussi aux stades R3, R4, R5 et R6. À l'intérieur de chaque traitement, on constate qu'en général, et plus particulièrement pour l'élément le plus limitant, la hiérarchie des indices reste constante, quel que soit le stade végétatif. Ceci s'explique par le fait que les rapports N/P, N/K et K/P, bases des calculs des indices

SIDR, varient peu avec l'âge de la plante. On mesure donc là l'intérêt de ces indices qui permettent un diagnostic à tout moment du cycle de la plante.

Conclusion

À partir des teneurs en N, P et K des feuilles, le calcul des indices SIDR apporte en plus à l'agronome des informations complémentaires non négligeables, aussi bien sur

l'équilibre nutritionnel de la plante que sur l'élément limitant le plus le rendement de la culture.

Cependant, cette méthode de diagnostic doit être utilisée avec précaution car elle a le défaut d'identifier toujours un élément limitant quels que soient les apports de fertilisants et de ne pas tenir compte, soit des limites à la capacité de la plante à absorber les éléments nutritifs, soit des limites aux potentialités de rendement.

Employés avec discernement, les indices SIDR offrent également l'avantage d'être utilisables à tous les moments du cycle de la plante.

Pour SUMNER, la position de la feuille ne modifie pas la hiérarchie des indices. Dans le but de faciliter et uniformiser le travail des opérateurs, les auteurs préconisent d'utiliser la deuxième feuille supérieure développée, plus commode à prélever.

Reçu le 11 mars 1983.
Accepté le 19 juin 1983.

Remerciements. L'auteur remercie les laboratoires d'analyses du CNRA de Bambey et du GERDAT de Montpellier qui ont assuré les analyses des échantillons prélevés et préparés par M. Mbaye DIAGNE. Il exprime sa gratitude à M. WEIL pour l'interprétation statistique des résultats et à M. OLIVER pour ses conseils.

Références bibliographiques

CHAPMAN H.D., 1964. Techniques proposées pour le prélèvement et la manutention des échantillons foliaires en vue de déterminer l'état nutritif de quelques productions agricoles, horticoles et arbustives. *Fruits*, 19 (7) : 367-377.

DEMOLON A., 1956. Croissance des végétaux cultivés. Paris, Dunod, 576 p.

DE MOOY C.J., 1965. Differential responses of soybean varieties to application of phosphorus, potassium and calcium carbonate materials with respect to leaf composition and yield. Ph. D. dissertation, Iowa State Univ. Ames, Iowa.

DE MOOY C.J., PESEK J., 1970. Differential effects of P, K and Ca salts on leaf composition, yield and seed size of soybean lines. *Crop Sci.*, 10 : 72-77.

FEHR W.R., CAVINESS C.E., BURMOUD D.T., SENNINGTON J.S., 1978. Stages of development descriptions for soybean. *Crop Sci.*, 18 (11) : 929-931.

GANRY F., WEY J., 1982. Fumure phosphatée et bilan azoté dans un agrosystème soja-sol sableux du Sénégal. Étude au moyen de ^{15}N . Bambey, ISRA (Doc n° 82/107).

JONES J.B., 1966. Methods of interpreting plant analyses for agronomic crops. In : *Proc. Plant workshop for industry*, O'Hare Inn, Des Plaines, USA, 111 : 5-10.

LAGATU H., MAUME L., 1930. Le diagnostic foliaire de la pomme de terre, 1^{er} mémoire. *Ann. Sci. Agron.*, 5 : 595-653.

LAGATU H., MAUME L., 1932. Le diagnostic foliaire de la pomme de terre, 2^e mémoire. *Ann. Agron.*, 3 : 306-362.

LAGATU H., MAUME L., 1933. Le diagnostic foliaire de la pomme de terre, 2^e mémoire. *Ann. Agron.*, 1 : 1-52.

MELSTED S.W., MOTTO H.L., PECK T.R., 1969. Critical plant nutrient composition values useful in interpreting plant analysis data. *Agron. J.*, 61 : 17-20.

NELSON W.L., BARBER S.A., 1964. Nutrient deficiencies in legumes for grain and forage. In : *Hunger sign in crops*, H.B. SPRAGUE Edit., New York, David McKay Co., p. 143-180.

SMALL H.G., OHLOROGGE A.J., 1973. Plant analysis as an aid in fertilizing soybeans and peanuts. In : *Soil testing and plant analysis*, L.M. WALSH and J.D. BEATON Edit., Madison, Soil Sci. Am., p. 315-328.

SUMNER M.E., 1977. Preliminary N, P and K foliar diagnostic norms for soybeans. *Agron. J.*, 69 (2) : 226-230.

Summary

LARCHER J., CISSE L. – SIDR indices and foliar diagnosis for soyabean (*Glycine max* L. Merrill) in Senegal.

In Senegal, N, P and K analyses on leaves sampled at five vegetative stages (R2, R3, R4, R5 and R6) were carried out in two trials in 1981.

From the results obtained the authors compare foliar diagnosis using SIDR indices and that using critical values (a more regular method).

It appears that foliar diagnosis using critical values is possible only at a precise stage in the cycle (R2 stage) and that it is not possible to establish a relative order of the elements needed by the plant with this method.

Based on the N/P, N/K, and K/P ratios, SIDR indices show some advantages ; they can be used at any age of the plant and a relative order of the elements required by the plant can be established.

Though any leaf of soyabean can be analyzed, the authors recommend to sample the second upper developed leaf to facilitate and standardize work.

Key words : *Glycine max*, soyabean, foliar diagnosis, SIDR indices, potash, Senegal.

Resumen

LARCHER J., CISSE L. – Índices SIDR y diagnóstico foliar de la soya (*Glycine max* L. Merrill) en Senegal.

A partir de los análisis N, P y K de hojas tomadas en cinco etapas vegetativas (R2, R3, R4, R5 y R6) de dos ensayos realizados en Senegal en 1981, los autores han comparado el diagnóstico foliar que utiliza los índices SIDR con aquél, más clásico, que recurre a valores críticos.

Ha resultado que con los valores críticos, el diagnóstico foliar no puede hacerse mas que en un momento preciso del ciclo (etapa R2) y no permite establecer un orden relativo de los elementos que necesita la planta.

Basados en las relaciones N/P, N/K y K/P, los índices SIDR han ofrecido la ventaja de poder utilizarse cualquiera que sea la edad de la planta y de establecer un orden relativo de los elementos que necesita la planta.

Aunque se puede analizar cualquier hoja de la soya, los autores, a fin de facilitar y de uniformizar la labor de los operadores, preconizan que se tome la segunda hoja superior desarrollada.

Palabras-clave : *Glycine max*, soya, diagnóstico foliar, índices SIDR, potasa, Senegal.

Comportements hydriques de deux types variétaux de riz à l'égard des potentiels décroissants de l'eau dans le milieu nutritif

N. AHMADI, M. PUARD (1)

RÉSUMÉ — Le comportement hydrique de deux types variétaux de riz (aquatique et pluvial) est étudié au cours d'une période de sécheresse d'intensité croissante simulée par l'addition de polyéthylène glycol à la solution nutritive. Pour chaque niveau de stress hydrique, l'évolution du potentiel hydrique foliaire, de la résistance foliaire à la transpiration et de la vitesse d'absorption d'eau est suivie au cours d'une période de douze heures. Face à des potentiels décroissants de l'eau dans le milieu nutritif, les variétés pluviales sont plus aptes à éviter le déficit hydrique interne. Cette aptitude est liée essentiellement à leur capacité à maintenir un niveau d'absorption d'eau élevé, capacité qui résulte d'un rapport partie racinaire sur partie aérienne plus favorable et d'une plus grande force de succion. La régulation stomatique des pertes d'eau ne semble pas jouer un rôle déterminant et il ne semble pas exister un potentiel hydrique foliaire critique entraînant la fermeture complète des stomates.

Mots clés : *Oryza sativa*, riz aquatique, riz pluvial, tolérance à la sécheresse, sensibilité stomatique, conductance, potentiel hydrique foliaire, absorption d'eau, succion, potentiel osmotique, turgescence, déficit hydrique.

La tolérance d'une plante à la sécheresse résulte de la combinaison d'un grand nombre de caractéristiques morphologiques, anatomiques, physiologiques et biochimiques constitutives ou inductibles. La définition d'un comportement hydrique caractéristique d'une tolérance globale à la sécheresse appréciée au champ n'est donc pas un problème simple, d'autant plus qu'il n'y a pas un type de tolérance universel et qu'au sein d'une même espèce on peut trouver des stratégies de tolérance différentes.

Chez le riz, des différences variétales de réponse stomatique au déficit hydrique sont signalées par plusieurs auteurs (IRRI, 1975 ; JACQUINOT *et al.*, 1981 ; AHMADI, 1983b). De même, de nombreux travaux font état de l'existence d'une grande variabilité génétique pour le développement racinaire (REYNIERS et BINH, 1977 ; IRRI, 1978 ; AHMADI, 1983a). Enfin, la capacité de différentes variétés de riz soumises à une période de sécheresse à maintenir un potentiel hydrique foliaire (Ψ_f) élevé a pu être reliée à la profondeur de leur système racinaire

(PARAO *et al.*, 1976 ; YOSHIDA, 1981). L'influence de ces paramètres sur la tolérance globale à la sécheresse n'est cependant pas élucidée.

La connaissance du comportement hydrique de types variétaux de tolérances globales nettement différentes peut aider à cerner les mécanismes physiologiques en cause et aboutir éventuellement à la définition de critères de sélection reliés à la réalité agronomique.

Le potentiel hydrique foliaire est la variable la plus largement utilisée pour la caractérisation de l'état hydrique de plantes soumises à la sécheresse. Nous en suivons l'évolution chez deux types variétaux de riz (aquatique et pluvial) confrontés à des potentiels décroissants de l'eau dans le milieu nutritif. Le potentiel hydrique foliaire est conditionné par le flux d'entrée d'eau dans la plante (absorption) et de sa sortie (transpiration). Nous suivons aussi l'évolution de ces paramètres pour déterminer l'influence respective des mécanismes qui les contrôlent sur l'état hydrique de la plante.

Méthodes expérimentales

Matériel végétal

L'étude a été réalisée sur trois variétés aquatiques originaires d'Inde (NHITA 4, Basmati 370 et Bansi) et trois variétés pluviales originaires de la Côte d'Ivoire (IRAT 13, IRAT 104 et Pié M). Parmi ces dernières, IRAT 13 et IRAT 104 sont connues pour leur bonne tolérance globale à la sécheresse. Les plantes sont cultivées sur sable quartzéux et alimentées par une solution nutritive complète. À partir du 45^e jour de culture, chaque plante est transférée en milieu hydroponique sur un dispositif de mesure (fig. 1).

Application des déficits hydriques

Après une période d'acclimatation de vingt-quatre heures, la solution nutritive est additionnée de polyéthylène glycol 6 000 (PEG), de manière à abaisser le potentiel osmotique de la solution (Ψ_s) de trois bars par jour, ceci jusqu'au flétrissement permanent de la plante. Les

(1) Laboratoire de physiologie, IRAT-GERDAT, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex, France.

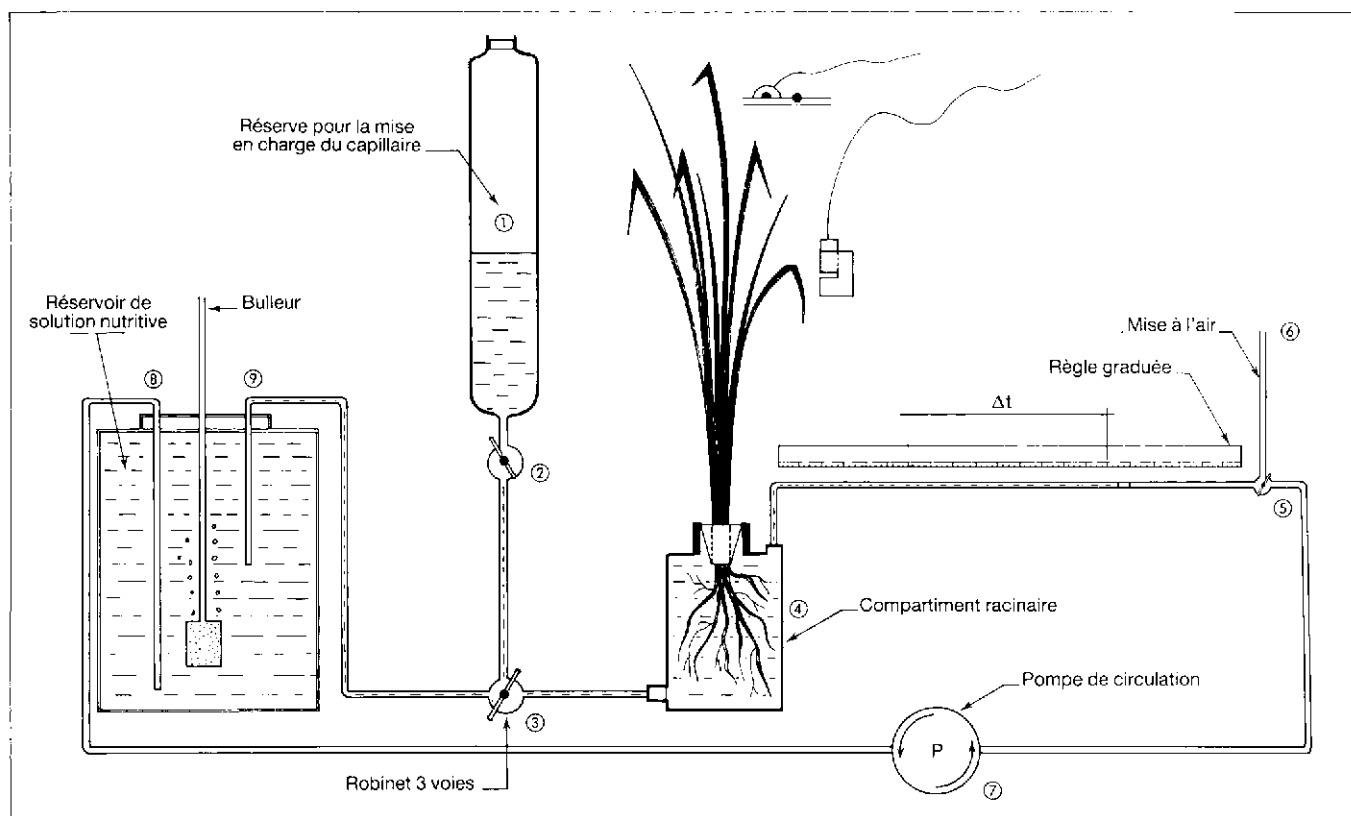


Fig. 1 : Dispositif de mesure de l'absorption au laboratoire. Après avoir mis en charge le circuit 1 à 6, le circuit est fermé en 3 et l'on mesure la vitesse d'absorption Δt pour un volume de capillaire connu. Entre deux expériences ou pendant la nuit, le circuit est ouvert suivant 9 - 3 - 4 - 5 - 7 et 8 où la solution est oxygénée.

apports de PEG sont effectués en fin de journée et l'évolution de l'état hydrique de la plante est suivie sur une période de douze heures à partir du lendemain matin.

L'étude est conduite dans un local où l'humidité de l'air est comprise entre 60 et 80 %. La température, de 25 °C la nuit, augmente progressivement jusqu'à 35 °C en milieu de journée. L'intensité lumineuse, dont les variations tentent de simuler les conditions naturelles, est de $400 \mu\text{E.m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en milieu de journée.

Mesures réalisées

Le potentiel hydrique foliaire (Ψ_f) est mesuré toutes les heures par la technique du microvoltmètre à point de rosée, sur la deuxième feuille à partir du sommet de la plante.

La vitesse d'absorption d'eau est déterminée toutes les demi-heures en chronométrant la consommation d'eau par l'intermédiaire d'un capillaire de volume connu.

La résistance foliaire à la transpiration (RFT) est mesurée elle aussi toutes les demi-heures au moyen d'un poromètre à diffusion de la vapeur d'eau, positionné sur la par-

tie médiane de la face inférieure de la troisième feuille en partant du sommet de la plante.

À la fin de l'expérience, le poids de la matière sèche des parties aériennes et du système racinaire de la plante sont déterminés. La surface foliaire est calculée en reproduisant le contour de la feuille sur du papier calque taré que l'on pèse.

Compte tenu de la durée des expériences (environ une semaine par plante), chaque variété est représentée par une plante seulement et il n'a pas été possible de faire des répétitions.

Analyse des résultats

Les vitesses moyennes de consommation d'eau sont calculées à partir de l'intégration de la cinétique d'absorption au cours d'une journée entre 7 h et 19 h. Pour un même potentiel racinaire, la résistance stomatique évolue au cours de la journée ; nous avons comparé la moyenne arithmétique des RFT obtenues entre 9 h et 19 h. De même, nous avons comparé les valeurs de potentiel foliaire minima obtenues au cours d'une journée.

Résultats

Évolution journalière de l'état hydrique de la plante

Dans la figure 2 est représentée, à titre d'exemple, l'évolution journalière des trois paramètres hydriques d'une variété pluviale (IRAT 104) et d'une variété aquatique (Basmati 370) à différents potentiels osmotiques de la solution nutritive. Comme on peut le constater, l'évolu-

tion de ces trois paramètres est similaire chez les deux variétés si elles sont placées en condition d'alimentation hydrique non limitante. Par la suite, des différences apparaissent et s'accroissent avec la diminution des disponibilités en eau simulées par l'addition de PEG 6 000.

En condition d'alimentation hydrique non limitante ou peu contraignante ($\Psi_s \geq -6$ bars), la RFT atteint sa valeur minimum dès le début de la matinée et reste relativement stable tout le long de la journée. Cette diminution de la RFT provoque un déséquilibre entre le flux de sortie et d'entrée d'eau dans la plante, déséquilibre qui se tra-

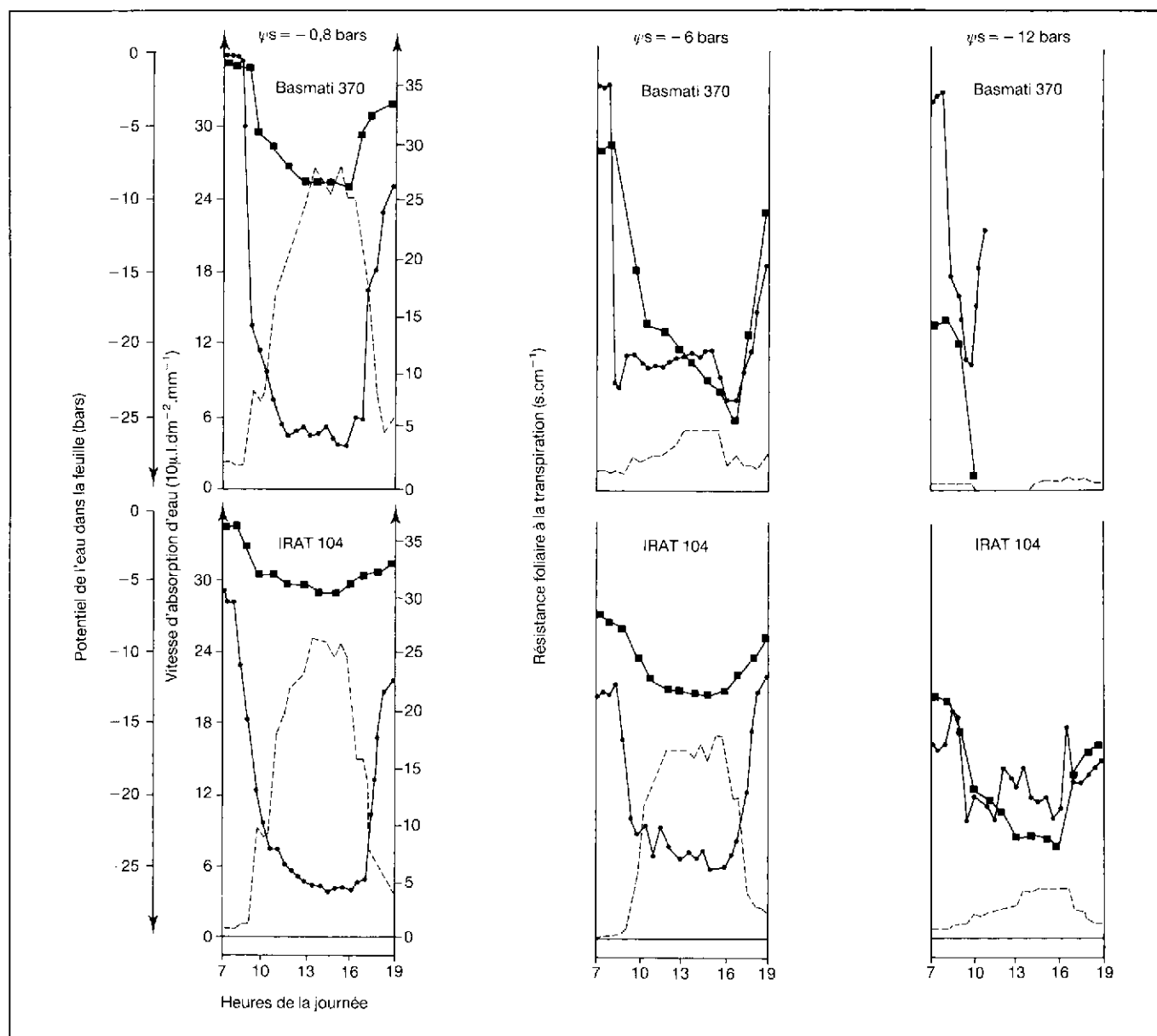


Fig. 2 : Evolution journalière du potentiel hydrique, de la résistance foliaire à la transpiration et de la vitesse d'absorption d'eau de deux variétés de riz à trois potentiels hydriques du milieu nutritif (ψ_s).

—●— Résistance foliaire à la transpiration (RFT)
 —■— Potentiel foliaire (ψ_f)
 - - - - - Vitesse d'absorption d'eau (VAE)

duit par la baisse rapide du Ψ_f et l'augmentation progressive de la vitesse d'absorption d'eau. Le retour à un nouvel équilibre est réalisé grâce à l'ajustement de l'absorption d'eau aux pertes. Le niveau de cet équilibre est fonction du potentiel osmotique du milieu nutritif qui détermine les valeurs minima de la RFT et les valeurs maxima de la vitesse d'absorption d'eau.

Lorsque les conditions de l'alimentation hydrique sont plus contraignantes ($\Psi_s < -6$ bars), la RFT reste relativement élevée dès le début de la matinée et subit des variations importantes au cours de la journée. L'ouverture des stomates est donc incomplète et on assiste à une certaine régulation stomatique des pertes d'eau. Cette régulation ne permet cependant pas d'ajuster le flux de sortie d'eau à celui d'absorption et le Ψ_f continue à baisser tout au long de la journée. Il ne semble pas exister chez les variétés de riz étudiées un Ψ_f critique entraînant la fermeture complète des stomates. La plupart des plantes atteignent le point de flétrissement permanent sans que les stomates se ferment complètement.

Comportements variétaux

Le tableau I synthétise les comportements variétaux en condition d'alimentation hydrique non limitante. Les différences semblent se situer essentiellement au niveau de la vitesse moyenne d'absorption d'eau. Les trois variétés de type aquatique ont les vitesses moyennes les plus élevées. En absence de contrainte hydrique, leur consommation par unité de surface foliaire est donc plus importante. Il est à noter que les différences de consommation d'eau ne se retrouvent pas au niveau des RFT. Cette absence de liaison directe entre les vitesses d'absorption d'eau et les RFT peut s'expliquer par le fait que les mesures de ces mécanismes ne prennent pas en compte la même « unité plante ». Dans le premier cas, l'absorption d'eau est représentative de la plante entière puisque mesurée sur l'ensemble des racines. Par opposition, la mesure de la résistance stomatique est effectuée de façon ponctuelle sur une seule face et une petite partie de feuille, qui ne représente pas la résistance stomatique globale ou le courant de transpiration.

Lorsque les plantes sont soumises à des contraintes hydriques d'intensité croissante, des différences de comportement variétal apparaissent pour l'ensemble des paramètres étudiés.

La vitesse moyenne d'absorption d'eau diminue chez l'ensemble des variétés, mais cette diminution est particulièrement rapide chez les variétés aquatiques (fig. 3). Alors que les variétés pluviales maintiennent, même à Ψ_s très bas (-12 bars), des niveaux d'absorption d'eau compris entre 20 et 30 % de leur niveau d'absorption en condition d'alimentation hydrique non limitante ($\Psi_s = -0,8$ bars), chez les variétés aquatiques, la vitesse d'absorption d'eau tend vers zéro dès que le Ψ_s est inférieur à -6 bars. Au sein des variétés pluviales, Pié M se distingue nettement par une capacité d'absorption élevée tant que Ψ_s est supérieur à -6 bars.

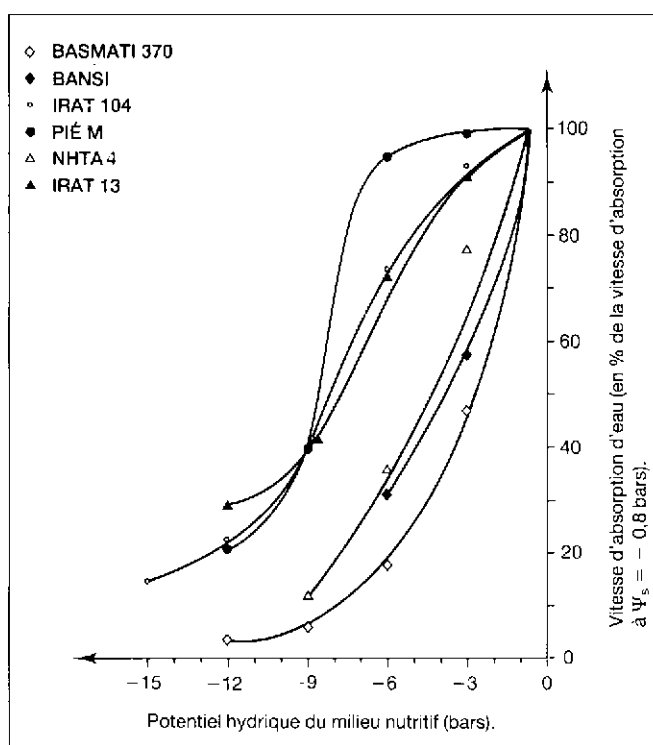


Fig. 3 : Évolution de la vitesse d'absorption d'eau en fonction du potentiel hydrique du milieu nutritif.

Tableau I Caractéristiques hydriques de six variétés de riz en condition non limitante d'alimentation en eau.

	IRAT 13	IRAT 104	Pié M	NHTA 4	Bansi	Basmati
Vitesse d'absorption d'eau ($\mu\text{l dm}^{-2} \text{mn}^{-1}$)	140	128	149	151	188	175
Résistance foliaire à la transpiration (scm^{-1})	4,45	3,71	4,89	3,58	5,13	4,08
Potentiel hydrique foliaire minima (bars)	-6,0	-5,6	-7,0	-6,8	-6,4	-8,8
Surfaces foliaires (dm^2)	1,08	1,43	0,94	1,41	0,68	1,31

Tableau II Caractéristiques racinaires et vitesse d'absorption d'eau par unité de masse racinaire à différents niveaux de potentiel de l'eau dans la solution nutritive.

Variétés	MSR (g)	MSR/MSPA	Vitesse d'absorption d'eau par unité de matière sèche racinaire ($\mu\text{g s}^{-1} \text{g}^{-1}$)		
			$\Psi_s = -0,8$ bars	$\Psi_s = -6$ bars	$\Psi_s = -9$ bars
IRAT 13	0,0121	0,313	20,9	15,4	7,9
IRAT 104	0,0154	0,355	19,8	14,6	7,2
Pié M	0,0133	0,392	17,5	16,7	6,5
NHTA 4	0,0122	0,276	28,9	10,7	3,5
Bansi	0,0063	0,249	34,0	11,1	—
Basmati	0,0087	0,193	43,9	7,7	2,3

MSR : poids de la matière sèche du système racinaire.
MSPA : poids de la matière sèche des parties aériennes.
 Ψ_s : potentiel de l'eau dans la solution nutritive.

Cette capacité d'absorption plus élevée des variétés pluviales semble liée d'une part à un rapport parties racinaires sur parties aériennes plus favorable (tabl. II), d'autre part à une plus grande capacité de succion. En effet, l'absorption d'eau par unité de masse racinaire est plus élevée chez les variétés aquatiques en condition d'alimentation hydrique non limitante mais elle diminue très rapidement et devient inférieure à celle de variétés pluviales lorsque Ψ_s décroît (tabl. II) ; chez ces dernières, le niveau d'absorption d'eau par unité de masse racinaire est beaucoup moins sensible à la baisse de Ψ_s .

L'évolution de la RFT moyenne des différentes variétés en fonction de la baisse de Ψ_s est présentée dans la figure 4. Les RFT des variétés Bansî, IRAT 13 et Pié M semblent peu sensibles à la baisse du Ψ_s , du moins lorsque

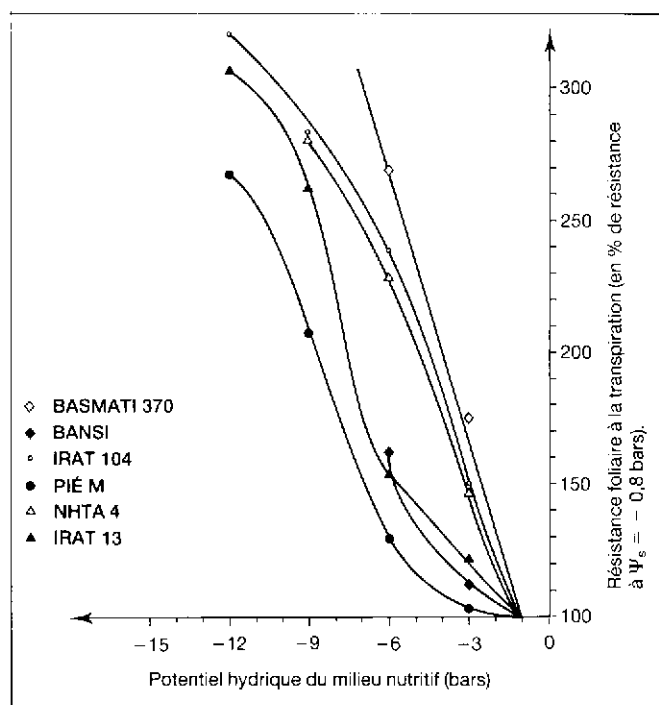


Fig. 4 : Évolution de la résistance foliaire à la transpiration en fonction du potentiel hydrique du milieu nutritif.

celui-ci est supérieur ou égal à -6 bars. Par contre, chez les variétés Basmati, IRAT 104 et NHTA 4, la RFT augmente rapidement lorsque Ψ_s décroît. L'aptitude au contrôle stomatique des pertes d'eau semble donc indépendante de la nature aquatique ou pluviale des variétés.

La figure 5 montre l'évolution des Ψ_f minimums en fonction de la baisse de Ψ_s . Les Ψ_f des variétés de culture aquatique sont en général inférieurs à ceux enregistrés chez les variétés pluviales. Ces différences d'état hydrique entre les deux types variétaux s'amplifient lorsque

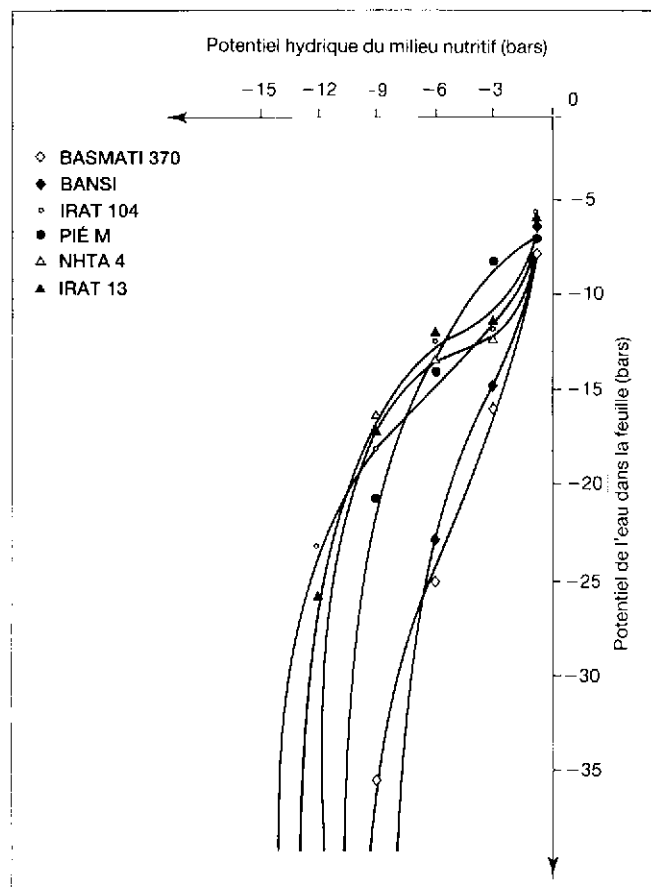


Fig. 5 : Évolution du potentiel hydrique foliaire en fonction du potentiel hydrique du milieu nutritif.

l'intensité du déficit hydrique augmente. Au sein des variétés pluviales, les différences de Ψ_f restent toujours faibles.

L'évolution du potentiel de l'eau dans la feuille semble suivre avant tout celle de l'absorption d'eau. Les variétés qui ont les capacités d'absorption d'eau les plus importantes (IRAT 104, IRAT 13, Pié M) ont aussi les Ψ_f les plus élevés. Par contre, parmi les variétés à forte RFT (Basmati et NHTA 4), seule NHTA 4 parvient à conserver un Ψ_f élevé. Même dans ce cas, des conditions d'alimentation hydrique contraignantes ($\Psi_s = -12$ bars) conduisent la plante au flétrissement permanent. La variété Bansi n'ayant ni une bonne capacité d'absorption d'eau, ni un niveau de RFT élevé se flétrit complètement dès que Ψ_s arrive à -9 bars. Enfin, malgré une RFT supérieure à celle des autres variétés pluviales, la variété IRAT 104 n'a pas un Ψ_f plus élevé.

Discussion et conclusions

Face à des Ψ_s décroissants, le comportement hydrique des variétés de type pluvial se caractérise par la tendance à éviter la baisse du potentiel de l'eau dans les feuilles. La stratégie adoptée est donc celle de l'évitement du déficit hydrique interne. Si, dans la réalisation de cette stratégie, l'influence d'une plus grande capacité d'absorption d'eau, elle-même liée à un système racinaire plus développé et une force de succion plus élevée, est incontestable, le rôle des mécanismes de régulation des pertes d'eau ne semble pas décisif. Les variétés de culture aquatique qui n'ont pas une bonne capacité d'absorption d'eau ne parviennent pas à éviter le déficit hydrique interne ; leur RFT élevée est avant tout le symptôme de l'abaissement de leur Ψ_f . Ces observations corroborent à tous égards ceux de GUEYE et RENARD (1981), qui ont comparé en pots deux variétés de riz soumises à la sécheresse en début de floraison.

La variabilité de la capacité de succion peut avoir pour origine des différences de résistance au flux d'eau du système vacuolaire, en particulier dans les racines. L'existence de telles différences intra-spécifiques a été rapportée par BOYER (1971) et plus spécialement chez le riz par STEPONKUS *et al.* (1980). Le dernier auteur a montré que la variabilité observée provenait de la différence dans le diamètre des racines. TURNER (1979) attribue cette variabilité au nombre et au diamètre des vaisseaux du xylème racinaire.

Lorsque le sol est saturé, la résistance au flux d'eau dans le système vacuolaire n'est pas limitante, d'où une consommation globale supérieure des variétés de type aquatique par rapport aux variétés pluviales essentiellement liée à un plus fort tallage et à une surface foliaire supérieure. Par contre, dès que le potentiel du sol s'abaisse, le faible diamètre des racines et des vaisseaux du xylème des riz de type aquatique se traduit par une augmentation plus rapide de la résistance au flux d'eau à

travers la plante et il en résulte une réduction plus drastique de l'absorption d'eau par unité de masse racinaire, accentuée par un rapport racines sur partie aérienne plus défavorable aux variétés aquatiques.

Divers travaux (IRRI, 1975 ; O'TOOLE et CRUZ, 1980 ; RENARD et ALLURI, 1981 ; AHMADI, 1983b) font état de difficultés dans l'utilisation de critères stomatiques pour l'amélioration de la tolérance à la sécheresse du riz. L'un des aspects évoqués est le problème de distinction entre une fermeture stomatique préventive intervenant avant la chute préjudiciable du Ψ_f et celle symptôme d'un état hydrique défavorable. Ce problème peut être résolu, nous venons de le voir, par des mesures simultanées de Ψ_f mais le dispositif de criblage s'en trouve fortement alourdi. Par ailleurs, le riz contrôle moins bien que d'autres céréales ses pertes d'eau, aussi bien en condition d'alimentation hydrique normale (GUEYE et RENARD, 1981) qu'en cas de sécheresse (AHMADI, 1983b). Enfin, quelle que soit la variété et l'intensité du déficit hydrique, les RFT observées au cours de la journée n'égale jamais celles enregistrées à l'obscurité. Les écarts entre les RFT diurnes et nocturnes étant trop importants pour pouvoir être imputés uniquement à l'augmentation des pertes d'eau à travers la cuticule, il faut admettre l'hypothèse de la fermeture incomplète des stomates et l'absence de Ψ_f critique pouvant provoquer leur fermeture complète. Dans ces conditions, et compte tenu de la variabilité génétique relativement faible du riz pour le contrôle stomatique des pertes d'eau (AHMADI, 1983b), l'effort de sélection devrait se porter en priorité sur les mécanismes permettant un meilleur approvisionnement en eau. Il serait en particulier intéressant d'approfondir l'étude de la variabilité génétique pour la capacité de succion.

De nombreux auteurs (BOYER et Mc PHERSON, 1975 ; BEGG et TURNER, 1976 ; SAMMONS *et al.*, 1979 ; MAERTENS et BLANCHET, 1981) soulignent la difficulté qu'il y a à définir un comportement hydrique caractéristique de la tolérance globale à la sécheresse. La mise en évidence d'un tel comportement chez le riz a été sans doute facilitée par le fait que nous disposions de types variétaux très différenciés aussi bien sur le plan phylogénique que celui des conditions hydrologiques de culture. Au niveau intra-type variétal, nous n'avons pas observé de différences de comportement notables. Enfin, l'évitement du déficit hydrique interne n'est probablement pas le seul mécanisme qui contribue à la plus grande tolérance des riz pluviaux vis-à-vis de la sécheresse.

Le comportement hydrique des deux types variétaux a été étudié au stade végétatif seulement. Or, REYNIERS et JACQUOT, 1978 et CHANG *et al.*, 1981 définissent chez le riz deux types de variétés globalement tolérantes, les unes en cas de sécheresse au cours de la phase végétative, les autres en cas de sécheresse survenant pendant la phase de reproduction. Il serait intéressant de comparer le comportement hydrique de ces variétés au cours des différentes phases de développement.

Reçu le 25 octobre 1983.
Accepté le 15 mai 1984.

Références bibliographiques

AHMADI N., 1983a. Variabilité génétique et hérédité de mécanismes de tolérance à la sécheresse chez le riz (*Oryza sativa* L.). I - Développement du système racinaire. L'Agron. Trop., 38 (2) : 110-117.

AHMADI N., 1983b. Variabilité génétique et hérédité de mécanismes de tolérance à la sécheresse chez le riz (*Oryza sativa* L.). II - Sensibilité stomatique aux déficits hydriques. L'Agron. Trop., 38 (2) : 118-122.

BEGG J.E., TURNER N.C., 1976. Crop water deficits. Adv. Agron., 28 : 161-217.

BOYER J.S., 1971. Resistance to water transport in soybean, bean and sunflower. Crop Sci., 11 : 403-407.

BOYER J.S., Mc PHERSON H.G., 1975. Physiology of water deficit in cereal crops. Adv. Agron., 27 : 1-23.

CHANG T.T., LORESTO G.C., O'TOOLE J.C., ARMENTA-SOTO J.L., 1981. Strategy and methodology of breeding rice for drought prone areas. In : Symposium « Principles and methods of crop improvement for drought resistance with emphasis on rice », IRRI, Los Baños, Philippines, 4-5 May, p. 645-661.

GUEYE M., RENARD C., 1981. Comparaison de deux cultivars de riz (Se 302G et IR 442) soumis à la sécheresse en début de floraison. L'Agron. Trop., 37 (1) : 81-88.

INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE, 1975. Annual Report for 1974. Los Baños, IRRI, 348 p.

INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE, 1978. Annual Report for 1977. Los Baños, IRRI, 548 p.

JACQUINOT J.-L., FORGET M., EDAH K.M., 1981. La résistance à la transpiration chez le riz pluvial (*Oryza sativa* L.). Étude d'un test de criblage variétal. L'Agron. Trop., 36 (3) : 247-252.

MAERTENS C., BLANCHET R., 1981. Influence des caractères hydriques du milieu racinaire et aérien sur le potentiel de l'eau dans les feuilles de quelques types variétaux de soja et confrontation à leur comportement agronomique. Agronomie, 1 (3) : 199-206.

O'TOOLE J.C., CRUZ R.T., 1980. Response of leaf water potential, stomatal resistance and leaf rolling to water stress. Plant Physiol., 65 : 428-432.

PARAO J.F., PANINGBATAN E., YOSHIDA J., 1976. Drought resistance of rice varieties in relation to their root growth. Phil. J. Crop Sci., 1 : 50-55.

RENARD C., ALLURI K., 1981. Leaf water potential, stomatal conductance and leaf characteristics of cultivars of rice in their response to water stress. Ecol. Plant., 16 (4) : 339-349.

REYNIERS F.N., BINH T., 1977. Screening with ³²P for rooting depth among varieties of rainfed rice. In : Rice in Africa, London, Academic Press, p. 279-284.

REYNIERS F.N., JACQUOT M., 1978. Démarche pour l'obtention de la résistance variétale à la sécheresse. Cas du riz pluvial. L'Agron. Trop., 33 (4) : 314-317.

SAMMONS D.J., PETERS D.B., MYMOWITZ T., 1979. Screening soybeans for drought resistance. III - Drought box procedure. Crop Sci., 19 : 719-722.

STEPONKUS P.L., CUTLER J.M., O'TOOLE J.C., 1980. Adaptation to water stress in rice. In : Adaptation of plants to water and high temperature stress, TURNER and KRAMER Edit., New York, Wiley Interscience, p. 401-418.

TURNER N.C., 1979. Drought resistance and adaptation to water

deficits in crop plants. In : Stress physiology in crop plants, MUSSELL and STAPLES Edit., New-York, Wiley Interscience, p. 343-372.

YOSHIDA S., HASEGAWA S., 1981. The rice root system : its development and function. In : Symposium « Principles and methods of crop improvement for drought resistance with emphasis on rice », IRRI, Los Baños, Philippines, 4-5 may, 35 p.

Summary

AHMADI N., PUARD M. - Water behaviour of two rice varieties as related to decreasing water potentials in the nutrient medium.

The water behaviour of two rice varieties (aquatic and upland rice) was studied during a period of increasing drought simulated by adding polyethylene glycol to the nutrient medium. For each water stress level the evolution of leaf water potential, leaf resistance to transpiration and rate of water uptake was followed over a 12-hour period.

Upland rice varieties were more suited to face decreases in water potential in the nutrient medium and to prevent water deficit inside the plant.

This was mainly due to their capacity to maintain a high water uptake rate resulting from a more favourable root-aerial part ratio and higher suction. The stomatal regulation of water losses did not seem to play a determining part and a critical leaf water potential leading to complete stomatal closing to exist.

Key words : *Oryza sativa*, aquatic rice, upland rice, drought tolerance, stomatal sensibility, conductance, leaf water potential, water uptake, suction, osmotic potential, turgor, water stress.

Resumen

AHMADI N., PUARD M. - Comportamientos hídricos de dos tipos varietales de arroz con respecto a los potenciales decrecientes del agua en el medio nutritivo.

Se ha estudiado el comportamiento hídrico de dos tipos varietales de arroz (acuático y de secano) durante un período de sequía de intensidad creciente simulado mediante la agregación de polietilenglicol a la disolución nutritiva. En cada grado de stress hídrico se ha observado, durante un período de 12 horas, la evolución del potencial hídrico foliar, de la resistencia foliar a la transpiración y de la velocidad de absorción de agua.

Frente a potenciales decrecientes del agua en el medio nutritivo, las variedades de secano muestran mayor aptitud para evitar el déficit hídrico interno. Dicha aptitud se debe esencialmente a su capacidad de mantener un alto nivel de absorción de agua, capacidad que proviene de una relación parte radicular/parte aérea más favorable y de un mayor poder de succión. La regulación estomática de las pérdidas de agua no parece desempeñar un papel determinante y no parece que existe un potencial hídrico foliar crítico que provoca el cierre completo de los estomas.

Palabras-clave : *Oryza sativa*, arroz acuático, arroz de secano, tolerancia a la sequía, sensibilidad estomática, conductancia, potencial hídrico foliar, absorción de agua, succión, potencial osmótico, turgencia, déficit hídrico.

Étude de l'hérédité de la translucidité chez cinq variétés de riz (*Oryza sativa*)

Applications pratiques en sélection

G. CLÉMENT, C. POISSON (1)

RÉSUMÉ — La création de variétés à grains translucides constitue un objectif important dans le programme d'amélioration du riz pluvial en Côte d'Ivoire. Ce caractère qualitatif a été observé sur cinq variétés de riz et sur les F1 de leurs croisements. Les grains sont classés en types cristallin ou crayeux. Un contrôle génétique du degré de translucidité des grains par deux gènes majeurs liés et par l'action de deux gènes modificateurs permet d'expliquer l'ensemble des résultats observés. L'état crayeux du grain est dominant. La généralisation des résultats obtenus et certaines de leurs applications pratiques telles que l'intérêt du choix des géniteurs en fonction du degré de translucidité recherché et la détermination des générations de sélection au cours desquelles le criblage pour le caractère est le plus efficace, sont discutées.

Mots clés : *Oryza sativa*, riz, hérédité, translucidité, sélection.

On peut définir la qualité du grain de riz comme l'ensemble des caractéristiques répondant à des critères admis par les différents utilisateurs : format, rendement à l'usinage, blancheur, translucidité, aptitudes culinaires. Il s'agit d'une expression phénotypique soumise aux facteurs du milieu mais qui reste sous la dépendance de facteurs héréditaires (MARIE, 1977).

Une très bonne qualité du grain est le plus souvent donnée pour être liée à une translucidité élevée, le grain étant alors qualifié de cristallin.

En effet, l'absence de taches crayeuses dans l'albumen favorise un bon rendement à l'usinage (CHANG et SOMRITH, 1979). D'autre part, une translucidité élevée est associée à une haute teneur en amylose, elle-même liée à des mérites reconnus en matière de cuisine : qualité de la cuisson, apparence, cohésion, tendreté (VANDEVENNE, 1976).

Dès 1975, la création de variétés à grains translucides a constitué un des objectifs prioritaires du programme de sélection du riz pluvial. Dans un premier temps, la caractérisation du degré de translucidité des variétés de la collection de Bouaké a été systématiquement réalisée

(IRAT, 1975). L'observation des ségrégations du caractère en croisements a, par la suite, permis de tirer les premières conclusions pratiques quant au choix des géniteurs en croisements, un des parents, au moins, devant avoir un grain très translucide (ARRAUDEAU, 1979).

À partir de ces résultats, des études systématiques ont été entreprises afin de mieux connaître le déterminisme génétique et les mécanismes de transmission de ce caractère et d'en améliorer l'efficacité de la sélection dans les descendance. En particulier, une série de croisements réalisés à partir de cinq variétés précoces améliorées présentant un gradient de translucidité des grains a été mise à profit pour déterminer une répartition possible des gènes contrôlant le caractère chez les parents.

Matériel et méthodes

Le matériel végétal

Cinq variétés précoces améliorées de riz pluvial (IRAT 109, IRAT 112, IRAT 133, IRAT 135 et IRAT 144) dont les origines sont données dans le tableau I ont été utilisées pour réaliser une série d'hybridations selon le modèle diallele avec croisements réciproques. Ces cinq parents proviennent de croisements entre variétés génétiquement proches (GLASZMANN, 1982). Une des qualités reconnues d'IRAT 112 est l'excellente qualité de son grain.

Les méthodes

Les vingt F1 et les cinq parents ont été implantés sous forme d'essai bloc randomisé à trois répétitions, chaque traitement correspondant à une ligne de douze plantes. La culture a été menée en conditions pluviales avec alimentation hydrique non limitante. La récolte, par bloc, a été effectuée quarante-cinq jours après l'épiaison. Les panicules ont été séchées en salle climatisée.

La mesure du caractère a été effectuée sur trois grains prélevés à l'extrémité de quatre panicules par bloc.

Le degré de translucidité du grain est observé sur la coupe transversale du caryopse, après décortiquage manuel.

(1) Ingénieurs de recherche IRAT, Institut des Savanes, Centre vivrier, BP 635, Bouaké, Côte d'Ivoire.

Tableau I Origine génétique des différents géniteurs utilisés.

Géniteurs	Parents	Type de croisement
IRAT 109 IRAT 133 IRAT 144	IRAT 10 × IRAT 13*	(Japonica × pluvial Ouest-africain) × pluvial Ouest-africain
IRAT 112	Dourado precoce × IRAT 13	Pluvial brésilien × pluvial Ouest-africain
IRAT 135	Dourado precoce × Chianan 8	Pluvial brésilien × japonica

*IRAT 10 est une création variétale sélectionnée dans le croisement Lung Sheng 1 × 63-104 (japonica × pluvial Ouest-africain). IRAT 13 est un mutant induit à paille moyenne de la variété 63-83 (pluvial Ouest-africain).

L'échelle de codification du caractère est donnée de 1 à 9, avec quatre classes repères :

- 1 : grain translucide ;
- 3 : secteur opaque : le quart de la surface en coupe du grain ; tache crayeuse importante ;
- 6 : secteur opaque : la moitié de la surface en coupe du grain ; tache crayeuse très importante ;
- 9 : grain opaque.

En pratique, la distinction entre les classes 3 et 6 est souvent malaisée.

En effet, la tache crayeuse peut être d'importance et de forme très variables, même au sein d'une même variété. Cette difficulté nous a amenés à regrouper, pour la réalisation de cette étude, les classes 3 et 6 en une seule, notée 3 et correspondant aux grains crayeux.

Résultats

Fréquences observées

En supposant l'homogénéité des croisements réciproques, les tests d'homogénéité des trois blocs ont été effectués sur les croisements IRAT 109 × IRAT 112, IRAT 112 × IRAT 133, IRAT 112 × IRAT 135 et IRAT 112 × IRAT 144. Ces croisements permettent d'avoir un effectif suffisant dans chaque case. Les tests d'hétérogénéité des trois blocs se sont révélés, dans ces quatre cas, non significatifs. Ceci permet de construire le tableau II après regroupement des données observées dans chaque bloc.

Ce tableau appelle plusieurs commentaires :

- tous les grains d'IRAT 112 sont translucides, alors que ceux d'IRAT 109 et d'IRAT 144 sont crayeux ;
- IRAT 133 et IRAT 135 expriment ce caractère d'une

Tableau II Répartition des degrés de translucidité observés sur 36 grains de 20 F1 et des 5 parents.

♀ \ ♂	IRAT 109		IRAT 112		IRAT 133		IRAT 135		IRAT 144	
Classes	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3
IRAT 109	0	36	9	27	0	36	1	35	0	36
IRAT 112	11	25	36	0	16	20	23	13	10	26
IRAT 133	0	36	16	20	6	30	1	35	0	36
IRAT 135	1	35	21	15	2	34	15	21	0	36
IRAT 144	0	36	10	26	0	36	2	34	0	36

manière particulière. En effet, leurs grains peuvent être soit cristallins, soit crayeux. Ce même phénomène a été observé sur les variétés KU 86 et 63-83 (CLÉMENT et POISSON, 1981 ; CLÉMENT *et al.*, 1982). De plus, 63-83 a pu présenter au cours de deux campagnes successives de culture des fréquences de 100 % de grains crayeux puis de un tiers de cristallins pour deux tiers de crayeux. Une des hypothèses explicatives du phénomène réside dans l'interaction d'un système polygénique contrôlant le caractère avec des facteurs de l'environnement comme la température ou la date de plantation (CHOE *et al.*, 1977 ; CHOI *et al.*, 1979). D'autre part, la présence de gènes modificateurs jouant sur un ou plusieurs gènes majeurs a été souvent évoquée pour expliquer le taux d'amylose dans le grain (SEETHARAMAN 1959, KAHN 1965, GHOSH *et al.* 1972, SOMRITH 1974, cités par CHANG et SOMRITH, 1979 ; BOLICH et WEBB, 1973) auquel le degré de translucidité est intimement lié. Cette même hypothèse a permis d'interpréter les fréquences des types de translucidité des grains observés en F1 pour des croisements entre KU 86 et plusieurs géniteurs pluviaux traditionnels (CLÉMENT et POISSON, 1981).

On n'observe pas d'effets maternels à partir de ces croisements. Les données réciproques ont donc été regroupées pour l'interprétation.

Interprétation des fréquences observées en F1 des croisements avec IRAT 112 comme parent commun

IRAT 112 est la seule variété utilisée à présenter des caryopses uniformément cristallins.

Croisements avec IRAT 109 et IRAT 144

Tous les grains des variétés IRAT 109 et IRAT 144 sont crayeux. Le comportement de ces deux parents avec IRAT 112 est identique. Les degrés de translucidité des grains présentent dans les deux cas des fréquences observées de 28 % de translucides pour 72 % de crayeux. L'ajustement de ces fréquences à une distribution théorique de 25-75 est très bon (tabl. III). Le caractère translucidité du grain est contrôlé chez IRAT 112 par l'allèle d'un gène à l'état récessif. IRAT 109 et IRAT 144

possèdent soit l'allèle de ce même gène à l'état dominant, soit un contrôle de l'état crayeux attribuable à deux allèles dominants de deux gènes différents.

Croisement avec IRAT 133

IRAT 133 présente une distribution particulière de translucidité des grains puisque les proportions variétales observées sont de 16,6 % de cristallins pour 83,3 % de crayeux. Les effectifs observés dans son croisement avec IRAT 112 sont de 44,4 % de cristallins pour 55,6 % de crayeux. En faisant l'hypothèse d'une différence monogénique entre les deux parents, l'allèle dominant étant porté par IRAT 133, on doit s'attendre à une proportion théorique de 25 % de translucides pour 75 % de crayeux. Si l'on explique la structure de translucidité particulière d'IRAT 133 par la présence d'un gène modificateur, celui-ci va jouer sur les 75 % de grains crayeux attendus. Les proportions théoriques deviennent : $(0,25 + 0,75 \times 0,166) \times 100 = 37,45$ % de grains cristallins et 62,55 % de grains crayeux.

L'ajustement des effectifs observés à cette répartition théorique est bon (tabl. III).

Tableau III Test de χ^2 d'ajustement des effectifs théoriques et observés pour les 4 croisements avec IRAT 112 comme parent commun.

Croisement	Effectifs observés en %		Effectifs théoriques en %		χ^2 obs.	χ^2 théorique	
	1	3	1	3		0,05	0,01
IRAT 112 x IRAT 109	28	72	25	75	0,446	3,84	6,64
IRAT 112 x IRAT 133	44,4	55,6	37,45	62,55	2,050	3,84	6,64
IRAT 112 x IRAT 135	61,2	38,8	56,25	43,75	0,975	3,84	6,64
IRAT 112 x IRAT 144	28	72	25	75	0,446	3,84	6,64

Croisement avec IRAT 135

Comme IRAT 133, la variété IRAT 135 présente une distribution particulière de la translucidité des grains ; les proportions variétales sont de 41,7 % de grains cristallins pour 58,3 % de crayeux.

Les fréquences observées en F1 sont de 61,2 % de grains cristallins pour 38,8 % de grains crayeux. Si l'on applique le même raisonnement que pour les cas précédents, les fréquences théoriques peuvent être évaluées à : $(0,25 + 0,75 \times 0,417) \times 100 = 56,3$ % de grains cristallins pour 43,7 % de grains crayeux. L'ajustement des proportions observées à ces fréquences théoriques est excellent (tabl. III).

Plusieurs hypothèses peuvent être formulées pour expliquer les différentes fréquences parentales observées chez IRAT 133 et IRAT 135 :

- les gènes modificateurs sont différents mais agissent sur un ou plusieurs mêmes gènes majeurs ;
- le gène modificateur est identique et agit sur un ou plusieurs gènes majeurs différents ;
- des gènes modificateurs différents agissent sur des gènes ou des séquences géniques majeures différents.

Ces hypothèses seront testées dans l'interprétation des fréquences observées dans le croisement IRAT 133 x IRAT 135.

Synthèse des résultats

Le tableau III récapitule les fréquences de degré de translucidité des grains observés, théoriques et leur ajustement (test de χ^2) pour toutes les F1 dont IRAT 112 est le parent commun.

L'excellence des ajustements permet de confirmer les hypothèses formulées :

- différence monogénique entre IRAT 112 et les autres géniteurs ;
- dominance du caractère grain crayeux ;
- action de gènes modificateurs efficaces en croisement avec IRAT 112 chez IRAT 133 et IRAT 135.

Interprétation des fréquences observées en F1 du croisement IRAT 109 par IRAT 144

Les parents IRAT 109 et IRAT 144 présentent, de même que leur F1, un phénotype grains crayeux à 100 %.

Deux hypothèses peuvent être données pour expliquer ces fréquences :

- les deux parents possèdent l'allèle d'un même gène à l'état dominant qui contrôle l'état crayeux du grain ;
- deux gènes différents interviennent, dont les allèles dominants contrôlent de manière indépendante l'état crayeux du grain.

Si ces deux gènes sont indépendants, IRAT 109 et IRAT 144 ne peuvent posséder les allèles dominants de ces deux gènes, sinon les proportions ne seraient pas trois quarts - un quart dans leur croisement avec IRAT 112. IRAT 109 et IRAT 144 ne peuvent pas non plus posséder des génotypes différents, sinon leur croisement donnerait des recombinants translucides. Cette possibilité est donc à rejeter.

Si ces deux gènes sont très liés, IRAT 109 et IRAT 144 possèdent soit les allèles dominants de ces deux gènes, soit un dominant et un récessif et, dans ce cas, présentent des génotypes différents.

Il reste donc à tester les hypothèses d'un contrôle monogénique du caractère ou de l'intervention de deux gènes très liés dans les croisements de IRAT 144 ou IRAT 109 par IRAT 133 ou IRAT 135.

Interprétation des fréquences observées en F1 des croisements IRAT 109 ou IRAT 144 par IRAT 133 ou IRAT 135

IRAT 109 et IRAT 144 présentent des grains à caryopse crayeux à 100 %. IRAT 133 et IRAT 135 montrent à la fois des grains cristallins et crayeux (16,7 % - 83,4 % et 41,7 % - 58,3 % respectivement). L'hypothèse de l'action de gènes modificateurs a été émise pour expliquer ce phénomène.

Les fréquences observées en F1 du degré de translucidité des grains pour ces quatre croisements se répartissent ainsi :

- IRAT 109 × IRAT 133 : 100 % de grains crayeux ;
- IRAT 144 × IRAT 133 : 100 % de grains crayeux ;
- IRAT 109 × IRAT 135 : 2,8 % de translucides pour 97,2 % de crayeux ;

- IRAT 144 × IRAT 135 : 2,8 % de translucides pour 97,2 % de crayeux.

Ces données permettent d'éliminer l'hypothèse d'une structure génique différente contrôlant le caractère d'état crayeux du grain chez IRAT 109 et IRAT 144. En effet, leur comportement vis-à-vis de IRAT 133 et IRAT 135 est parfaitement similaire.

Les gènes modificateurs de IRAT 133 et IRAT 135 ne fonctionnent pas, ou à une fréquence très faible. Ils se présentent chez ces deux parents sous forme d'allèles récessifs d'un ou de deux gènes dont la forme dominante se trouve chez IRAT 109 et IRAT 144.

Les hypothèses formulées dans le chapitre précédent peuvent être testées par ajustement par le test de χ^2 des fréquences théoriques aux fréquences observées (tabl. IV).

Tableau IV Test d'ajustement de certaines hypothèses explicatives aux fréquences observées pour 4 croisements.

Hypothèse testée	Croisement	Fréquence théorique		Fréquence observée		χ^2 obs.	χ^2 théorique	
		1	3	1	3		0,05	0,01
État crayeux du grain gouverné par l'allèle dominant d'un seul gène. Modificateurs différents chez IRAT 133 et IRAT 135. - Modificateur et gène majeur lié ou indépendant.	IRAT 109 IRAT 144 × IRAT 133	4,15	95,85	0	100	4,33	3,84	6,64
	IRAT 109 IRAT 144 × IRAT 135	10,4	89,6	2,8	97,2	5,77	3,84	6,64
Contrôle du caractère par deux allèles dominants de deux gènes différents liés chez IRAT 109, IRAT 144, IRAT 133 et IRAT 135. - Modificateurs ou gènes majeurs sont liés ou indépendants.	IRAT 109 IRAT 144 × IRAT 133	4,15	95,85	0	100	4,33	3,84	6,64
	IRAT 109 IRAT 144 × IRAT 135	10,4	89,6	2,8	97,2	5,77	3,84	6,64
Contrôle du caractère crayeux par deux allèles dominants de deux gènes différents liés chez IRAT 109 et IRAT 144. Contrôle du caractère crayeux par un allèle à l'état dominant d'un seul gène chez IRAT 133 et IRAT 135. Le modificateur ne fonctionne que si l'allèle du 2 ^e gène est à l'état récessif. - Le modificateur est lié aux gènes majeurs. - Le modificateur est indépendant des gènes majeurs.	IRAT 109 IRAT 144 × IRAT 133	4,15	95,85	0	100	4,33	3,84	6,64
	IRAT 109 IRAT 144 × IRAT 135	10,4	89,6	2,8	97,2	5,77	3,84	3,84
	IRAT 109 IRAT 144 × IRAT 133	1	99	0	100	1,01	3,84	6,64
	IRAT 109 IRAT 144 × IRAT 135	2,6	97,4	2,8	100	0,03	3,84	6,64

L'ajustement est bon pour une seule hypothèse : l'état crayeux du grain est contrôlé par deux gènes majeurs liés chez IRAT 109 et IRAT 144 qui possèdent l'allèle dominant du ou des modificateurs.

Le ou les modificateurs ne peuvent fonctionner à l'état récessif que si la variété ou la descendance porte l'allèle d'un des deux gènes majeurs à l'état dominant et l'autre à l'état récessif. L'action des deux allèles dominants des deux gènes majeurs est identique. Le modificateur est indépendant des deux gènes majeurs.

D'après cette hypothèse, les structures génotypiques des quatre parents peuvent être écrites :

- IRAT 109 et IRAT 144 : *AABB* gènes majeurs, *CC* gène modificateur ;
- IRAT 133 et IRAT 135 : *AAbb* ou *aaBB* gènes majeurs, *cc* gène modificateur.

Le tableau V permet de calculer les proportions théoriques résultant de cette hypothèse :

- fréquences théoriques en F1 : 99 % de grains crayeux ;
- fréquences observées en F1 : 100 % de grains crayeux.

Le test d'ajustement $\chi^2 = 1,01$ montre que l'ajustement entre les proportions théoriques et observées est très bon.

Tableau V Croisements IRAT 109 ou IRAT 144 par IRAT 133 : ségrégations attendues en F1 pour la translucidité des grains (C : grains crayeux ; T : grains translucides).

Sac embryonnaire (noyaux accessoires)	Gamète mâle			
	<i>ABC</i>	<i>ABc</i>	<i>aBC</i>	<i>aBc</i>
<i>AABBCC</i>	<i>C</i>	<i>C</i>	<i>C</i>	<i>C</i>
<i>AABBcc</i>	<i>C</i>	<i>C</i>	<i>C</i>	<i>C</i>
<i>aaBBCC</i>	<i>C</i>	<i>C</i>	<i>C</i>	<i>C</i>
<i>aaBBcc</i>	<i>C</i>	<i>C</i>	<i>C</i>	83,4 % <i>C</i> 16,6 % <i>T</i>

Si l'on applique ce schéma aux croisements IRAT 109 ou IRAT 144 par IRAT 135, les fréquences théoriques deviennent 2,6 % de grains translucides pour 97,4 % de grains crayeux. Le test d'ajustement avec les fréquences observées ($\chi^2 = 0,03$) est là aussi excellent.

L'étude de ces croisements a permis de mettre en évidence un certain nombre de points :

- le caractère crayeux du grain est contrôlé par les allèles dominants de deux gènes majeurs liés dont le mode d'action est similaire ; l'allèle dominant d'un seul gène suffit à déterminer l'état crayeux des grains ;
- le ou les modificateurs sont indépendants des gènes majeurs.

Interprétation des fréquences observées en F1 du croisement IRAT 133 par IRAT 135

La répartition des degrés de translucidité des grains dans le croisement entre les parents IRAT 133 et IRAT 135 est de 4,2 % de grains cristallins pour 95,8 % de grains crayeux. Cette expression hybride est différente de celle des deux parents.

La proportion de grains translucides en F1 est inférieure à celle observée chez les parents. Le ou les gènes modificateurs fonctionnent à une fréquence faible.

Compte tenu des différentes expressions parentales, il est exclu que chez ces deux géniteurs un même modificateur intervienne sur l'allèle dominant d'un même gène majeur.

À partir de ces fréquences observées, il reste à montrer si :

- les modificateurs sont identiques et agissent sur des gènes majeurs différents ;
- les modificateurs sont distincts et agissent sur les mêmes gènes majeurs ;
- les modificateurs et les gènes majeurs sur lesquels ils agissent sont différents.

Les différentes hypothèses sont testées dans le tableau VI.

L'ajustement entre les fréquences théoriques et observées est bon pour deux hypothèses explicatives du contrôle génétique du caractère chez IRAT 133 et IRAT 135.

• Les deux modificateurs et la composition en gènes majeurs sont différents chez les deux parents. IRAT 133 possède l'allèle dominant du modificateur de IRAT 135. Les deux modificateurs peuvent être liés ou indépendants.

Les génotypes des deux variétés peuvent être écrits :

- IRAT 133 : *AAbb* gènes majeurs, *ccDD* gènes modificateurs ;
- IRAT 135 : *aaBB* gènes majeurs, *ccdd* gènes modificateurs.

Le tableau VII permet de calculer les distributions théoriques résultant de cette hypothèse.

La fréquence théorique en grains translucides peut s'exprimer ainsi : $(0,166 \times 4/16 + 0,416 \times 1/16) = 6,75$ % pour 93,25 % de grains crayeux.

Le test d'ajustement des fréquences observées ($\chi^2 = 1,03$) est bon.

• L'allèle dominant d'un des deux modificateurs se trouve à l'état dominant chez les deux parents. Ces gènes sont indépendants.

Les génotypes des deux variétés peuvent être écrits :

- IRAT 133 : *AAbbccDD* ;
- IRAT 135 : *aaBBCCdd*.

Tableau VI Test d'ajustement de certaines hypothèses explicatives des fréquences observées dans le croisement IRAT 133 x IRAT 135.

Hypothèse testée	Fréquence théorique		Fréquence observée		χ^2 obs.	χ^2 théorique	
	1	3	1	3		0,05	0,01
Le modificateur est identique et agit sur l'allèle dominant des deux gènes majeurs. IRAT 133 : <i>AAbb</i> gènes majeurs, <i>cc</i> modificateurs. Génotypes IRAT 135 : <i>aaBB</i> gènes majeurs, <i>cc</i> modificateurs.	14,6	85,4	4,2	95,8	8,67	3,84	6,64
Les modificateurs sont différents. Ils agissent sur le même allèle dominant d'un des deux gènes majeurs. Compte tenu des fréquences observées, le seul cas possible est celui où les deux parents portent l'allèle dominant du modificateur efficace à l'état récessif de l'autre. IRAT 133 : <i>AAbb</i> gènes majeurs, <i>ccDD</i> modificateurs. Génotypes IRAT 135 : <i>AAbb</i> gènes majeurs, <i>CCdd</i> modificateurs. - Les modificateurs sont liés. - Les modificateurs sont indépendants.	29,1 14,6	70,9 85,4	4,2 4,2	95,8 95,8	30,1 8,67	3,84 3,84	6,64 6,64
Les modificateurs sont différents et agissent respectivement sur l'un des deux allèles dominants de deux gènes majeurs. IRAT 133 : <i>AAbb</i> gènes majeurs. Génotypes IRAT 135 : <i>aaBB</i> gènes majeurs. - Les deux modificateurs sont à l'état récessif. Ils sont liés ou indépendants. - Un des deux modificateurs se trouve à l'état dominant chez l'un des deux parents. • Les deux modificateurs sont liés ou indépendants. - Les deux modificateurs se trouvent à l'état dominant chez l'un ou l'autre parent. • Les deux modificateurs sont liés. • Les deux modificateurs sont indépendants.	14,6 11,4 ou 6,75 14,6 3,6	85,4 88,6 93,25 85,4 96,3	4,2 4,2 4,2 4,2 4,2	95,8 95,8 95,8 95,8 95,8	8,67 5,13 1,03 8,67 0,09	3,84 3,84 3,84 3,84 3,84	6,64 6,64 6,64 6,64 6,64

Tableau VII Croisement IRAT 133 par IRAT 135 : ségrégations attendues en F1 pour la translucidité des grains (C : grains crayeux ; T : grains translucides).

Sac embryonnaire (noyaux accessoires)	Gamète mâle			
	<i>AbcD</i>	<i>Abcd</i>	<i>aBcD</i>	<i>aBcd</i>
<i>AAbbccDD</i>	16,6 % T 83,4 % C	16,6 % T 83,4 % C	C	C
<i>AAbbccdd</i>	16,6 % T 83,4 % C	16,6 % T 83,4 % C	C	C
<i>aaBBccDD</i>	C	C	C	C
<i>aaBBccdd</i>	C	C	C	41,6 % T 58,4 % C

Le tableau VIII permet de calculer les fréquences théoriques résultant de cette hypothèse.

Soit globalement $[(4/64 \times 0,416) + (4/64 \times 0,166)] \times 100 = 3,6$ % de grains translucides pour 96,27 % de grains crayeux qui constituent les fréquences théoriques.

Face aux fréquences observées — 4,2 % de grains translucides pour 95,8 % de grains crayeux — l'ajustement ($\chi^2 = 0,092$) est très bon.

Estimation des génotypes des différents parents

Les diverses fréquences du degré de translucidité des grains chez les parents et leurs croisements permettent d'attribuer le contrôle de ce caractère à deux gènes majeurs, très liés, dont les allèles dominants déterminent, de manière indépendante, l'état crayeux du grain. Deux gènes modificateurs y sont associés. Leur allèle récessif

Tableau VIII Croisement IRAT 133 × IRAT 135 : ségrégations attendues en F1 pour la translucidité des grains). (C : grains crayeux ; T : grains translucides).

Sac embryonnaire (noyaux accessoires)	Gamète mâle							
	<i>AbCD</i>	<i>AbCd</i>	<i>AbcD</i>	<i>Abcd</i>	<i>aBCD</i>	<i>aBCd</i>	<i>aBcD</i>	<i>aBcd</i>
<i>AAbbCCDD</i>	C	C	C	C	C	C	C	C
<i>AAbbCCdd</i>	C	C	C	C	C	C	C	C
<i>AAbbccDD</i>	C	C	16,6 % T 83,4 % C	16,6 % T 83,4 % C	C	C	C	C
<i>AAbbccdd</i>	C	C	16,6 % T 83,4 % C	16,6 % T 83,4 % C	C	C	C	C
<i>aaBBCCDD</i>	C	C	C	C	C	C	C	C
<i>aaBBCCdd</i>	C	C	C	C	C	C	C	C
<i>aaBBccDD</i>	C	C	C	C	C	C	41,6 % T 58,4 % C	41,6 % T 58,4 % C
<i>aaBBccdd</i>	C	C	C	C	C	C	41,6 % T 58,4 % C	41,6 % T 58,4 % C

intervient spécifiquement sur l'un ou l'autre des allèles dominants des gènes majeurs. Ces gènes modificateurs agissent indépendamment des gènes majeurs et, probablement, entre eux.

Les interprétations tirées de l'étude des croisements permettent de donner un génotype possible des divers parents pour le caractère considéré :

- IRAT 109 et IRAT 144 : *AABB* gènes majeurs, *CCDD* gènes modificateurs ;
- IRAT 112 : *aabb* gènes majeurs, *ccdd* gènes modificateurs ;
- IRAT 133 : *AAbb* gènes majeurs, *ccDD* gènes modificateurs ;
- IRAT 135 : *aaBB* gènes majeurs, *CCdd* gènes modificateurs.

L'existence de ces quatre gènes explique, avec un très bon ajustement, la répartition des différents degrés de translucidité observés.

Discussion - Conclusion

Dans le cadre de croisements entre variétés de riz à faible distance génétique, l'étude des distributions du degré de translucidité des grains a permis de mettre en évidence un déterminisme simple du contrôle du caractère, basé sur la présence de deux gènes très liés dont les allèles dominants favorisent un état crayeux du caryopse.

La translucidité du grain, qui est la qualité recherchée, apparaît donc comme un caractère récessif.

Toutefois, il a été montré que la translucidité du grain pouvait également être dominante (CHOI, 1979 ; CLÉMENT et POISSON, 1981) ou partiellement dominante (BOLLIH et WEBB, 1973 ; IRR, 1974).

D'autre part, diverses études ont conduit à associer le contrôle du caractère translucidité du grain à l'action d'un gène majeur (CHANG et SOMRITH, 1979) ou de deux gènes complémentaires indépendants (CHOE *et al.*, 1977) ou liés (CLÉMENT et POISSON, 1981). Un déterminisme de type polygénique a pu également être mis en évidence (SEETHARAMAN 1964, NAKATAT et JACKSON 1973, cités par CHANG et SOMRITH, 1979). L'action de gènes modificateurs est, de surcroît, fréquemment mentionnée pour intervenir dans le contrôle génétique du caractère.

Cette diversité dans ces types de dominance et le déterminisme héréditaire de la translucidité des grains montre la complexité du phénomène. Les relations trouvées sont donc fortement dépendantes du groupe de géniteurs étudié et il est très hasardeux d'extrapoler les résultats.

D'un point de vue pratique, la forte liaison entre les gènes majeurs tend à prouver que le choix de géniteurs à grains translucides est effectivement à prendre en compte si ce caractère constitue un objectif de sélection. Pour les croisements étudiés, seules les descendance issues d'IRAT 112 devraient montrer, dans ce sens, un intérêt certain.

Cependant, ce raisonnement ne semble pas devoir être généralisable à tous les types de croisements, particulièrement ceux mettant en jeu des parents distants génétiquement. En effet, CHOI *et al.* (1979) ont montré que des types crayeux étaient fréquemment observés dans les descendances de croisements entre variétés *indica* et *japonica* à caryopse cristallin.

La translucidité sera facile à sélectionner dans les croisements mettant en jeu des parents à grains crayeux et à grains translucides où se manifestent des ségrégations de type mendélien simple trois quarts - un quart. Par contre, le criblage des combinaisons IRAT 112 × IRAT 133 et IRAT 112 × IRAT 135 sera plus délicat, l'action des gènes modificateurs pouvant interférer à toutes les étapes de la sélection. Les descendances devront dans ce cas faire l'objet d'un suivi minutieux.

En raison de la dominance de la crayosité du grain, la sélection pour la translucidité n'est pas à entreprendre trop précocement de manière à ne pas éliminer les hétérozygotes. Un criblage en F4 semble présenter les meilleures garanties d'efficacité. CHOI *et al.* (1979) parviennent à des conclusions similaires à partir de l'étude des descendances de neuf croisements entre variétés à grains crayeux et cristallins.

Cette étude de la translucidité des grains a permis de concevoir un schéma génétique expliquant les diverses fréquences observées en croisements, et d'en tirer des applications pratiques pour le choix de géniteurs et le criblage de ce caractère dans les descendances. La mesure de la translucidité par coupe transversale du caryopse est facile à mettre en œuvre, rapide, mais reste sujette à l'appréciation de l'observateur. En particulier, il est très souvent impossible de discriminer d'une manière sûre les divers degrés de l'état crayeux des grains. Les résultats obtenus dans cette étude gagneraient donc à être confrontés à ceux qui seraient déduits de données quantitatives plus fiables comme la détermination du taux d'amylose des grains, auquel le degré de translucidité est très lié.

Reçu le 24 novembre 1983.
Accepté le 10 avril 1984.

Références bibliographiques

- ARRAUDEAU M., 1979. Catalogue des variétés de riz pluvial de la station de Bouaké. Bouaké, IDESSA-GERDAT, Département des cultures vivrières, 83 p.
- BOLICH C.N., WEBB B.D., 1973. Inheritance of amylose in two hybrid populations of rice. *Cereal Chem.*, 50 (6) : 631-636.
- CHANG T.T., SOMRITH B., 1979. Genetic studies on the grain quality of rice. In : Proceedings of the workshop on chemical aspect of rice grain quality, IRRI, Los Baños, Laguna, Philippines, p. 49-58.
- CHOE Z.R., HEU M.H., LEE E.W., 1977. The inheritance of amylose content and alkali digestibility value of rice (*O. sativa* L.) applied as « Waxy carrier technique ». *Bull. Coll. Agric., Seoul Univ.*, 2 (1) : 101-134.
- CHOI S.J., 1979. Studies on inheritance and selection efficiency of endosperm chalkiness of rice kernels. Milyang (S. Korea), Office of rural development, p. 209-234.
- CHOI S.J., HU M.H., LEE H.S., 1979. Studies on inheritance of chalkiness of rice grains and selection efficiency. *Bull. Coll. Agric., Seoul Univ.*, 4 (1), 247-276.
- CLÉMENT G., POISSON C., 1981. Création variétale et évaluation du matériel végétal en conditions pluviales. Campagne 1980. Bouaké, IDESSA-GERDAT, Département des cultures vivrières, 93 p.
- CLÉMENT G., POISSON C., DALLARD J., 1982. Amélioration variétale du riz pluvial en Côte d'Ivoire. Étude analytique 1981. Bouaké, IDESSA-GERDAT, Département des cultures vivrières, 218 p.
- GLASZMANN J.C., 1982. Variabilité enzymatique du riz (*Oryza sativa* L.). Son importance pour la compréhension de la structure écogéographique de l'espèce. Thèse de Docteur-ingénieur, Institut National Agronomique, Paris-Grignon, 128 p.
- INSTITUT DE RECHERCHES AGRONOMIQUES TROPICALES, 1975. Amélioration du riz pluvial. Rapport analytique. Bouaké, IRAT, 25 p.
- INSTITUT DE RECHERCHES AGRONOMIQUES TROPICALES, 1975. Catalogue des variétés de riz. Collection de la station IRAT. Riziculture pluviale. Bouaké, IRAT, 213 p.
- INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE, 1974. Annual report for 1973. Los Baños, IRRI, 266 p.
- MARIE R., 1977. Glossaire de l'amélioration génétique du riz. Paris, IRAT, 236 p.
- VANDEVENNE R., 1976. Étude du critère qualité du grain. In : Réunion IRAT sur le type morphologique de plante riz pluvial, Bouaké, Côte d'Ivoire, 23 mars, 11 p.

Summary

CLÉMENT G., POISSON C. - Study of translucency inheritance in five rice (*Oryza sativa*) varieties. Practical applications in breeding.

The development of translucent grained varieties is one of the prime objectives of the upland rice breeding program in the Ivory Coast.

This qualitative character was observed in five rice varieties and the F1 derived from their crosses. Grains were classified as crystalline or chalky types.

Results can be explained by a genetic control of the grain translucency degree by two linked major genes and the action of two modifier genes.

Chalky kernels were prevailing.

The generalization of the results obtained and some of their practical applications, such as the interest of choosing parents according to a desirable translucency degree and the determination of the selection generations over which screening for the trait is the most efficient, are discussed.

Key words : *Oryza sativa*, rice, inheritance, translucency, selection.

Resumen

CLÉMENT G., POISSON C. - Estudio de la herencia de la translucidez en cinco variedades de arroz (*Oryza sativa*). Aplicaciones prácticas en selección.

La creación de variedades con granos translúcidos constituye un objetivo importante dentro del programa de mejora del arroz de secano en la Costa de Marfil.

Este carácter cualitativo se ha observado en cinco variedades de arroz y en las F1 de sus cruces. Los granos se han clasificado en tipo cristalino o tipo gredoso.

Un control genético del grado de translucidez de los granos por dos genes mayores ligados y por la acción de dos genes modificadores permite explicar el conjunto de resultados observados.

El estado gredoso del grano es dominante.

Se discute la generalización de los resultados obtenidos y algunas de sus aplicaciones prácticas, así como el interés de la elección de los genitores en función del grado de translucidez requerido y la determinación de las generaciones de selección en las que el cribado de dicho carácter es más eficaz.

Palabras-clave : *Oryza sativa*, arroz, herencia, translucidez, selección.

Conservation des semences de soja (*Glycine max* L. Merrill) en zone tropicale

J. LARCHER (1), P. GODON (2), P. SALEZ (3)

RÉSUMÉ — Les semences de soja, surtout en zone tropicale, ont une longévité beaucoup plus courte que celles d'autres espèces. Dans trois écologies différentes, Sénégal, Guyane et Cameroun, deux modes de conditionnement (sac de toile et sac de plastique soudé) et deux types de stockage (magasin ventilé et chambre froide) ont été testés pendant deux ans. La conservation de la faculté germinative est sous la dépendance étroite de deux facteurs physiques : la température de stockage et l'humidité des graines, ce dernier étant le plus important. La chambre froide déshumidifiée assure une excellente conservation pendant plus d'un an (90 % de la faculté germinative initiale). Si la chambre froide est mal ou pas déshumidifiée, il est nécessaire de conditionner les semences en sac plastique soudé. Au Sénégal et au Cameroun, le stockage en magasin de semences en sac plastique soudé, ou mieux, sous vide, permet de conserver à moindre frais les semences d'une campagne à l'autre. Dans un pays à climat sec, une grande partie de l'année (Sénégal), une conservation de courte durée, en sac toile et magasin, est possible. On n'a pas observé de champignons de conservation mais seulement des champignons « de champ », dont l'importance diminue avec la durée du stockage. Par contre, les taux de graines infectées par des bactéries augmentent.

Mots clés : *Glycine max*, soja, semences, conservation, Sénégal, Guyane, Cameroun.

Les semences, organismes vivants assurant la reproduction des phanérogames, sont, à partir du moment où elles atteignent la maturité physiologique, le siège de processus complexes de détériorations aboutissant inexorablement à la mort. Les conditions climatiques entre la maturité physiologique et la récolte, l'humidité et la température élevées ainsi que leur interaction, les dégâts mécaniques au cours des opérations de récolte ou de manutention, les dommages dus aux traitements, insectes, maladies ou autres prédateurs sont autant de facteurs qui conduisent à la dégradation des semences pendant le stockage.

(1) Ingénieur de recherche IRAT détaché à l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles. Adresse actuelle : IRAT-GERDAT, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex, France.

(2) Ingénieur de recherche, IRAT-Guyane. Adresse actuelle : IRAT, 45 bis avenue de la Belle Gabrielle, 94130 Nogent-sur-Marne, France.

(3) Ingénieur de recherche IRAT, détaché à l'Institut de la Recherche Agronomique, BP 44, Dschang, Cameroun.

La durée de vie d'une semence varie considérablement d'une espèce à l'autre. Dans les mêmes conditions de culture, récolte, séchage et stockage, les semences de soja ont une longévité plus courte que celles du riz, du maïs, du sorgho, du blé ou d'autres espèces (DELOUCHE, 1982).

GREGG (1982) et DELOUCHE (1982) notent que le principal obstacle à l'extension de la culture du soja, dans les pays tropicaux et subtropicaux, réside dans les difficultés à conserver le pouvoir germinatif des semences d'une saison de culture à l'autre. DELOUCHE (1982) considère que, dans ces régions, les semences de soja deviennent impropres à la reproduction deux ou trois mois après la récolte.

Pour GREGG (1982), si les conditions de stockage, aussi bonnes soient-elles, sont incapables d'arrêter ces phénomènes de dégradation, elles peuvent par contre les minimiser et maintenir la faculté germinative des semences dans des limites satisfaisantes.

Au Sénégal, au Cameroun et en Guyane, des projets de développement de la culture du soja se sont trouvés confrontés, d'une façon plus ou moins aiguë, à ce problème de la conservation des semences. Aussi est-il apparu nécessaire d'étudier ce sujet. Dans cette optique, un essai coordonné a été mis en place dans ces trois pays. Il met en jeu différentes techniques de conditionnement et de stockage.

Matériel et méthode

Localisation et caractéristiques climatiques des points d'essai

Les expérimentations se sont déroulées de 1980 à 1982, au Sénégal, en Guyane et au Cameroun, pays très différenciés sur le plan climatique (tabl. I).

La température maximum et minimum, de même que l'humidité relative de l'air* ont été enregistrées régulièrement pendant toute la durée de l'expérimentation et

* Au Sénégal et au Cameroun, l'humidité relative de l'air est exprimée par la moyenne décadaire des mesures faites à 6 h ou 8 h, 12 h et 18 h. En Guyane, il s'agit de l'humidité relative moyenne mensuelle.

Tableau I Localisation géographique et type de climat des points d'essai.

	Sénégal	Guyane	Cameroun
Station	ISRA - CNRA Bambey	IRAT - Cabassou	IRA - Dschang
Altitude	17 m	7 m	1 450 m
Latitude	14° 42' N	4° 54' N	5° 27' N
Longitude	14° 28' W	52° 18' W	10° 5' E
Climat	Soudanien nord à une saison des pluies (3,5 à 5 mois)	Équatorial à deux saisons des pluies (totalisant 9 mois)	Tropical humide d'altitude à une saison des pluies (8 mois)

font l'objet des figures 1 à 3, qui font bien apparaître les particularités climatiques de chacun des points d'essai :

– Sénégal : amplitudes thermiques importantes toute l'année ; l'hygrométrie relative de l'air, élevée pendant la saison des pluies (75-80 %) reste faible la plus grande partie de l'année (30-45 %) ;

– Guyane : températures très stables avec de faibles amplitudes ; hygrométrie relative de l'air élevée (85 %) toute l'année ;

– Cameroun : sous l'effet de l'altitude, on assiste à une atténuation des amplitudes thermiques ; les températures sont peu élevées et l'hygrométrie relative de l'air est supérieure à 75 % pendant la longue saison des pluies.

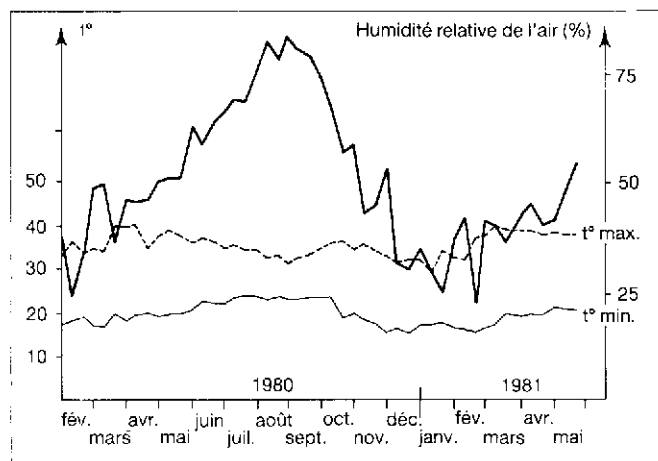


Fig. 1 : Températures maxima et minima (°C), humidité relative de l'air (%) décadaires de Bambey en 1980 et 1981.

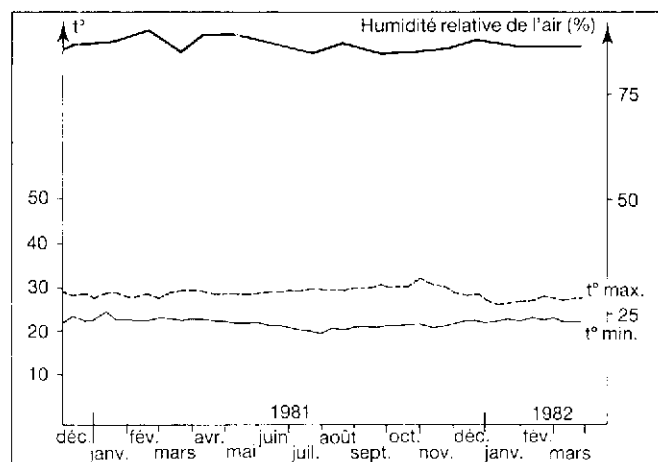


Fig. 2 : Températures maxima et minima (°C) décadaires et humidité relative de l'air (%) mensuelle de Cabassou 1980-82.

Dispositif d'étude

Deux types de stockage et deux modes de conditionnement des semences (tabl. II) ont été testés dans un essai à cinq répétitions qui a duré vingt-quatre mois.

Tous les trois mois, des prélèvements ont été effectués sur quatre répétitions pour mesurer :

– la faculté germinative (FG), représentant le pourcentage de plantules normales obtenues au huitième jour ; les règles internationales pour les essais de semences définissent la plantule normale comme étant une plantule capable de poursuivre son développement en une plante normale, à supposer qu'elle soit cultivée dans un sol de bonne qualité et dans des conditions favorables de température et d'humidité (ISTA, 1979) ;

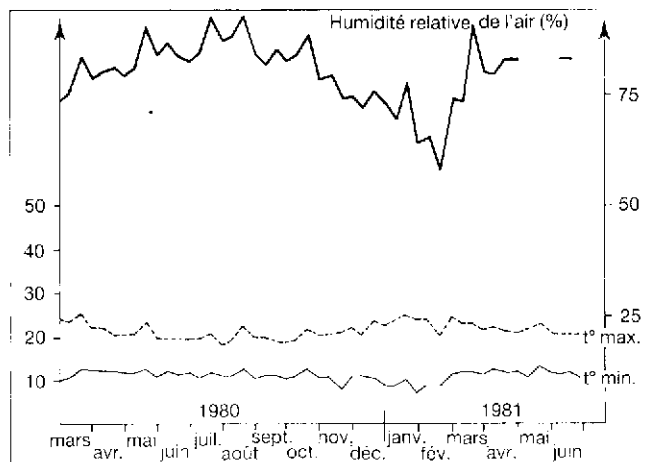


Fig. 3 : Températures maxima et minima (°C), humidité relative de l'air (%) décadaires de Dschang en 1980 et 1981.

- l'humidité des graines ;
- l'indice I calculé par la formule

$$\frac{FG \times 100}{FG \text{ initiale du lot}}$$

la faculté germinative des lots en début d'essai étant respectivement de 77,3 % au Sénégal, 96 % en Guyane et 95,3 % au Cameroun.

La cinquième répétition était envoyée au laboratoire de phytopathologie de l'IRAT à Montpellier pour identification des organismes pathogènes.

En fin d'essai, après vérification des hypothèses préalables, seuls les résultats à trois, six, neuf, douze et quinze mois de stockage ont fait l'objet d'une analyse statistique.

Tableau II Identification des traitements.

Stockage	Conditionnement	
	Sac toile	Sac plastique soudé
Magasin ventilé	TM	PM
Chambre froide	TC	PC

Constitution des échantillons élémentaires

À partir d'un lot homogène de semences récemment récoltées des variétés suivantes :

- IRAT 273 (syn. ISRA-IRAT 44 A/73) au Sénégal,
- Hardee LS en Guyane,
- SJ 239 au Cameroun,

cent soixante échantillons élémentaires de 150 g (quatre traitements \times cinq répétitions \times huit durées de stockage) ont été constitués, par passages successifs à l'échantillonneur-déviseur puis conditionnés en sacs toile (80) et en sacs plastique (80).

Détermination de l'humidité des graines

À l'ouverture des sacs, tous les trois mois, l'humidité des semences a été déterminée par pesées et passage à l'étuve à 105 °C pendant vingt-quatre heures, sur un échantillon représentatif de chaque traitement.

Tests de germination

Les tests de germination ont été pratiqués sur sable humide, sous ombrière.

Pour déterminer la proportion de plantules considérées comme normales au huitième jour, c'est-à-dire des plan-

tules capables de devenir des plantes normales, les expérimentateurs se sont conformés aux règles de l'ISTA (ISTA, 1976).

Humidité relative de l'air et température des chambres froides

Au Sénégal, l'humidité relative de l'air et la température (moyenne 15 °C) de la chambre froide n'ont pas été constantes pendant toute la durée de l'expérimentation en raison de nombreuses pannes.

L'humidité relative de l'air et la température de la chambre froide utilisée en Guyane sont restées très stables au cours de l'expérimentation, avec des moyennes de 63,6 % d'humidité et 20 °C pour la température.

Enfin, au Cameroun, la chambre froide a été constamment maintenue à 5 °C.

Résultats et discussion

Faculté germinative

L'analyse statistique fait apparaître, dans tous les cas, une interaction du deuxième ordre significative « type de stockage \times mode de conditionnement \times durée du stockage ». Cette interaction a été développée par des comparaisons entre durées pour chacune des combinaisons « type de stockage \times mode de conditionnement » (test de comparaisons multiples de moyennes de Duncan). Les données d'origine ayant subi une transformation angulaire, les lettres d'équivalence affectées aux moyennes des valeurs angulaires ont été transférées, dans les tableaux III, IV et V, aux valeurs calculées par transformation inverse.

Les espérances de maintenir dans ces pays la faculté germinative des semences de soja à 90 % et à 70 % sont résumées dans le tableau VI.

Tableau III Sénégal : évolution de la faculté germinative (FG) et de l'indice I des semences pendant quinze mois

Mois	TM		TC		PM		PC	
	FG (%)	I	FG (%)	I	FG (%)	I	FG (%)	I
3	74,1 a	96	74,3 a	96	70,7 ab	91	76,7 a	99
6	75,6 a	98	75,5 a	98	73,7 a	95	74,4 a	96
9	48,5 b	63	73,0 a	94	64,1 b	83	74,1 a	96
12	16,8 c	22	61,5 b	80	47,5 c	61	65,3 b	84
15	6,7 d	9	54,3 b	70	24,5 d	32	62,3 b	81

Les chiffres affectés de la même lettre ne sont pas significativement différents au seuil de $p = 0,05$.

Tableau IV Guyane : évolution de la faculté germinative (FG) et de l'indice I des semences pendant quinze mois.

Mois	TM		TC		PM		PC	
	FG (%)	I	FG (%)	I	FG (%)	I	FG (%)	I
3	49,3 a	51	90,3 a	94	68,4 a	71	81,1 a	84
6	0,3 b	0	68,2 c	71	69,4 a	72	86,8 a	90
9	0,3 b	0	76,7 b	80	14,7 b	15	82,6 a	86
12	0,3 b	0	33,6 d	35	0,6 c	1	80,7 a	84
15	0,3 b	0	0,3 e	0	0,3 c	0	36,3 b	38

Tableau V Cameroun : évolution de la faculté germinative (FG) et de l'indice I des semences pendant quinze mois.

Mois	TM		TC		PM		PC	
	FG (%)	I	FG (%)	I	FG (%)	I	FG (%)	I
3	83,2 a	87	86,1 ab	90	87,9 a	92	91,4 a	96
6	75,8 a	80	79,0 bc	83	62,2 b	65	78,2 b	82
9	49,4 b	52	89,5 a	94	79,4 a	83	89,5 a	94
12	40,5 b	42	84,7 ab	89	81,2 a	85	85,1 ab	89
15	3,1 c	3	69,9 c	73	65,6 b	69	75,2 b	79

Humidité des graines

TANNER et HUME (1978) considèrent que les semences de soja peuvent être conservées pendant longtemps à 11 % d'humidité.

La règle de Harrington (JUSTICE *et al.*, 1978) veut que, pour un taux d'humidité variant entre 14 % et 5 %, chaque diminution de 1 % d'humidité double la vie de la graine.

HUKIL (1963), BOAKYE-BOATANG et HUME (1975) calculent la durée possible de stockage des semences de

soja par la formule suivante : Age index = nombre de semaines de stockage $\times 10^{x+y}$, où $x = 0,143$ fois l'humidité des graines et $y = 0,0645$ fois la température en °C. Pour ces auteurs, la faculté germinative commence à décroître quand l'indice atteint 15 000. Connaissant le taux d'humidité des graines et la température de conservation, en supposant que ces valeurs restent constantes, et en se fixant un indice inférieur à 15 000, il est donc théoriquement possible de prévoir la durée de conservation.

Bien que difficile à appliquer dans la présente étude, du fait des variations dans le temps de l'humidité et de la température, en particulier pour les graines conservées en magasin, cette formule montre bien que le principal facteur de détérioration de la faculté germinative est le taux d'humidité des semences.

L'évolution du taux de l'humidité des graines pendant vingt-quatre mois de stockage dans les trois pays où se situe l'expérimentation est indiquée dans le tableau VII.

Au Sénégal, l'humidité des graines est restée relativement stable, sauf pour les traitements TM qui suivent les variations saisonnières. L'élévation de l'hygrométrie et de la température pendant la saison chaude et humide (six mois de conservation) se traduit par une baisse significative de la faculté germinative.

Tableau VI Durée, en mois, de stockage possible pour le maintien de la faculté germinative à 90 % et 70 %.

Pays	90 % de la FG				70 % de la FG			
	TM	TC	PM	PC	TM	TC	PM	PC
Sénégal	6	9	6	9	6	15	9	15
Guyane	0	3	0	12	0	9	6	12
Cameroun	0	9-12	12	12	6	15	12	15

Tableau VII Évolution du taux d'humidité des graines pendant vingt-quatre mois de stockage.

Mois	Sénégal				Guyane				Cameroun			
	TM	TC	PM	PC	TM	TC	PM	PC	TM	TC	PM	PC
3	7,1	6,7	8,0	8,3	15,0	12,5	10,4	10,0	11,9	10,3	8,8	8,7
6	11,8	8,8	9,3	9,4	12,9	9,3	10,6	7,5	14,6	10,7	9,5	9,2
9					14,9	11,9	10,1	7,5	12,4	13,5	10,3	10,0
12	6,4	7,8	8,5	8,8	13,7	14,8	11,2	10,1	11,3	15,4	10,1	9,6
15	6,0	6,5	7,5	7,9		9,1		8,5	13,5	16,4	10,9	9,6
18	10,3	10,1	7,8	8,5				8,3	14,2	13,6	10,4	9,7
21		9,5		8,7				7,9	11,9	14,9	11,6	10,7
24		5,6		5,2				8,1		16,5	10,5	9,7

— Limite de la période pendant laquelle la faculté germinative est maintenue à 90 %.

---- Limite de la période pendant laquelle la faculté germinative est maintenue à 70 %.

Pour les autres traitements, c'est surtout la température (pannes de la chambre froide) qui est la cause d'une dégradation de la faculté germinative, l'humidité des graines ayant peu varié.

En Guyane, l'humidité élevée des graines des traitements TM (15 %) et PM (12,5 %), associée à des températures moyennes de 26-27 °C, est la principale responsable de la dégradation très rapide de la faculté germinative, surtout pour les semences stockées en magasin où la conservation ne peut excéder quelques semaines.

Au Cameroun, on constate que les graines conditionnées en sac toile reprennent très vite une humidité supérieure à 11 % ; une baisse significative de la faculté germinative à six mois pour le traitement TM et neuf mois pour le traitement TC en résulte.

Par contre, la température de 5 °C de la chambre froide et le maintien du taux d'humidité des graines à 10 % ont été autant de facteurs favorables à une bonne conservation des semences.

Détermination des organismes pathogènes

Le Laboratoire de phytopathologie de l'IRAT à Montpellier a recherché les champignons et les bactéries sur les échantillons qui lui ont été envoyés tous les trois mois.

La méthode suivie est celle préconisée par YORINORI (1979). À réception des échantillons, les graines ont été mises en culture, à 20 ° et 25 °C, sur deux milieux :

- trois papiers filtres humidifiés (PF) ;
- Potato Dextrose Agar (PDA) ; dans ce cas, les graines ont été préalablement trempées dans une solution à 1 % de NaOCl.

Les observations ont porté sur deux cents à quatre cents graines selon l'importance des échantillons reçus.

Champignons parasites

On n'a pas observé la présence de champignons spécifiques de conservation mais seulement des champignons

« de champ » (tabl. VIII). L'importance de ces champignons diminue d'ailleurs avec la durée de conservation, ce qui rejoint les observations faites par HEPPERLY *et al.*

Tableau VIII Principaux champignons parasites observés.

Champignons	Sénégal	Guyane	Cameroun
<i>Fusarium</i> spp.	x	x	x
<i>Colletotrichum dematium</i>	x	x	
<i>Cercospora sojina</i>		x	
<i>Cercospora kikuchii</i>		x	x
<i>Curvularia</i> sp.	x	x	x
<i>Pestotrozia</i> sp.			x
<i>Phomopsis sojæ</i>			x
<i>Alternaria</i> sp.	x	x	x
<i>Macrophomina phaseolina</i>		x	

(1982). Pour ces auteurs, les champignons « de champ » peuvent être la cause d'une diminution de la faculté germinative et de décolorations des graines. Les taux de graines infectées par ces champignons restent cependant faibles, inférieurs aux 5 % considérés comme une limite tolérable (BAUDIN, 1982).

Bactéries

Les modes d'action et le rôle des bactéries sur l'état sanitaire des graines de soja sont beaucoup moins bien connus que ceux des champignons. Certains genres (*Corynebacterium*, *Pseudomonas* et *Xanthomonas*), transmissibles par les semences, sont à l'origine de maladies graves pour la plante (HEPPERLY *et al.*, 1982).

Si dans cette étude il n'a pas été possible de déterminer le genre des bactéries observées, on peut cependant constater, à la lecture du tableau IX, d'une part que le nombre de graines infectées par des bactéries augmente avec la durée de conservation, et d'autre part que les taux les plus importants de graines contaminées se trouvent dans les traitements suivants :

Tableau IX Pourcentage de graines infectées par des bactéries (culture sur papier filtre à 25 °C).

Mois	Sénégal				Guyane				Cameroun			
	TM	TC	PM	PC	TM	TC	PM	PC	TM	TC	PM	PC
3*	-	-	-	-	36,0	24,0	27,0	24,5	0	0	0	0
6	5,5	0	10,5	7	76,0	47,0	33,0	60,5	28,5	4,0	10,3	6,5
9	20,5	12,5	21,0	8,5	69,5	37,0	83,0	18,5	28,8	10,0	7,5	6,8
12	26,0	21,0	28,0	19,5	95,0	60,0	93,0	40,0	49,5	8,5	8,5	6,0
15	44,5	21,0	42,0	31,0		91,0		38,0	62,0	17,0	16,0	6,0
18	60,0	31,0	49,0	20,0				39,0	56,0	15,0	10,0	4,0
21		16,0		8,0				45,0	86,0	13,0	10,0	8,0
24		18,0		12,0				39,0				

* Échantillons perdus en cours de transport.

- sac toile-magasin : Sénégal, Guyane, Cameroun ;
- sac toile-chambre froide : Guyane ;
- sac plastique soudé-magasin : Sénégal, Guyane ;
- sac plastique soudé-chambre froide : Guyane.

Conclusion

La conservation de la viabilité des semences de soja est sous la dépendance étroite de deux facteurs physiques qui ne sont pas toujours faciles à maîtriser en milieu tropical :

- l'humidité de la graine ;
- la température de stockage.

Le facteur le plus important est sans conteste le taux d'humidité des semences pendant le stockage.

Il importe donc d'abaisser, aussi bas que possible, l'humidité des graines - 5 % étant la limite minimum (DOUGLAS, 1979) - et de maintenir ce taux pendant toute la durée du stockage.

Dans des pays à hygrométrie de l'air élevée, comme la Guyane et le Cameroun, la meilleure solution consiste à entreposer les semences en chambre froide déshumidifiée. Si la chambre froide n'est pas ou mal déshumidifiée, le conditionnement sous sac de plastique soudé permet de protéger les semences des variations hygrométriques de l'air du local dans lequel elles sont entreposées, à condition d'utiliser des graines ayant un taux d'humidité inférieur à 10 %.

En dehors de la solution coûteuse de la chambre froide, le simple conditionnement en sac de plastique soudé, ou mieux sous vide, assure une conservation satisfaisante, d'une campagne à l'autre, des semences stockées dans un magasin frais et ventilé (Sénégal, Cameroun).

Au Sénégal, pays à climat sec une grande partie de l'année, une conservation de courte durée, six à huit mois, est possible pour des semences conditionnées en sac de toile et stockées dans un magasin ventilé.

Enfin, il est bon de signaler que le problème de la conservation des semences de soja en milieu tropical pourrait être résolu en partie par la voie génétique. Parmi les travaux en cours, on peut citer : la création de cultivars aptes à supporter des conditions défavorables à la conservation (IITA, INTSOY), la recherche de tests sûrs et rapides d'évaluation de l'aptitude au stockage de cultivars (IITA, IRAT-Cameroun).

Reçu le 28 février 1984.
Accepté le 15 juin 1984.

Remerciements. Les auteurs remercient J. WEIL, de l'IRAT, qui a assuré l'interprétation statistique des résultats. Ils expriment leur gratitude à M. CHATENET et J. VILAPLANA, de la Division de défense des cultures

de l'IRAT à Montpellier, pour le suivi pathologique des échantillons. Ils remercient également R. DECHANET, M. DIAGNE pour leur aide dans la réalisation pratique des essais.

Références bibliographiques

BOAKYE-BOATENG K., HUME D.J., 1975. Effects of storage conditions on germination of soybean (*Glycine max* L. Merr.) seed. Ghana J. Agric. Sci., 8 : 109-114.

DELOUCHE J.-C., 1982. Physiological changes during storage that affect soybean seed quality. In : Soybean seed quality and stand establishment, Proceedings of a conference for scientists of Asia, Colombo, Sri Lanka, 25-31 janvier 1981, p. 57-66. INTSOY, Series n° 22.

DOUGLAS J.E., 1979. Emmagasiner et ensacher des semences. In : Technologie des semences de céréales. Manuel de la production, du contrôle de qualité et de la distribution des semences. Rome, FAO, 266 p. (Coll. Progrès et mise en valeur, Agriculture, n° 98).

GREGG B.R., 1982. Soybean seed quality and practical storage. In : Soybean seed quality and stand establishment, Proceedings of a conference for scientists of Asia, Colombo, Sri Lanka, 25-31 janvier, p. 52-56. INTSOY, Series n° 22.

HEPPERLY J.S., MIGNUCCI J.S., SINCLAIR J.B., 1982. The microorganisms of stored soybean seeds. In : Soybean seed quality and stand establishment, Proceedings of a conference for scientists of Asia, Colombo, Sri Lanka, 25-31 janvier 1981, p. 67-76. INTSOY, Series n° 22.

INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION, 1976. Compte rendu de l'Association internationale d'essais de semences. Règles internationales pour les essais de semences, 1976. Règles et annexes. As-NLH, Norvège, ISTA, p. 557-743.

INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION, 1979. Manuel pour l'appréciation des plantules. Zurich, ISTA, 130 p.

JUSTICE O.L., BASS L.N., 1979. Principles and practices of seed storage. Castle House Publications, 289 p.

KUKILL W.V., 1963. Storage of seeds. Seed Sci. and Technol., 28 (4) : 871-883.

TANNER J.W., HUME D.J., 1978. Management and production. In : Soybean physiology, agronomy and utilization, A.G. NORMAN Edit., New York, San Francisco, London, Academic Press, p. 157-217.

YORINORI J.T., 1979. Data showing results of comparative seed health tests of soybean. In : Seed pathology problems and progress, IAPAR, Londrina, Brésil, 10-18 avril 1976, 274 p.

Summary

LARCHER J., GODON P., SALEZ P. - Storage of soybean (*Glycine max*) seed in the tropics.

Soybean seed have a life shorter than that of other species and more particularly in the tropics.

In three different ecologies, Senegal, French Guiana and Cameroon, two package types (hessian and welded plastic bags) and two storage methods (aerated store and cold room) were tested for two years.

The maintenance of seed germination capacity was strongly

dependent on two physical factors : storage temperature and – even more important – seed moisture.

In a dehumidified cold room seed could be satisfactorily stored for more than one year (90 % of initial germination capacity). If the cold room is badly or not at all dehumidified then seed need to be stored in welded plastic bags.

In Senegal and Cameroon storing seed in welded plastic bags or – even better – under vacuum in stores was a less expensive method to preserve seed from one campaign to the next.

In a country (such as Senegal) where climate is dry a great part of the year, short-term storage in hessian bags in store is quite possible. No storage fungi but only field fungi, less and less important with storage time, were found but the rate of bacteria infested seed increased.

Key words : *Glycine max*, soyabean, seed, storage, Senegal, French Guiana, Cameroon.

Resumen

LARCHER J., GODON P., SALEZ P. – **Conservación de las semillas de soya (*Glycine max*) en zona tropical.**

Las semillas de soya, sobre todo en zona tropical, tienen una longevidad mucho más corta que la de otras especies.

En tres ecologías diferentes – Senegal, Guayana y Camerún – se

han probado durante dos años dos formas de empaque (saco de tela y bolsa plástica soldada) y dos tipos de almacenamiento (almacén ventilado y cámara frigorífica).

La conservación de la facultad germinativa se halla estrictamente subordinada a dos factores físicos : la temperatura de almacenamiento y la humedad de las semillas, siendo éste último el más importante.

La cámara frigorífica deshumedecida permite una conservación excelente durante más de un año (un 90 % de la facultad germinativa inicial). Si la cámara frigorífica no está deshumedecida o lo está mal, hace falta embalar las semillas en bolsas plásticas soldadas.

En el Senegal y el Camerún, el depósito en almacén de semillas en bolsa plástica soldada o, mejor aún, en vacío, permite conservar, con un gasto mínimo, las semillas de una temporada a otra.

En un país con clima seco durante gran parte del año (Senegal), las semillas pueden conservarse un período corto de tiempo en saco de tela y almacén.

No se han observado hongos de conservación sino tan sólo hongos de « campo » cuya importancia disminuye con el tiempo de almacenamiento. En cambio, las proporciones de semillas infectadas por bacterias aumentan.

Palabras-clave : *Glycine max*, soya, conservación de las semillas, Senegal, Camerún, Guayana.

Culture *in vitro* des tissus foliaires de canne à sucre infectée par *Ustilago scitaminea* Syd.

J.-P. PEROS, P. CHAGVARDIEFF (1)

RÉSUMÉ — Le mycélium d'*U. scitaminea* est observé dans les vaisseaux conducteurs du faisceau foliaire de jeunes plantes atteintes de charbon. Les plantes obtenues à partir d'explants foliaires infectés se sont révélées saines. Des cultures associant le parasite et les explants ou les cals ont été établies *in vitro* pendant une durée variable.

Mots clés : *Saccharum* sp., canne à sucre, *Ustilago scitaminea*, charbon, culture *in vitro*.

L'obligation, pour certains parasites végétaux, de disposer de tissus vivants de leur hôte pour se multiplier a conduit à l'idée d'une culture *in vitro* associant parasite et hôte (MOREL, 1948). Cette voie de recherche a été bien exploitée pour de nombreuses plantes et de nombreux parasites : champignons, bactéries, virus (INGRAM, 1973). En particulier, pour les champignons de la famille des Urédinales, la culture axénique des parasites après établissement des cultures associées a été obtenue (MAC LEAN, 1982). Cette technique permet également l'étude des relations hôte-agent pathogène ; elle concerne des systèmes plus simples et mieux contrôlés que la plante entière (HELGESON, 1983). Des hypothèses sur ces relations peuvent être faites grâce aux informations acquises *in vitro* : prototrophie pour la kinétine des cals de *Brassica* sp. infectés par *Plasmodiophora brassicae* Wor. (REDDY et WILLIAMS, 1970), effets toxiques de l'*Ustilago violacea* Pers. Roussel sur les cultures tissulaires et cellulaires de *Silene alba* (BATCHO et DUBOIS, 1976), action inhibitrice des cals de *Pinus taeda* L. sur la croissance mycélienne de *Cronartium fusiforme* (JACOBI, 1982).

L'essor de la culture *in vitro* des tissus de canne à sucre a été rapide depuis les premiers travaux de NICKELL (1964) et de HEINZ et MEE (1969). CHEN *et al.* (1979) ont obtenu des cultures associant des cals de canne à sucre et *Sclerospora sacchari* Miyake en mettant en culture les faisceaux foliaires de plantes atteintes de mildiou. L'inoculation des cals avec une suspension bactérienne d'*Azospirillum* a permis à VASIL *et al.* (1979) d'associer les deux

protagonistes et d'étudier les échanges gazeux de ces cultures. Par ailleurs, le virus de la mosaïque de la canne à sucre peut survivre dans les cals obtenus à partir de plantes malades (DEAN, 1982).

Depuis 1978, les techniques de culture *in vitro* des tissus de canne à sucre ont été développées avec succès à l'IRAT (CHAGVARDIEFF *et al.*, 1981) dans l'optique d'exploiter les variations somaclonales ainsi produites pour la création de nouvelles variétés. La sélection de plantes résistantes à la maladie du charbon de la canne à sucre est un objectif important du programme de création variétale de l'Institut. Cependant, pour cette maladie, qui est l'une des plus graves de la culture, peu de travaux concernent les relations physiologiques entre l'hôte et son parasite systémique : *Ustilago scitaminea*. Or, d'une meilleure connaissance de la maladie pourraient découler des tests plus performants de sélection. Il est donc utile d'obtenir une culture *in vitro* associant *Ustilago scitaminea* et des cals de canne à sucre. Nous présentons ici les premiers résultats obtenus avec des plantes infectées.

Matériel et méthodes

Les boutures de variétés très sensibles au charbon, NCo 310 et HJ 5741, sont inoculées avec des spores récoltées sur la même variété cultivée en Côte d'Ivoire pour NCo 310 et en Guadeloupe pour HJ 5741. Les méthodes de culture et d'inoculation des plants, de détection du parasite dans les tissus sont celles utilisées par PEROS et BAUDIN (1983). La recherche du mycélium parasite est faite dans des sections de 5 mm de hauteur des faisceaux foliaires de plantes malades de HJ 5741 prélevés deux mois après l'inoculation et la culture en serre. L'obtention de cals et leur multiplication non morphogène, la régénération rapide de plants à partir des explants ont été décrites par CHAGVARDIEFF *et al.* (1981). Les régénérations rapides sont obtenues sur des explants de plantes infectées de la variété HJ 5741. Les cultures non morphogènes sont initiées à partir des faisceaux foliaires prélevés à deux mois sur dix plantes malades de la variété NCo 310.

(1) IRAT-GERDAT, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex, France.

Résultats

Observation du parasite dans les faisceaux foliaires

L'observation de quinze sections de faisceaux foliaires (tabl. I) montre pour chacune la présence du parasite révélée par des amas mycéliens répartis dans les vaisseaux conducteurs du phloème (fig. 1).

Tableau I Présence du mycélium d'*Ustilago scitaminea* dans les faisceaux foliaires de deux plantes malades de la variété HJ 5741.

Distance de l'explant à l'apex (cm)	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
Plante 1	+	+	+	+	+	+	+	*
Plante 2	+	+	+	+	+	+	+	+

* : analyse non faite.

État sanitaire des plantes régénérées

Six semaines après la mise en culture *in vitro* d'explants de plantes malades, nous avons obtenu des plantes par la méthode de régénération rapide. Elles sont ensuite repiquées en pot, et après deux mois de culture testées pour la présence du mycélium. *Ustilago scitaminea* n'a été détecté dans aucune des trente plantes analysées.

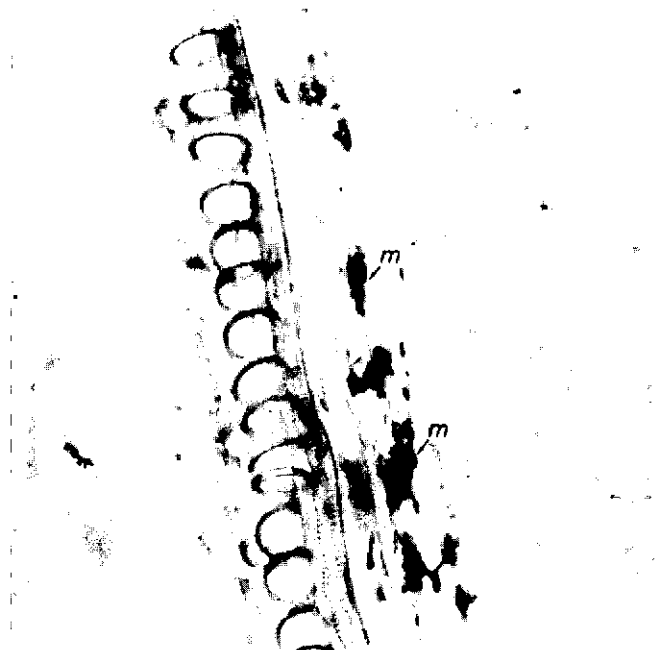


Fig. 1 : Présence d'amas mycélien (m) d'*Ustilago scitaminea* dans les vaisseaux conducteurs d'une jeune feuille non déployée d'une canne à sucre infectée par le charbon.

Évolution des cultures non morphogènes

La présence du mycélium d'*U. scitaminea* dans le phloème de jeunes feuilles non déployées nous permet d'établir une culture associant le champignon et les cals de son hôte. Le champignon rejoint après un temps variable leur surface, puis le milieu, où sa croissance est rapide :

- entre la mise en culture et le premier repiquage, le champignon apparaît sur les explants de quatre des dix plantes malades ; les explants de deux d'entre elles sont également contaminés par des organismes saprophytes ;
- à chacun des deux repiquages suivants, *U. scitaminea* pousse sur les cals d'une plante (fig. 2) ;
- après le troisième repiquage, il se développe sur ceux des quatre derniers plants sous sa forme levuroïde.

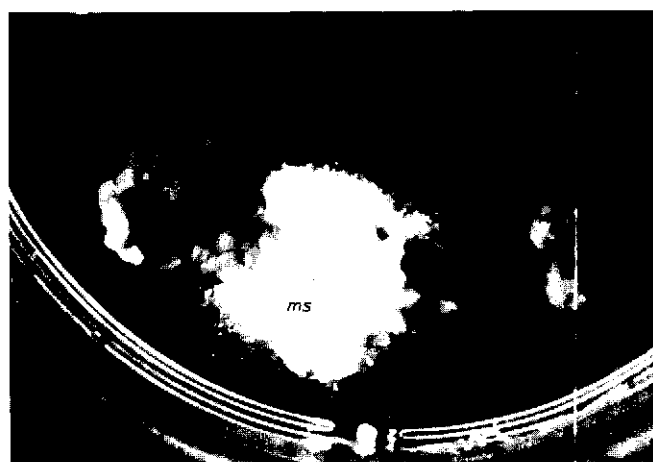


Fig. 2 : Prolifération du mycélium saprophyte (ms) d'*Ustilago scitaminea* issu d'une culture associée, sur le milieu nutritif et le cal (C).

Discussion

Nous avons détecté *U. scitaminea* dans le phloème des jeunes feuilles non déployées de plants de canne à sucre atteints par le charbon. Le champignon n'avait été observé jusqu'à présent que dans les tiges (HIRSHHORN, 1950).

Des plants indemnes ayant été obtenus à partir de sections foliaires infectées, on peut en conclure que le parasite est incapable de coloniser les primordia des tiges des nouvelles plantes ou bien que les primordia dérivent de cellules résistantes. La première hypothèse est en accord avec les résultats concernant le virus de la mosaïque de la canne à sucre (SCMV) : DEAN (1982) régénère une majorité de plants non virosés à partir de plantes malades. La deuxième hypothèse est confortée par l'obtention, à partir des plantes saines, de somaclones plus résistants aux maladies que les variétés d'origine : helminthosporiose (HEINZ *et al.*, 1977 ; LARKIN et SCOWCROFT, 1983), maladie de Fidji (KRISHNAMURTHI et TLASKAL, 1974), charbon (LIU, 1981).

L'utilisation des explants foliaires de cannes à sucre infectées par *U. scitaminea* permet la culture simultanée des deux protagonistes, alors que l'inoculation directe de cals entraîne immédiatement un développement saprophyte du champignon (résultats non publiés). En effet, contrairement à la culture d'autres parasites biotrophes, tels la plupart des champignons responsables des rouilles, celle d'*U. scitaminea* sur milieux synthétiques est possible. De ce fait, il est difficile de le cultiver strictement inféodé aux tissus de canne à sucre *in vitro*. Cependant, les cultures obtenues peuvent être utilisées durant les quelques mois de la phase d'association pour des études sur la physiologie du charbon de la canne à sucre (PEROS et CHAGVARDIEFF, 1983).

Reçu le 12 avril 1984.
Accepté le 2 juillet 1984.

Références bibliographiques

- BATCHO M., DUBOIS J., 1976. Étude de quelques effets de l'*Ustilago violacea* sur la croissance de colonies tissulaires et de suspensions cellulaires de *Sileriba*. Bull. Soc. Bot. Fr., (28-29) : 51-59.
- CHAGVARDIEFF P., BONNEL E., DEMARLY Y., 1981. La culture *in vitro* de tissus somatiques de canne à sucre (*Saccharum* sp.). L'Agron. Trop., 36 (3) : 266-278.
- CHEN W.H., LIU M.C., CHAO C.Y., 1979. The growth of sugarcane downy mildew fungus in tissue culture. Can. J. Bot., 57 : 528-533.
- DEAN J.L., 1982. Failure of sugarcane mosaic virus to survive in cultured sugarcane tissue. Plant Disease, 66 : 1060-1061.
- HEINZ D.J., MEE G.W.P., 1969. Plant differentiation from callus tissue of *Saccharum* species. Crop Sci., 9, 346-348.
- HEINZ D.J., KRISHNAMURTHI M., NICKELL L.G., MARETZKI A., 1977. Cell, tissue and organ culture in sugarcane improvement. In : Applied and fundamental aspects of plant cell, tissue and organ culture, J. REINERT and Y.P.S. BAJAJ Edit., Berlin, Springer Verlag, p. 3-17.
- HELGESON J.P., 1983. The study of host-pathogen interactions *in vitro* (abstract). In : Vth Congress of plant pathology, Melbourne, Australie, p. 11.
- HIRSHHORN E., 1950. Caracteres del ciclo evolutivo del carbon de la caña de azúcar. Rev. Investigac. Agric., III (4) : 335-344.
- INGRAM D.S., 1973. Growth of plant parasites in tissue culture. In : Plant tissue and cell culture, H.E. STREET Edit., Berkeley and Los Angeles, Univ. California Press, p. 392-421.
- JACOBI W.R., 1982. Inhibition of *Cronartium fusiforme* by Loblolly Pine callus. Phytopathology, 72 : 143-146.
- KRISHNAMURTHI M., TLASKAL J., 1974. Fidji disease resistant *Saccharum officinarum* var. Pindar subclones from tissue cultures. In : Proc. ISSCT, 15 : 130-137.
- LARKIN P.J., SCOWCROFT W.R., 1983. Somaclonal variation and eyespot toxin tolerance in sugarcane. Plant Cell Tissue Organ Cult., 2 : 111-121.
- LIU M.C., 1981. *In vitro* methods applied to sugarcane improvement. In : Plant tissue culture. Methods and application in agriculture, T.A. THORPE Edit., London, Academic Press, p. 299-323.
- MAC LEAN D.J., 1982. Axenic culture and metabolism of rust fungi. In : The rust fungi, K.J. SCOTT and A.L.K. CHAKRABORTY Edit., London, Academic Press, p. 37-120.
- MOREL G., 1948. Recherches sur la culture associée de parasites obligatoires et de tissus végétaux. Ann. Epiphyt., 14 : 1-112.
- NICKELL L.G., 1964. Tissue and cell cultures of sugarcane, another research tool. Hawaiian Planters' Record, 57 : 223-229.
- PEROS J.-P., BAUDIN P., 1983. Étude de la variabilité d'*Ustilago scitaminea* Syd., agent du charbon de la canne à sucre. L'Agron. Trop., 38 (3) : 234-240.
- PEROS J.-P., CHAGVARDIEFF P., 1983. Mise en évidence *in vitro* d'effets toxiques entre *Ustilago scitaminea* Syd. et des cals de canne à sucre ; influence de deux facteurs de croissance sur les phénomènes observés. Agronomie, 3 (7) : 629-634.
- REDDY M.N., WILLIAMS P.H., 1970. Cytokinin activity in *Plasmiodiophora brassicae* infected cabbage tissue culture. Phytopathology, 60 : 1463-1465.
- VASIL V.I., VASIL K., ZUBERRER D.A., HUBBEL D.H., 1979. The biology of *Azospirillum* sugarcane association. I - Establishment of the association. Z. Pflanzenphysiol., 95 : 141-147.

Summary

PEROS J.-P., CHAGVARDIEFF P. - *In vitro* culture of leaf tissue from sugar cane infected with *Ustilago scitaminea* Syd. The mycelium of *U. scitaminea* was observed in the conducting vessels of the leaf bundle of smut infected sugar cane plantlets. The plants obtained from infected foliar explants were found to be healthy. The pathogen and explants or calluses were simultaneously cultured *in vitro* for varying lengths of time.

Key words : *Saccharum* sp., sugar cane, *Ustilago scitaminea*, smut, *in vitro* culture.

Resumen

PEROS J.-P., CHAGVARDIEFF P. - Cultivo *in vitro* de los tejidos foliares de caña de azúcar infectada por *Ustilago scitaminea* Syd.

Se ha observado el micelio de *U. scitaminea* en los vasos conductores del haz foliar de plantas jóvenes atacadas por el carbón. Las plantas obtenidas a partir de explantaciones foliares infectadas han resultado sanas. Se han establecido cultivos *in vitro* que asocian, durante un período de tiempo variable, el parásito y las explantaciones sobre los callos.

Palabras-clave : *Saccharum* sp., caña de azúcar, *Ustilago scitaminea*, carbón, cultivo *in vitro*.

Quarantaine de canne à sucre à Montpellier, France

P. BAUDIN (1)

RÉSUMÉ — Un service de quarantaine de canne à sucre à l'IRAT-GERDAT tend à répondre aux demandes de fourniture de matériel végétal garanti sur le plan phytosanitaire, tant pour la production que pour les stations de création variétale. Les conditions de quarantaine sont décrites, en particulier les tests de détermination de maladies et les traitements appliqués. À la suite de la quarantaine, une centaine de variétés sont conservées en collection en serre de quarantaine. Les variétés qui ne peuvent plus être gardées faute de place sont maintenues en vitrothèque à la division d'amélioration des plantes de l'IRAT. Les variétés peuvent être expédiées selon les réglementations locales en vigueur et contre une participation aux frais de quarantaine. Une quinzaine de destinataires d'Afrique et d'Amérique centrale utilisent le service de quarantaine.

Mots clés : *Saccharum* sp., canne à sucre, quarantaine, diagnostics sérologiques, variétés.

L'IRAT a organisé un service de quarantaine de canne à sucre en France, il y a une vingtaine d'années, pour divers objectifs. La création de nouveaux complexes sucriers en Afrique a en effet demandé la multiplication de matériel végétal sain. Dans de nombreux cas, les têtes de clones ont été contrôlées sur le plan phytosanitaire en France par le service central de phytopathologie de l'IRAT, d'abord à Nogent-sur-Marne jusqu'en 1978, puis à Montpellier. De nombreux pays d'Afrique possèdent maintenant des collections importantes de variétés de canne à sucre. Mais chaque année de nouvelles introductions sont rendues nécessaires pour l'amélioration des conditions de culture autant que des rendements, pour la recherche des variétés résistantes au parasitisme qui s'est développé sur ces nouveaux complexes malgré les précautions prises à l'introduction du matériel végétal. Si quelques complexes (Sénégal, Cameroun) disposent de leur propre installation de quarantaine pour des introductions provenant de certaines origines, d'autres s'en remettent entièrement à l'IRAT pour obtenir de nouvelles variétés.

Même disposant d'installation de quarantaine, certains instituts de recherche ou complexes sucriers peuvent souhaiter utiliser les services d'une quarantaine intermédiaire. C'est en particulier le cas d'instituts de certaines

îles où la canne à sucre est la ou l'une des principales productions. Pour des raisons d'isolement, les spécialistes souhaitent introduire par le canal d'une quarantaine intermédiaire le matériel végétal provenant de certaines parties du monde affectées par des maladies particulièrement redoutables comme la maladie de Fidji ou le mildiou. Une quarantaine en France s'est donc révélée intéressante pour certaines Antilles (Guadeloupe, Martinique, Barbade) ou les Mascareignes (Réunion, Maurice).

Les programmes de création variétale se sont intensifiés, en particulier ceux menés par l'IRAT, qui a besoin d'un grand nombre d'échanges entre ses deux stations principales (Guadeloupe et Réunion), et entre ces stations et l'Afrique. De plus, l'un des laboratoires de culture *in vitro* de l'IRAT qui travaillent pour les zones tropicales, se trouve à Montpellier.

Certaines stations créatrices de variétés sont infectées par des maladies dont la présence peut être considérée comme un avantage pour la sélection mais gênante pour la qualité de la multiplication du matériel destiné à l'exportation. Une quarantaine, avant distribution à l'étranger de ce matériel, peut être jugée utile. Ainsi, les variétés créées au CERF-Réunion sont contrôlées en quarantaine à Montpellier où les maladies de l'île de la Réunion sont bien connues, alors qu'un pathologiste d'un autre pays risque de mal les identifier. Les pays qui souhaitent recevoir des variétés « R » sont invités à s'adresser à la quarantaine de Montpellier.

Le service de quarantaine de l'IRAT répond à ces objectifs :

- quarantaine de variétés pour les pays ou complexes sucriers qui n'en ont pas ;
- quarantaine intermédiaire pour certains transferts dangereux sur le plan sanitaire ;
- quarantaine à la sortie de stations de création variétale pour assurer des têtes de clone présentant le plus de garanties possible.

Matériel et méthodes

Le service de quarantaine de canne à sucre de l'IRAT, d'abord installé à Nogent-sur-Marne, a été transféré en 1978 sur le centre GERDAT de Montpellier. Deux serres indépendantes, de 100 m² chacune (fig. 1), permet-

(1) IRAT-GERDAT, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex, France. Avec la collaboration de J. ROLAND.

Service de quarantaine de canne à sucre à l'IRAT-GERDAT à Montpellier, France.



1. Vue générale des serres. À droite serre pour le 1^{er} cycle de quarantaine, à gauche pour le 2^e cycle, en arrière cheminées de la chaufferie et de l'incinérateur.



2. Serre réservée au 2^e cycle de quarantaine, cannes à sucre âgées de neuf mois (fin de quarantaine).

tent les quarantaines, l'une étant affectée au premier cycle, l'autre au deuxième cycle (fig. 2). Ces serres sont placées dans le centre de recherche du GERDAT de Montpellier, à proximité immédiate des services de défense des cultures, des laboratoires d'analyses foliaires et de culture *in vitro*. Un incinérateur pour brûler les déchets, des installations de service complètent l'ensemble.

Conditions climatiques

Les cannes à sucre sont cultivées en serre vitrée, avec refroidissement par *cooling system* et chauffage par aérothermes en hauteur et tuyaux au ras du sol.



3. Vue intérieure de la serre réservée au 2^e cycle de quarantaine. Cannes à sucre âgées de neuf mois en pots de 12 l, arrosées par système automatique de goutte-à-goutte.



4. Vue intérieure de la serre réservée au 2^e cycle de quarantaine. Cannes à sucre âgées de quatre mois en pots de 9 l, arrosées par système automatique de goutte-à-goutte.

La température est contrôlée par thermostat. L'hiver, à jour court et faible luminosité, la température oscille la nuit entre 14 et 16 °C, le jour entre 20 et 22 °C par temps

couvert, entre 20 et 32 °C par temps ensoleillé. L'été, à jour long et à forte luminosité, le minimum nocturne est de l'ordre de 15 à 16 °C, et les températures diurnes oscillent entre 31 et 36 °C. En intersaison, chauffage et *cooling system* fonctionnent, l'un de nuit, l'autre de jour, la température de nuit variant entre 16 et 18 °C, celle de jour entre 31 et 36 °C.

L'humidité relative varie de 100 % la nuit à 45 % le jour en été, et de 100 % la nuit à 60 % le jour en hiver.

La luminosité est élevée pendant la période de pleine croissance des cannes : de mars à octobre, on obtient près de 1 900 heures d'insolation. Par contre, l'hiver, du 1^{er} novembre au 28 février, on ne dispose que de 500 heures environ d'insolation de moindre intensité (soit quatre fois moins de lumière). Un éclairage complémentaire peut être assuré par des lampes Phyto Claude de 400 W si nécessaire (jeunes cannes).

Croissance et nutrition des cannes

À l'arrivée, les boutures de canne à sucre sont mises à germer en étuve à 30 °C, soit dans du papier humidifié, soit dans des terrines de semis de 40 × 30 × 7 cm contenant du substrat. Après germination et pousse de quelques centimètres, les jeunes plants sont repiqués en

pots de 1,25 litre, puis de 4, 6, 8 et 12 litres, au fur et à mesure du développement et de la croissance des cannes. Dans les pots de 12 l, le plant comporte alors trois ou quatre tiges de 3 m de haut, de 3 à 4 cm de diamètre, avec environ seize nœuds.

Terrines et pots contiennent un substrat à base de pouzzolane (2/3 V), de tourbe non enrichie (1/3 V) et du silicate de calcium (1 g par litre).

Un système automatisé de distribution de solution nutritive par goutte-à-goutte assure la nutrition des cannes. La solution est calculée selon les techniques de COIC et LESANT (1975), de façon à distribuer les éléments figurés au tableau I à partir de l'eau de la ville de Montpellier. Les variations de la composition chimique de cette eau sont assez réduites et la solution suivante convient généralement. Juste avant emploi, on mélange deux solutions dans le réservoir qui alimente le système de distribution :

- solution 1 : 270 ml d'acide nitrique HNO₃
145 g de phosphate d'ammoniaque (engrais 16,35)
125 g de sulfate de magnésium MgSO₄
100 ml de solution d'oligoéléments (cf. tableau I)
eau qsp 5 l ;

Tableau I Solution nutritive utilisée en serre et établie selon la méthode de Coic et Lesaint (1975) par le service de physiologie végétale de l'IRCT-GERDAT.

Macro-éléments Ion	Teneur en milliéquivalents/litre		
	Eau du robinet	Éléments ajoutés en solution	Solution finale
K ⁺	0,03	5,3	5,3
Ca ⁺⁺	5,1	1,2	6,3
Mg ⁺⁺	0,7	1	1,7
NH ₄ ⁺	—	2,2	2,2
NO ₃ ⁻	traces	10,1	10,1
PO ₄ H ⁻⁻⁻	—	2,2	2,2
SO ₄ ⁻⁻⁻	0,5	1	1,5
NB : La solution est préparée par addition à l'eau du robinet de deux solutions-mères :			
1 – Acide nitrique + phosphate biammonique + sulfate de magnésie ;			
2 – Nitrate de potasse + nitrate de calcium cristallisé.			
Fer : Masquolate de fer : 6 ml par litre de solution finale.			
NB : Le masquolate est ajouté à la solution-mère précédente (2).			
Oligo-éléments	Teneur dans la solution finale (mg/l)		
H ₃ BO ₃	1,5		
Mn SO ₄ , H ₂ O	2		
Zn SO ₄ , 7H ₂ O	1		
Cu SO ₄ , 5H ₂ O	0,25		
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ , 1,5H ₂ O	0,05		
NB : Les oligo-éléments sont ajoutés à la solution-mère (1).			

- solution 2 : 590 g de nitrate de potassium KNO_3
136 g de nitrate de calcium cristallisé
 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
30 ml de masquolate de fer à pH 5,5 - 6.

Le pH final doit être de 6 à 6,5.

Tests phytosanitaires

En général, les cannes arrivent en bon état sanitaire. Elles sont inspectées à leur arrivée. En cas de pourriture, elles sont mises à germer séparément des autres.

Les cannes sont quotidiennement inspectées en serre. Certains agents infectieux donnent des symptômes bien visibles. Mais d'autres peuvent se maintenir à l'état latent dans les cannes. Il faut donc les mettre en évidence par des tests spécifiques.

Test mosaïque

À partir d'avril 1981, la mise en évidence de la mosaïque a été systématiquement réalisée sur toutes les cannes en quarantaine au moyen du test ELISA (Enzyme Linked Immuno Sorbent Assay). Ce test utilisant une réaction sérologique est extrêmement sensible (quelques μg de virus) et permet de déceler la présence d'antigène viral dans des plants infectés qui ne présentent aucun symptôme (DEVERGNE *et al.*, 1982). Aucune des cannes testées n'a donné de résultat positif en ELISA.

Test échaudure des feuilles

La présence de *Xanthomonas albilineans*, agent de l'échaudure, est détecté par le test sérologique en immunofluorescence, selon la méthode de LEOVILLE et COLENO (1976). Ce test permet d'observer la bactérie se trouvant à l'état latent dans des cannes ne montrant aucun symptôme. De plus, les cannes sont traitées contre l'échaudure par thermothérapie entre le premier et le deuxième cycle.

Test rabougrissement des repousses (RSD)

Le rabougrissement des repousses, dû à une corynébactérie, *Clavibacter xylii*, ne se manifeste pas par des symptômes externes. Sur certaines variétés, on peut observer par coupe longitudinale des tiges de repousses, des points rouges à bruns au niveau des nœuds. Mais ces symptômes ne sont pas caractéristiques. Un diagnostic sérologique peut être appliqué en fin de premier cycle sur les bases des tiges, selon la méthode de HARRIS et GILLASPIE (1978) à partir de sérum anti-RSD préparé à Montpellier (BAUDIN et CHATENET, 1983). Par ailleurs, les cannes sont traitées par thermothérapie en fin de premier cycle.

Test charbon

Avant la sortie du fouet caractéristique, les cannes infectées par le charbon peuvent prendre un aspect particulier. L'infection peut être contrôlée par la technique de DUARTE et TOKESHI (1977) (PEROS et BAUDIN, 1983).

Traitements

En général, les cannes sont traitées à l'arrivée au bénomyl, et parfois avec un insecticide.

Le substrat pouzzolane-tourbe est renouvelé à chaque culture ; la pouzzolane est stérilisée à l'autoclave (1 h à 120 °C). Les pots de culture sont désinfectés à l'eau de Javel, le petit matériel (couteaux, sécateurs, etc.) désinfecté à l'alcool à 96°.

En cours de quarantaine, des traitements insecticides hebdomadaires sont exécutés pour empêcher toute multiplication d'insectes dans la serre : dicofol à 2 ml/l contre les acariens et diméthoate à 1,5 ml/l contre les mouches et les pucerons. En cas d'accident phytosanitaire, l'ensemble des serres et des variétés est désinfecté avec des fongicides (triadiméfon et bénomyl).

Entre le premier et le deuxième cycle, les cannes sont traitées par thermothérapie (immersion de 44 h dans de l'eau à 25 °C, suivie de 3 h à 50 °C). Selon STEINDL (1971), ce traitement réduit beaucoup les infections dues au rabougrissement des repousses, à l'échaudure des feuilles, aux stries chlorotiques et au charbon.

Juste avant libération, les boutures sont traitées par thermothérapie (1 h à 50 °C), suivie d'une immersion dans un fongicide (triadiméfon à 50 g pour 10 l).

Conditions d'expédition

Réglementation phytosanitaire

Chaque variété est expédiée avec un certificat d'origine des boutures ou certificat de quarantaine, et un certificat phytosanitaire des services français de la Protection des Végétaux. Ces documents sont établis après réception du permis d'introduction établi par les services officiels de défense des cultures du pays demandeur.

Frais de quarantaine

Certains échanges de variétés entre instituts de recherche font l'objet d'accords particuliers. Des contrats ou une participation aux frais de quarantaine sont demandés aux destinataires, en particulier aux sociétés privées. Ils sont établis forfaitairement et destinés aux frais de fonctionnement (dépenses en énergie et frais d'expédition par avion notamment), l'IRAT ayant en charge tous les salaires et sa propre part de fonctionnement. En 1984, la base du calcul des frais s'élève à 500 F par variété et par destinataire.

Déroutement de la quarantaine

Vingt à trente variétés sont introduites chaque année en serre de quarantaine.

Les variétés à introduire ou à conserver en quarantaine sont choisies par les différents utilisateurs du service. Une

réunion annuelle des sélectionneurs et agronomes de l'IRAT, des sélectionneurs du CERF-Réunion et des centres techniques de canne à sucre des Antilles françaises et des représentants de sociétés sucrières permet d'étudier le programme des années à venir et de définir les priorités. Mais le service de quarantaine peut être contacté à tout moment.

Certaines variétés peuvent être obtenues sans limitation de distribution. Elles peuvent être fournies à l'ensemble des utilisateurs. D'autres variétés ne sont qu'échangées entre stations créatrices ou sont vendues. Dans ce cas, elles sont strictement réservées aux échanges prévus et font l'objet de contrats particuliers.

Les variétés sont introduites toute l'année selon les disponibilités des stations de sélection. Selon l'origine des variétés et les accidents en cours de quarantaine, chaque variété est observée pendant deux cultures en vierge, la seconde étant plantée avec des boutures traitées par thermothérapie longue, ou bien pendant deux vierges et une repousse.

Une serre reçoit les variétés en premier cycle de quarantaine, durant lequel prennent place les tests phytosanitaires. La deuxième serre est destinée au deuxième cycle des variétés en quarantaine et aux variétés conservées en collection de quarantaine. Chaque cycle dure environ de huit à douze mois, selon les dates d'arrivée pour le premier cycle et de départ pour le second.

En fin de deuxième cycle de quarantaine, les variétés présentant les garanties nécessaires peuvent être expé-

diées. La croissance des cannes étant particulièrement active entre mai et octobre, la distribution est faite à partir de fin novembre jusqu'à mi-mars. Les expéditions sont faites par avion à partir de boutures à un œil ou trois yeux, traitées par thermothérapie d'une heure à 50 °C et désinfectées à la demande.

Après distribution des boutures, les souches sont détruites, mais une bouture est plantée pour la collection maintenue en serre de quarantaine.

La liste des variétés libérées de quarantaine en 1983-84 est donnée par le tableau II.

Maladies apparues en serre

De nombreux cycles de quarantaine se passent sans problème. Mais plusieurs maladies ont été arrêtées en serre. L'échaudure des feuilles (*Xanthomonas albilineans*) a été observée en 1976 sur plusieurs variétés de même origine, et en 1983 sur deux variétés d'origines très différentes. Le charbon a été observé en 1978 et en 1983 sur des variétés de même origine.

Collection de quarantaine et vitrothèque

Une souche par variété libérée est maintenue au moins un an en quarantaine pour assurer des expéditions com-

Tableau II Collection de quarantaine 1984-85.

B 34-104	Co 842	CP 68-1067	NA 56-79	R 526
B 37-172	Co 997	CRA 60-26	NA 63-90	R 540
B 43-62	Co 1001	D 172	N 11	R 565
B 47-258	Co 1007	EAK 70-76	N 12	R 567
B 49-119	Co 1148	EAK 70-153	N 14	R 568
Bo 47	Co 1157	Eros	N 52/219	R 570
CB 40-13	Co 1158	F 146	N 55/805	RP 80/68
CB 40-69	Co 1177	F 148	NCo 310	RP 148/70
CB 45-3	Co 1202	F 151	NCo 334	RB 70-96
CB 45-155	Co 1208	F 156	NCo 376	RB 70-141
CB 46-47	Co 1223	H 32/8560	PHIL 56/226	RB 70-194
CB 47-15	Co 1230	H 37/1933	PHIL 58/260	RB 70-5375
CB 47-89	Co 1287	IAC 51/205	PHIL 62/120	RD 74-10
CB 47-355	Co 62-175	J 59-3	PHIL 65/53	S 17
CB 49-62	Co 64-15	Kwt 57-423	PHIL 65/59	SIP 58-136
CB 53-98	Co 68-06	L 62-96	PHIL 66/07	SIP 58-138
CB 56-126	CoS 443	L 65-69	POJ 28/78	SP 70-1005
Co 421	CoS 510	M 147/44	PR 980	SP 70-1006
Co 449	CP 52-43	M 31/45	PR 1016	SP 70-1143
Co 462	CP 56-59	M 555/60	PR 61-632	SP 70-1284
Co 527	CP 61-37	MEX 54/215	Ragnar	SP 70-1423
Co 740	CP 63-588	MEX 57-473	R 397	SP 70-3225
Co 775	CP 65-357	My 5465	R 469	Lousier
Co 785	CP 68-1026	NA 56-62	R 472	Uba Naguin

Tableau III Variétés à distribution libre libérables entre novembre 1984 et fin mars 1985.

B 46/364 CB 36/24 CB 41/76 CB 49/260 Co 331 Co 419	CP 52/48 CP 57/603 CP 66/315 CP 66/376 CP 67/413	CP 68/1022 CP 70/1133 IAC 48/65 IAC 52/150 IAC 58/480	IAC 64/257 MOL 45/03 SP 70/1078 SP 70/1478 Trojan	US 64/25/2 Caiana Crystalina Demarara Kassoer
Seedlings et vitroplants IRAT - Guadeloupe provisoire : 30 numéros IRAT - Montpellier : 12 numéros				

Tableau IV Variétés de canne à sucre conservées en vitrothèque à la division d'amélioration des plantes de l'IRAT-GERDAT à Montpellier.

B 37/172 CB 47/89 Co 421 Co 785 Co 842 Co 1001 Co 1223 Co 82/175 Co 63/04	Co 64/15 CoS 443 CoS 510 CP 56/59 CP 61/39 CP 65/357 CRA 60/26 D 172 H 37/1933	HJ 57/41 IAC 51/205 N 52/219 N 55/805 NCo 310 NCo 376 R 472 R 540 R 566	R 567 R 568 R 569 R 570 R 70/5375 S 17 SES 14 SES 231 SIP 58/136	SP 70/1005 SP 70/1284 UCW 54/65 US 56/15/8 US 57/11/2 US 64/25/7 Uba Naguin Tabongo
---	--	---	--	--

plémentaires ultérieures. Les variétés les plus récentes, à distribution libre, sont conservées plusieurs années, toujours en vierge. Mais, faute de place, cette collection en quarantaine ne peut dépasser cent vingt variétés. Les autres variétés sont conservées par culture de bourgeons *in vitro* par le service d'amélioration de la canne de l'IRAT, selon une technique un peu modifiée de la méthode de SAUVAIRE et GALZY (1978 et 1981). Si l'une d'elles intéresse un pays demandeur, un délai d'un an est nécessaire pour obtenir des boutures. Par contre, une culture *in vitro* peut être obtenue dans les trois mois (temps de micropropagation) si on peut assurer le sevrage de la variété sur place.

Les variétés en collection de quarantaine en 1984 sont données tableau III, les variétés en vitrothèque, tableau IV.

Conclusion

Créé pour des besoins très spécifiques de fourniture de têtes de clones saines pour des essais variétaux en Afrique, le service de quarantaine de l'IRAT s'est développé tant par les techniques appliquées que par les objectifs. Du point de vue technique, on a cherché à substituer à la simple observation des maladies et à l'élimination du matériel malade un rôle de diagnostic précoce par les techniques de sérologie et de guérison du matériel végétal

(traitements et liaisons avec le service de culture *in vitro*). Sur le plan général, le service voit son rôle de quarantaine intermédiaire se développer entre instituts de création variétale ou même entre stations de quarantaine. C'est en particulier le cas des quarantaines pour le compte du CERF-Réunion, de West Indies Central Sugar Breeding Station (Barbade) ou de USDA-Beltsville. Une quinzaine de pays, essentiellement d'Afrique tropicale, des Antilles et d'Extrême-Orient, utilisent chaque année les services de quarantaine.

Reçu le 16 mai 1984.
Accepté le 29 juin 1984.

Références bibliographiques

- BAUDIN P., CHATENET M., 1983. Présence de la maladie du rabougrissement des repousses en Haute-Volta. *L'Agron. Trop.*, 38 (3) : 241-243.
- COIC Y., LESAIN C., 1975. La nutrition minérale et en eau des plantes en horticulture avancée. *Le Doc. Techn. de la SCPA*, n° 23, 22 p.
- DEVERGNE J.-C., BAUDIN P., CHATENET M., CARDIN L., 1982. Utilisation du test ELISA pour la sélection de cannes à sucre résistantes à la multiplication du virus de la mosaïque (SCMV). *L'Agron. Trop.*, 37 (2) : 185-194.
- HARRIS R.W., GILLASPIE A.G., 1978. Immunofluorescent diagnosis of Ratoon Stunting disease. *Plant Dis. Rept.*, 62 : 193-195.

LEOVILLE F., COLENO A., 1976. Détection de *Xanthomonas albilineans* (Ashby) Dowson, agent de l'échaudure de la canne à sucre dans des boutures contaminées. Ann. Phytopathol., 8 : 233-236.

PEROS J.-P., BAUDIN P., 1983. Étude de la variabilité d'*Ustilago scitaminea* Syd., agent du charbon de la canne à sucre. L'Agron. Trop., 38 (3) : 234-240.

SAUVAIRE D., GALZY R., 1978. Multiplication végétative de la canne à sucre (*Saccharum* sp.) par bouturage *in vitro*. C.R. Acad. Sc. Paris, série D, 287 : 467-470.

SAUVAIRE D., GALZY R., 1981. Micro propagation par bouturage *in vitro*. Action d'une auxine et d'une cytokinine. L'Agron. Trop., 36 (1) : 63-69.

STEINDL S.P.J., 1971. The elimination of leaf scald from infected plant material. Proc. ISSCT., 14 : 925-929.

Summary

BAUDIN P. – Sugar cane quarantine at Montpellier, France.

A sugar cane Quarantine Service was established at IRAT-GERDAT to supply healthy plant material both to producers and variety development stations. Quarantine conditions are described, more particularly disease tests and the treatments applied. After the quarantine period, about 100 varieties are maintained as a collection in a Quarantine greenhouse. The varieties which cannot be kept there for lack of room are maintained in a *in vitro* culture collection at the IRAT Plant

Breeding Department. Varieties can be sent according to local regulations and against a contribution to quarantine expenses. About 15 consignees in Africa and Central America use the Quarantine Service.

Key words : *Saccharum* sp., sugar cane, quarantine, serologic diagnosis, varieties.

Resumen

BAUDIN P. – Cuarentena de caña de azúcar en Montpellier, Francia.

Un Servicio de Cuarentena de caña de azúcar en el IRAT-GERDAT tiende a satisfacer los pedidos de suministro de material vegetal garantizado desde el punto de vista fitosanitario, tanto para la producción como para las estaciones de creación de variedades. Se hallan descritas las condiciones de cuarentena, en particular los tests de determinación de enfermedades y los tratamientos aplicados. Después de la cuarentena, un centenar de variedades quedan conservadas en colección en invernadero de cuarentena. Las variedades que no pueden ser conservadas por falta de sitio se guardan en una vitroteca de la División de fitomejoramiento del IRAT. Las variedades pueden ser enviadas con arreglo a las reglamentaciones locales vigentes y a cambio de una participación a los gastos de cuarentena. Unos quince destinatarios de África y de América Central utilizan el Servicio de Cuarentena.

Palabras-clave : *Saccharum* sp., caña de azúcar, cuarentena, diagnosis serológicas, variedades.

Les bio-modèles à géométrie variable appliqués à la surveillance des criquets ravageurs

M. LAUNOIS (1)

RÉSUMÉ — Pour offrir une alternative aux modèles mathématiques appliqués à la biologie, qui sont complexes dans leur formulation mais fragiles sur le plan des hypothèses, une nouvelle famille de modèles de conception radicalement différente est proposée sous le terme générique de bio-modélisation. Un bio-modèle est construit à partir de la quantification des rapports observés entre les variations des types d'environnement et les réponses d'un organisme. Des tables de correspondance à valeurs discrètes sont ainsi établies si l'on dispose au préalable d'un seuil critique de connaissances sur l'objet d'étude dans ses conditions naturelles d'existence et de la possibilité de transcrire les faits rapportés en notations qualitatives et quantitatives en vue d'une gestion manuelle ou automatique. Trois exemples de complexité croissante sont fournis à l'appui de cette nouvelle formule de modélisation écologique : le premier concerne le Criquet migrateur à Madagascar et en Afrique, le second le Criquet sénégalais au Sahel, et le troisième le Criquet pèlerin du Sénégal au Pakistan. Des perspectives d'application des bio-modèles à d'autres espèces végétales ou animales, utiles ou nuisibles aux activités des hommes, sont offertes.

Mots clés : Modélisation, bio-modèle, bio-schème, acridiens, ravageurs migrants, Criquet migrateur, Criquet sénégalais, Criquet pèlerin.

Un modèle est une image simplifiée, mais ressemblante, de la réalité. Il sert à décrire, expliciter, prévoir les événements. Hors des sentiers battus par les modèles mathématiques qui, s'ils ont enregistré de grands succès en sciences exactes et en milieu contrôlé, marquent le pas dans les sciences biologiques, il existe une autre famille de modèles plus pragmatiques : les bio-modèles, d'essence plus praticienne que fondamentaliste et voués à un grand avenir pratique.

L'étude de la modélisation bio-écologique de trois criquets grands ravageurs de cultures vivrières va nous éclairer sur ce sujet.

Des bio-schèmes aux bio-modèles

En rapprochant deux racines, « bio » qui signifie « vie » et « schème », « représentation simplifiée de la réalité selon le biais de nos perceptions limitées », on se

place d'emblée dans une orbite de modestie réaliste sur le thème des modélisations. Les bio-schèmes sont à l'organisme ce que la caricature est à la photographie, une interprétation subjective mais ressemblante des principales caractéristiques du sujet.

Dans cet esprit, sont nés l'« éco-schème » et l'« étho-schème » (9) désignant, pour le premier la description des principales composantes des rapports entre les êtres vivants et le milieu, pour le second les unités de comportement résumant le mieux leur type d'activité.

Si les bio-schèmes servent à la construction de bio-modèles à géométrie variable, c'est qu'ils sont, de par leur conception même, modulables en fonction du sujet. Les principes généraux en sont très simples (15) (17) (6) :

- identifier les facteurs discriminants, abiotiques ou biotiques, pour l'espèce, dans les conditions naturelles de son habitat ;
- classer l'importance relative de ces facteurs pour l'espèce ;
- assembler ces facteurs en combinaisons de conditions écologiquement significatives ; dans la plupart des cas, on crée ainsi des classes de types d'environnement ;
- établir les types de réponse que peut présenter l'organisme mis en présence de chaque type d'environnement pendant un temps déterminé, et ceci en fonction des états biologiques représentés (potentialités de réponses spécifiques) en utilisant selon les phénomènes décrits des notions qualitatives ou quantitatives.

Dans cette perspective, l'ambition du modélisateur ne peut être satisfaite que s'il possède une connaissance approfondie (même si elle reste parfois intuitive) de l'organisme en cause. Chaque case du tableau de correspondance « type d'environnement - réponse de l'environné » ne peut être remplie que par analogie à des situations observées ou par interpolation déductive. La qualité des informations dont se nourrit le bio-modèle est à la fois source de difficultés et garantie de conformité à la réalité. Entreprendre une modélisation de ce type suppose donc une connaissance préliminaire très complète du sujet à modéliser et de son environnement (5) sans pour autant nécessiter des hypothèses sur les lois mathématiques qui pourront éventuellement rendre compte de ses principales réponses.

(1) GERDAT-PRIFAS, Acridologie et écologie opérationnelle, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex, France.

Trois études de cas

Le Criquet migrateur, de Madagascar à l'Afrique

Dans le cadre du projet PNUD-FAO MAG 70/523 de recherches bio-écologiques sur le Criquet migrateur, *Locusta migratoria*, à Madagascar, il a été découvert entre 1970 et 1973 que l'optimum écologique de cet acridien pouvait se définir en termes simples, au moins sur un pas de temps mensuel. Il suffit de considérer les paramètres suivants :

- absence d'arrêt de développement de type diapause en saison sèche ;
- espèce se nourrissant exclusivement de graminées (3) (22) ;
- optimum thermique pratiquement toujours réalisé en saison des pluies ;
- forte dépendance du facteur hydrique dont l'expression la plus simple est la pluviométrie (2) (14).

En poussant la simplification à l'extrême, on peut dire que les zones colonisables par le Criquet migrateur (formations végétales herbeuses (3)) sont favorables à l'acridien si la pluviosité mensuelle est comprise entre 50 et 100 mm d'eau sur sols argilo-sableux. Sur sols sableux, la limite supérieure est repoussée à 150 mm (2) (14). Cette gamme pluviométrique ne se produisant pratiquement qu'en saison chaude et dans le sud-ouest de l'île, le Criquet migrateur y trouve, plus probablement qu'ailleurs, les conditions écologiques propices à sa multiplication. Comme, bien évidemment, le régime des pluies change d'un mois au suivant, la stratégie déployée par l'insecte consiste à suivre le plus longtemps possible cette gamme d'humidité particulière (12) (14) (15) (28), ce qui est possible quatre à cinq mois de l'année ; le reste du temps, la mortalité est supérieure à la natalité par suite des conditions adverses du milieu (12). Cette dépendance aux pluies conduit le criquet à faire des déplacements à longue distance, de l'intérieur des terres à la côte en début de saison des pluies, et en sens inverse en début de saison sèche (15) (28).

Ce premier bio-modèle est donc très simple : il se ramène à un seul facteur, dont la réalisation entraîne implicitement ou explicitement la satisfaction d'autres conditions nécessaires au développement de l'acridien. À l'extrême, on peut dire qu'il suffit de constater le maintien de l'optimum pluviométrique mensuel deux à trois mois sur une même aire pour craindre des pullulations suivies de grégarisation (2) (13) (15).

Une fois validée dans de nombreuses situations, passées ou contemporaines, ce modèle a servi à réorganiser la surveillance anti-acridienne à Madagascar (13) ; il a donné satisfaction tant que les moyens du service ont été maintenus (32) (6).

Ce bio-modèle de première génération a été ensuite appliqué sans aménagement sur le continent africain, sur situation théorique en Afrique australe, et avec aménagements sur situations réelles au Mali (14) et dans le bassin du lac Tchad (27) (4).

L'optimum pluviométrique a été modulé en optimum hydrique pour tenir compte des phénomènes de décrue très importants à considérer dans ces zones (15). Le bio-modèle a inspiré des propositions de surveillance sur la base de quatre cartes mensuelles superposées (14) (4) :

- carte des formations végétales,
- carte des zones inondées,
- carte des lignes isohyètes,
- carte de disponibilité des acridiens,

et a pu rendre compte de situations vécues en 1974 comme en 1979 (27) (4).

Une nouvelle adaptation du bio-modèle aux conditions de culture de céréales dans le désert libyen (optimum hydrique réalisé par les aspersions et non par les pluies, qui sont exceptionnelles) a permis d'expliquer la dynamique des populations du Criquet migrateur dans le projet d'aménagement agricole du Sarir.

Le Criquet sénégalais, du Sénégal au Tchad

Lors d'un projet GERDAT-PRIFAS de recherches bio-écologiques sur les sauteriaux, dont le Criquet sénégalais, *Oedaleus senegalensis*, au Niger et en Haute-Volta, de 1975 à 1977, des données générales en quantité suffisante ont été obtenues (17) (29) (30) (31) (23) (7) (24) (25) (8) pour entreprendre une tentative de modélisation en ajoutant tout ce qui pouvait être connu par ailleurs en bio-écologie sur ce criquet.

Le modèle (16) (17) (18) est construit à partir d'une table de correspondance exprimant les réponses de l'insecte à l'état d'œuf, de larve et d'ailé, en présence de types d'environnement conditionnés par :

- la photopériode ;
- la température ;
- le bilan hydrique ;
- l'état de la végétation.

D'emblée, des différences importantes apparaissent avec le cas du Criquet migrateur :

- existence d'une diapause embryonnaire en saison fraîche et sèche, diapause induite par la durée du jour que subissent les parents femelles ;
- expression du bilan hydrique par le rapport de l'évapotranspiration réelle à l'évapotranspiration potentielle (11) ;
- moindre dépendance vis-à-vis des graminées sur le plan alimentaire ;
- exploitation du modèle sur un pas de temps décadaire.

Chaque facteur a été quantifié et les conditions ont été déclarées défavorables, compatibles, favorables ou optimales, en fonction de l'observation de réponses en situations réelles. Les réponses ont été évaluées en indices de vitesse, de développement, de survie pour les trois états biologiques, avec en plus des indices de départ et d'arrivée pour les ailés, gradués de 0 à 5 (0 : le plus mauvais possible ; 5 : le meilleur possible). Une deuxième table de correspondance a été mise au point pour convertir les indices de vitesse de développement en jours.

Le modèle a été mis à l'épreuve en de très nombreuses situations et paraît bien crédible. Il a même pu donner de véritables prévisions dans certaines circonstances, bien qu'il ne soit que semi-quantitatif (17).

En associant d'autres spécialistes, le bio-modèle a été informatisé (1) (19) et il est maintenant possible d'imprimer directement la dynamique de populations la plus probable dans une région considérée en fonction de la disponibilité de l'acridien et des quatre facteurs d'environnement précédemment énumérés.

Son domaine d'application se situe du Sénégal au Tchad, donc dans l'ensemble du Sahel, car il a été construit non sur une aire géographique précise, mais sur les caractéristiques du ravageur et la connaissance de ses adaptations aux aléas météorologiques auxquels il se trouve confronté chaque année.

Des études sont en cours pour parfaire l'automatisation de l'exploitation du modèle en associant le centre AGRHYMET et la participation de l'OMM, de la FAO et du CILSS (Projet de lutte intégrée) dans le but de rendre opérationnel ce modèle prévisionnel au bénéfice des services de protection des cultures des différents pays confrontés à ce fléau.

Le Criquet pèlerin, de l'Afrique au sous-continent indien

Le Criquet pèlerin, *Schistocerca gregaria*, constitue, depuis que l'humanité pratique l'agriculture, l'une des plus grandes menaces qui soit, d'autant qu'en période d'invasion ce criquet peut ravager 20 % des terres émergées de la planète. Encouragée sur le plan méthodologique par le succès des bio-modèles, mais consciente des difficultés nouvelles d'application à ce ravageur très mobile, l'équipe du GERDAT-PRIFAS a associé ses efforts à ceux des experts de la FAO pour tenter la création d'un bio-modèle utilisable sur le plan de la surveillance et de la prévention (10). De nombreuses connaissances disponibles, publiées ou non, scientifiques ou empiriques, ont été drainées vers cet objectif grâce à la collaboration de plusieurs organisations, dont l'OCLALAV, responsable de la lutte contre ce fléau en Afrique de l'Ouest.

Les grandes différences avec les modèles précédents portent sur :

- la création d'emblée de deux sous-unités inter-connectées : une table de correspondance environnement-ravageur pour les criquets en phase solitaire et une autre pour ceux de la phase grégaire (ces deux formes étant régies par des lois différentes), avec des possibilités d'utiliser l'une ou l'autre de ces abaques en fonction de certains critères de décision (essentiellement densité des populations) ;

- l'existence de sous-abaques de référence tendant à rendre le modèle quantitatif permettant de ne plus se contenter de probabilité d'événement (arrivée, départ, ponte, éclosion...) mais de gérer des effectifs :

- .table de vitesse de développement,
- .table de survie,
- .table de taux de départ ;

- la volonté de concevoir le modèle définitif non pour une application locale mais pour l'ensemble de l'aire d'habitat du Criquet pèlerin, d'où une approche des échanges inter-régionaux des populations d'ailés par une régionalisation écologique.

L'investissement des connaissances et de la méthodologie est beaucoup plus lourd, mais, d'ores et déjà, on a su établir pour les criquets en phase solitaire et ceux en phase grégaire les abaques de référence. Plusieurs milliers de cas possibles ont été examinés isolément, et l'expérience de G. POPOV, appuyée d'enquêtes auprès des prospecteurs, a beaucoup enrichi le modèle dès sa genèse.

S'il reste fidèle dans sa construction à la ligne d'approche des bio-modèles :

- description des types d'environnement pouvant être rencontrés par le criquet (216 cas pour chaque table de référence),
- description des réponses de chaque état à chaque type d'environnement,
- pas de temps d'exploitation décadaire du modèle,

il est difficile à gérer manuellement et son informatisation est envisagée dès sa création, avant même que les tests de validation ne soient effectués.

Ces travaux sont en cours et associent sept spécialistes en acridologie, en éco-botanique, en informatique, sans compter les collaborations auxiliaires.

Dans le présent, les entrées du modèle sur l'environnement (température, bilan hydrique, végétation) sont prévues selon les modes d'observation terrestres, mais il est envisagé d'utiliser directement les résultats de la télédétection dès qu'ils seront disponibles sur l'ensemble de l'aire étudiée.

Deux objectifs sont en vue :

- application locale : reconstitution qualitative et quantitative de la dynamique des populations du Criquet pèlerin en une station, un biotope ou une région donnée ;
- application sur l'ensemble de l'aire d'habitat : reconstitution qualitative et quantitative de la dynamique des

populations du Criquet pèlerin sur chaque région de son aire d'habitat en tenant compte des échanges de populations entre régions.

Cette tentative est l'occasion d'une synthèse des connaissances disponibles ayant trait au comportement de l'insecte en conditions naturelles. En considérant l'enjeu du sujet, des perspectives d'utilisation sont déjà possibles par la FAO, l'OCLALAV, le DLCO, le centre AGRHYMET, car une fois informatisé, le modèle devrait être très maniable. Cependant, aussi complet qu'il puisse devenir, ce modèle ne peut fournir que des probabilités et non des certitudes (22), le prospecteur de terrain ayant à charge de vérifier les pronostics et de fournir les informations de base pour recalculer périodiquement le bio-modèle. Son principal intérêt consistera à fournir des indications sur les populations du Criquet pèlerin dans les régions non prospectées (éloignement, situation de conflits armés) dans la mesure où le modèle donnerait satisfaction partout ailleurs, là où ses déductions peuvent être vérifiées en situations réelles d'utilisation (20).

Des réalités aux perspectives

Ces trois exemples montrent à la fois sur quels principes sont construits les bio-modèles et quelles applications on peut en espérer. Leur caractère adaptatif est leur première qualité ; c'est pourquoi, ils sont dits « à géométrie variable », leur configuration changeant selon l'objet d'étude et leurs conditions d'application.

Les bio-modèles ne sont pas des modèles mathématiques adaptés à la bio-écologie des espèces mais des modèles biologiques éventuellement formulés en concepts mathématiques sans que cela soit une condition préliminaire de création. De plus, ils sont alimentés en quasi-totalité à partir d'observations de terrain et se démarquent donc nettement des modèles mathématiques purement hypothétiques (modèles Lotka-Volterra, Nicholson-Bailey, Holling de description des interactions hôte-parasite, proie-prédateur) comme des modèles mathématiques construits à partir de fonctions de fonctions, même si celles-ci sont forgées en rapport avec des données écologiques et éthologiques préalablement quantifiées (composantes du potentiel de multiplication, taux d'immigration ou d'émigration) mais sans référence permanente aux situations bio-écologiques naturelles. Aussi éloignés des systèmes équationnels compliqués que de la gestion des « boîtes noires » choisies arbitrairement, les bio-modèles tirent leur originalité de la prise en compte initiale des facteurs-clés de dynamique des populations, des types d'environnement significatifs pour les organismes et écologiquement réalisables sur l'ensemble de leurs aires d'habitat (y compris en aires limites), et de la connaissance des réponses appropriées de l'espèce sur le terrain.

Les bio-modèles sont donc plus exigeants que les modèles mathématiques sur la qualité et la quantité d'informations préalables dont il faut disposer sur l'environnement et l'organisme environné ; mais à l'usage, ils sont plus fiables, car si toutes les macro-situations que peut

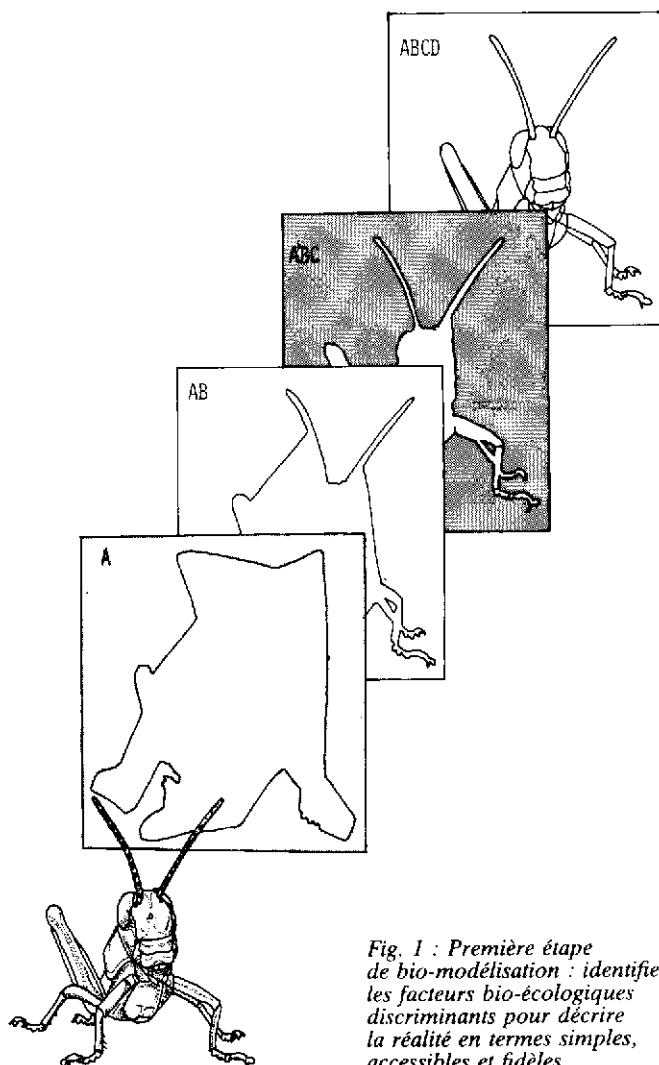


Fig. 1 : Première étape de bio-modélisation : identifier les facteurs bio-écologiques discriminants pour décrire la réalité en termes simples, accessibles et fidèles.

rencontrer un être vivant sont connues, aucun coefficient de correction n'est nécessaire, quelles que soient les zones ou les circonstances d'application. Ils sont fondés sur interpolation de connaissances et non sur extrapolation. Les équations mathématiques peuvent parfois rendre plus maniable un bio-modèle ; elles ne peuvent se substituer à son essence.

Si ces trois exemples servent à la démonstration de l'intérêt des bio-modèles, il est bien évident que le domaine d'application dépasse bien sûr le domaine de l'acridologie pour concerner un très grand nombre d'organismes en rapport avec les activités humaines : prédateurs, parasites, maladies, dans le monde animal (ravageurs des cultures, vecteurs de maladies par exemple) comme dans le monde végétal (mauvaises herbes, plantes cultivées). Il n'est qu'une condition préliminaire à satisfaire : disposer de suffisamment d'observations crédibles pour établir les rapports pouvant exister entre un environnement et un organisme environné, sans recourir à des mises en équation préalables hypothétiques.

Reçu le 12 mars 1984.
Accepté le 11 mai 1984.

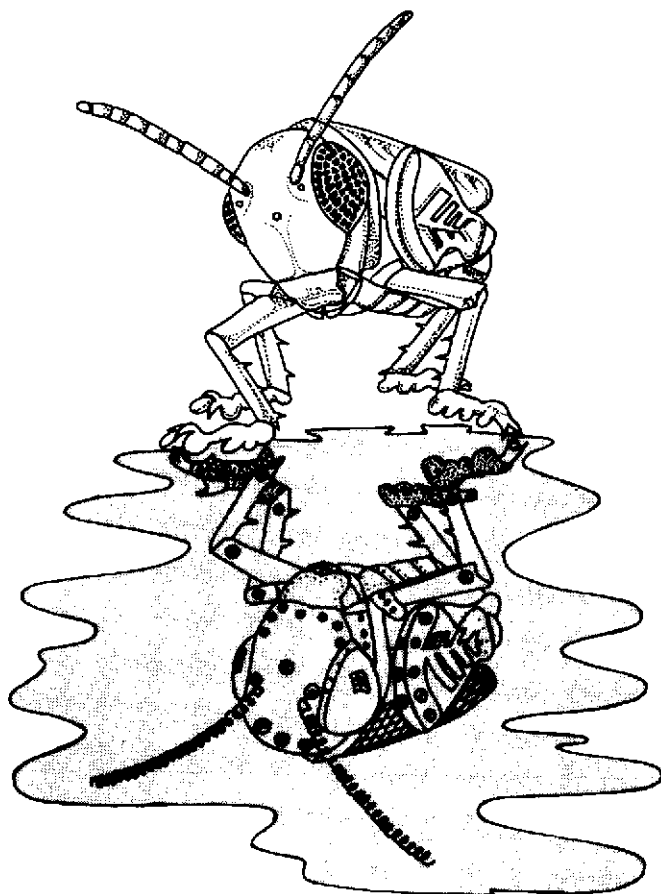


Fig. 2 : Le choix du degré de ressemblance « réalité/modèle » est déterminant pour la mise au point de bio-modèles descriptifs et prévisionnels. La recherche de la précision ne doit jamais prendre le pas sur l'exactitude.

Références bibliographiques

- 1 - ARNAUD M., FOREST F., LAUNOIS M., 1982. Automatisation d'un modèle écologique original propre à *Oedaleus senegalensis* (Krauss, 1877) (Orthoptera : Acrididae). L'Agron. Trop., 37 (2) : 159-171.
- 2 - DARNHOFER T., LAUNOIS M., 1974. L'optimum pluviométrique du Criquet migrateur malgache : principes et applications. Rome, PNUD-FAO, 77 p.
- 3 - DURANTON J.F., 1975. Recherches phytosociologiques dans le sud et le sud-ouest de Madagascar. Paris, ministère de la Coopération, 182 p.
- 4 - DURANTON J.F., 1980. Étude sur le Criquet migrateur africain dans son aire grégarigène du bassin tchadien : contribution à la mise en évidence des régions naturelles de l'aire grégarigène de *Locusta migratoria migratorioides* R. et F. du bassin tchadien. Rome, FAO-PNUD, 78 p.
- 5 - DURANTON J.F., 1981. Description codifiée des sites de relevés acridiens en zone tropicale semi-aride. Informatique et Biosphère, (12) : 5-41.
- 6 - DURANTON J.F., 1983. Rapport de mission consultative à Madagascar (26 juillet - 20 août 1982) et bibliographie du problème acridien à Madagascar. Montpellier, GERDAT-PRIFAS, 49 p., annexes.
- 7 - DURANTON J.F., LECOQ M., 1980. Ecology of locusts and grasshoppers (Orthoptera : Acrididae) in Sudanese West Africa. I - Discriminant factors and ecological requirements of acridian species. Acta Oecologica/Oecologia Generalis, 1980, 1 (2) : 151-164.
- 8 - DURANTON J.F., LAUNOIS M., LAUNOIS-LUONG M.H., LECOQ M., 1981. Recherches sur les ravageurs des cultures vivrières au Sahel : le cas des sauteriaux. L'Agron. Trop., 36 (2) : 178-184.
- 9 - DURANTON J.F., LAUNOIS M., LAUNOIS-LUONG M.H., LECOQ M., 1983. L'écologie opérationnelle : de la pensée de l'action à l'action réfléchie. In : Premier symposium brésilien sur le tropique semi-aride, EMBRAPA-CPATSA, Recife Brésil, 14-29 août 1982 (sous presse).
- 10 - DURANTON J.F., LAUNOIS M., LAUNOIS-LUONG M.H., LECOQ M., POPOV G.B., ROUX M., 1983. Projet de modélisation du Criquet pèlerin, *Schistocerca gregaria*, sur l'ensemble de son aire d'habitat. Rome, Montpellier, FAO-GERDAT-PRIFAS (sous presse).
- 11 - FOREST F., 1974. Bilan hydrique efficace et prospective décennale des besoins en eau des cultures pluviales en zone soudano-sahélienne. Cahier pédagogique et cahiers opérationnels. Paris, ministère de la Coopération, 40 p.
- 12 - LAUNOIS M., 1973. Les pullulations saisonnières du Criquet migrateur à Madagascar. Études biologiques. Rome, PNUD-FAO, 16 p.
- 13 - LAUNOIS M., 1974. Le service d'avertissement anti-acridien à Madagascar. Conception et réalisation. Études biologiques. Rome, PNUD-FAO, 20 p., annexes.
- 14 - LAUNOIS M., 1974. Visite d'expert-conseil au Mali, 21 juillet - 21 août 1974. Études biologiques. Rome, PNUD-FAO, 42 p., annexes.
- 15 - LAUNOIS M., 1974. Influence du facteur pluviométrique sur l'évolution saisonnière du Criquet migrateur *Locusta migratoria capito* (Saussure) en phase solitaire à Madagascar. Paris, ministère de la Coopération, 159 p., annexes.
- 16 - LAUNOIS M., 1977. Ecological modelling and operational simulation in acridology : application to Senegalese grasshopper control. Meeting : Strategy and tactics of control of migrant pests. The Royal Soc., (9) : 11-12.
- 17 - LAUNOIS M., 1978. Modélisation écologique et simulation opérationnelle en acridologie : application à *Oedaleus senegalensis* (Krauss, 1877). Paris, ministère de la Coopération - GERDAT, 214 p.
- 18 - LAUNOIS M., 1979. An ecological model for the study of the grasshopper *Oedaleus senegalensis* in West Africa. Phil. Trans. R. Soc. Lond. B, 287 : 345-355.
- 19 - LAUNOIS M., 1983. Modélisation de *Oedaleus senegalensis* (Krauss), sauteriau ravageur des cultures vivrières du Sahel. Phase pré-opérationnelle. Centre AGRHYMET. Rome, FAO, 37 p. (sous presse).
- 20 - LAUNOIS M., 1984. Des bio-modèles aux Criquets migrants : un nouveau pas dans la prévention des fléaux. Cérès, 98 : 6-7.
- 21 - LAUNOIS M., 1984. Les frontières de la prévision des pullulations des ennemis des cultures. Montpellier, GERDAT-PRIFAS, 10 p.
- 22 - LAUNOIS-LUONG M.H., 1975. L'alimentation du Criquet migrateur *Locusta migratoria capito* (Sauss.) en phase solitaire à Madagascar : régimes et effets. Paris, ministère de la Coopération, 202 p., annexes.

- 23 – LAUNOIS-LUONG M.H., 1979. Étude comparée de l'activité génésique de sept acridiens du Sahel dans des conditions éco-météorologiques semblables. *Ann. Zool. Ecol. Anim.*, 11 (2) : 209-226.
- 24 – LAUNOIS-LUONG M.H., 1980. Étude de la production des œufs d'*Oedaleus senegalensis* (Krauss) au Niger (région de Maradi). *Bull. IFAN, Série A*, 41 (4) : 128-148.
- 25 – LAUNOIS-LUONG M.H., 1980. Étude expérimentale des potentialités de dégâts des principaux acridiens du Sahel. *Bull. IFAN, Série A*, 41 (4) : 774-814.
- 26 – LECOQ M., 1972. Contribution à l'étude des déplacements des populations imaginaires de *Locusta migratoria capito* (Sauss.) dans la nature. *Ann. Zool. Ecol. Anim.* : 225-262 (hors série).
- 27 – LECOQ M., 1974. Visite d'expert-conseil au Mali et dans le bassin du lac Tchad. Études biologiques. Criquet migrateur africain. Projet RAF/69/146. Rome, PNUD-FAO, 29 p., annexes.
- 28 – LECOQ M., 1975. Les déplacements par vol du Criquet migrateur malgache en phase solitaire : leur importance sur la dynamique des populations et la grégarisation. Paris, ministère de la Coopération, 272 p., annexes.
- 29 – LECOQ M., 1978. Les déplacements par vol à grande distance chez les acridiens des zones sahélienne et soudanienne en Afrique de l'Ouest. *C.R. Acad. Sc. Paris, série D*, 286 : 419-422.
- 30 – LECOQ M., 1978. Le problème des sauteriaux en Afrique soudano-sahélienne. *L'Agron. Trop.*, 33 (3) : 241-258.
- 31 – LECOQ M., 1978. Biologie et dynamique d'un peuplement acridien de zone soudanienne en Afrique de l'Ouest (*Orthoptera : Acrididae*). *Ann. Soc. Ent. Fr.*, 14 (4) : 603-681.
- 32 – ROY J., 1981. Rapport de mission à Madagascar sur la lutte anti-acridienne. Rome, PNUD-FAO, 18 p., annexe.

Summary

LAUNOIS M. – Monitoring locusts and grasshoppers by means of bio-modelling.

As an alternative to classical mathematical modelling applied to biology, of complex expression though ensuing from frail hypotheses, a new family of models is put forward under the generic term of bio-modelling.

Bio-models are based on the quantification of the relations observed between the changes in the types of environment and the reactions of a living organism. Thus given a critical level of knowledge on the organism within its natural living conditions and the possibility of transcribing it into qualitative and quantitative notations, tables consisting of whole numbers are set up. These tables are used to construct models which may be processed manually or automatically.

Three examples of increasing difficulty are presented in support of this new system of ecological modelling. One concerns the Migratory Locust in Madagascar and in Africa, the second the Senegalese Grasshopper in the Sahel and the last one the Desert Locust from Senegal to Pakistan. Prospects of application of bio-modelling to other vegetal or animal species, useful or harmful to human activity, are also discussed.

Key words : Modelling, bio-model, bio-schema, acridians, migratory pests, Migratory Locust, Senegalese Grasshopper, Desert Locust.

Resumen

LAUNOIS M. – Los bio-modelos de geometría variable aplicados a la vigilancia de las plagas de langostas.

Para ofrecer una alternativa a los modelos matemáticos aplicados a la biología, que son complejos en su formulación pero frágiles desde el punto de vista de las hipótesis, se propone, con el término genérico de bio-modelización, una nueva familia de modelos de concepción radicalmente diferente.

Un bio-modelo se construye a partir de la cuantificación de las relaciones observadas entre las variaciones de los tipos de medio-ambiente y las respuestas de un organismo. De esa forma se establecen tablas de correspondencia de valores discretos si se dispone previamente de un umbral crítico de conocimientos acerca del objeto de estudio en sus condiciones naturales de existencia y de la posibilidad de transcribir los hechos referidos en notaciones cualitativas y cuantitativas con vistas a una gestión manual o automática.

Se dan tres ejemplos de complejidad creciente en apoyo de esta nueva fórmula de modelización ecológica : el primero relativo a la Langosta migratoria en Madagascar y en África, el segundo a la Langosta senegalesa en el Sahel y el tercero a la Langosta peregrina del Senegal a Pakistán. Se ofrecen perspectivas de aplicación de los bio-modelos a otras especies vegetales o animales, útiles o perjudiciales para las actividades humanas.

Palabras-clave : Modelización, bio-modelo, bio-esquema, acrididos, plagas migratorias, Langosta migratoria, Langosta senegalesa, Langosta peregrina.

Quelques moyens de lutte pour enrayer les nosémoses de trois foreurs des graminées élevés en laboratoire sur milieu nutritif artificiel

D. BORDAT, J. COQUARD, M. RENAND (1)

RÉSUMÉ — Les auteurs décrivent l'influence des nosémoses sur les stades évolutifs de *Chilo zacconius* Bleszynski, *Chilo partellus* (Swinhoe) (lépidoptères pyralidae) et *Sesamia calamistis* Hampson (lépidoptère noctuidae). Figurent également dans cet article quelques moyens de lutte, chimique (Fumidil B) et thermique (température élevée 35 °C et basse 10 °C), susceptibles d'enrayer l'infestation des nosémoses.

Mots clés : *Chilo* sp., *Sesamia calamistis*, *Nosema* sp., élevage en laboratoire.

Les insectes foreurs de graminées constituent en Afrique, comme dans la plupart des pays tropicaux, des ravageurs quasi permanents qui affectent les cultures vivrières de façon sensible et réduisent souvent gravement la récolte.

Intéressés par ce problème, nous avons voulu apporter une contribution à leur étude en réalisant dans nos installations des services centraux de l'IRAT à Montpellier des élevages en laboratoire sur milieu nutritif artificiel de quelques-uns de ces foreurs.

Des prospections effectuées sur le terrain nous ont permis d'obtenir du matériel vivant pour débiter nos élevages. Dans de nombreux cas, les souches d'insectes récoltées sur la plante-hôte sont porteuses de parasites divers, en particulier de microsporidies. Les microsporidies sont des endoparasites intracellulaires qui provoquent l'hypertrophie des cellules-hôtes et se propagent assez rapidement dans les chenilles en élevage.

Depuis quelques années, nous avons relevé dans le corps des chenilles de *Chilo zacconius* Bleszynski, *Chilo partellus* (Swinhoe) et *Sesamia calamistis* Hampson des microsporidies en assez grand nombre. Elles furent répertoriées par le laboratoire du Professeur BOUX à l'université des sciences et techniques du Languedoc sous le nom de *Nosema manierae* Bouix-Toguébaye 1981, pour *C. zacconius*, espèce A pour *C. partellus* et espèce C pour *S. calamistis*.

Chez *S. calamistis*, 73 % des chenilles étaient parasitées, la microsporidie se localisant dans le tissu adipeux. Les spores observées étaient de forme ovale et le sporoplasme possédait un diplocaryon très net qui rattache l'espèce au genre *Nosema*.

Même cas chez *C. partellus*, où 86 % des chenilles sont infestées, *Nosema* se localisant dans le muscle de la chenille en plus de son tissu adipeux (TOGUEBAYE, 1978).

Dans nos élevages, les nosémoses provoquant de fortes mortalités au stade larvaire (40 à 100 %), il devenait nécessaire de trouver des moyens de lutte pour enrayer les *Nosema* spp. En effet, la mortalité gênait fortement l'élevage de nos différents entomophages.

Ces moyens de lutte furent chimiques (Fumidil B), mécaniques (grainage des femelles) ou thermiques (35 °C ; 10 °C).

Influence de *Nosema* sp. sur les stades évolutifs des foreurs

S. calamistis

Les adultes

La souche étudiée, récoltée sur riz pluvial, est originaire de Côte d'Ivoire.

Afin de connaître l'influence de *Nosema* sur la ponte et la fertilité des femelles de *S. calamistis*, nous avons élevé séparément 16 couples, pris dans notre élevage, et fait pondre les femelles sur un support naturel (plant de maïs ou de riz au stade 5 feuilles), évitant ainsi une éventuelle rétention d'œufs due à un support de ponte artificiel.

La nosémose ne semble pas affecter les femelles de *Sesamia* (tabl. I). Le nombre d'œufs pondus et le pourcentage d'œufs stériles sont sensiblement les mêmes lorsque la femelle possède ou ne possède pas de spores visibles dans son corps. La femelle n° 2 n'ayant pas de *Nosema* visibles dans son abdomen a pondu 578 œufs dont 2,5 % étaient stériles ; la femelle n° 10 n'en a pondu que 411 mais dont aucun n'était stérile.

(1) Division de défense des cultures, IRAT-GERDAT, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex, France.

Tableau I Influence des *Nosema* sur les femelles de *S. calamistis*.

Couples formés	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<i>Nosema</i> visible dans la femelle	X		X	X				X		X	X		X			X
Nombre d'œufs fertiles pondus	316	564	398	211	346	0	0	293	372	411	290	0	65	315	97	0
Nombre d'œufs stériles pondus	10	14	29	16	9	119	44	3	37	0	20	238	48	11	51	124
Nombre total d'œufs pondus	326	578	427	227	355	119	44	296	409	411	310	238	113	326	148	124
Pourcentage d'œufs stériles	3	2,5	7	7	2,5	100	100	1	9	0	6,5	100	42	3	34,5	100
Support de ponte	maïs	maïs	maïs	maïs	maïs	maïs	maïs	maïs	riz	riz	riz	riz	riz	riz	riz	riz
Durée de vie en jours de la femelle	7	5	6	5	4	5	4	5	4	6	5	6	3	4	4	3

En conclusion, il ne semble pas que *Nosema* sp. agisse sur la fertilité ni sur la potentialité de ponte des femelles de *S. calamistis*.

Les œufs

Aucun symptôme n'a pu être remarqué sur la durée d'incubation des œufs de *Sesamia*. Dans nos élevages, avec ou sans *Nosema* visibles, l'œuf éclôt cinq jours après la ponte ; le pourcentage d'éclosion avoisine 95 %.

Les chenilles

C'est au stade larvaire que *Nosema* cause le plus de problèmes dans les élevages. Les chenilles malades sont très molles et surtout peu actives.

Pour connaître l'évolution de la nosémose dans les différents âges du stade larvaire de *Sesamia*, nous avons mené simultanément deux élevages de 100 chenilles chacun. Les chenilles sont élevées isolément de la néonate à la nymphose.

Le premier lot est issu de femelles possédant dans leur abdomen des spores visibles. Le second lot provient de femelles ne possédant pas de spores visibles. Ces deux cas nous permettent de suivre la descendance de femelles dont les unes sont fortement infestées par *Nosema* et les autres relativement peu. Dans cet essai, la dimension des capsules céphaliques et la durée de chaque âge larvaire de chaque chenille sont notées.

Tableau II Variations obtenues entre les différents âges larvaires des chenilles de *S. calamistis* issues de femelles plus ou moins infestées de nosémose.

Nombre d'âges larvaires		1 ^{er} âge	2 ^e âge	3 ^e âge	4 ^e âge	5 ^e âge	Total stade larvaire	
							5 ^e âge	6 ^e âge
Durée moyenne de chaque âge (en jours)	-	4,59	3,87	3,57	4,63	8,86	25,26	32,30
	+	4,22	3,66	3,38	3,78	8,35	24,47	27,75
Durée extrême de chaque âge (en jours)	-	4 - 11	3 - 8	3 - 4	3 - 12	3 - 13	23 - 31	29 - 37
	+	4 - 6	3 - 5	3 - 5	3 - 7	3 - 14	22 - 28	26 - 32
Dimension moyenne des capsules céphaliques (en mm)	-	0,33	0,48	0,77	1,24			
	+	0,32	0,48	0,76	1,19			
Dimensions extrêmes des capsules céphaliques (en mm)	-	0,32 - 0,34	0,42 - 0,52	0,59 - 0,85	0,99 - 1,41			
	+	0,30 - 0,34	0,44 - 0,52	0,67 - 0,83	0,97 - 1,43			

Résultats obtenus sur 200 individus. - Spores non visibles dans la femelle ; + spores visibles dans la femelle.

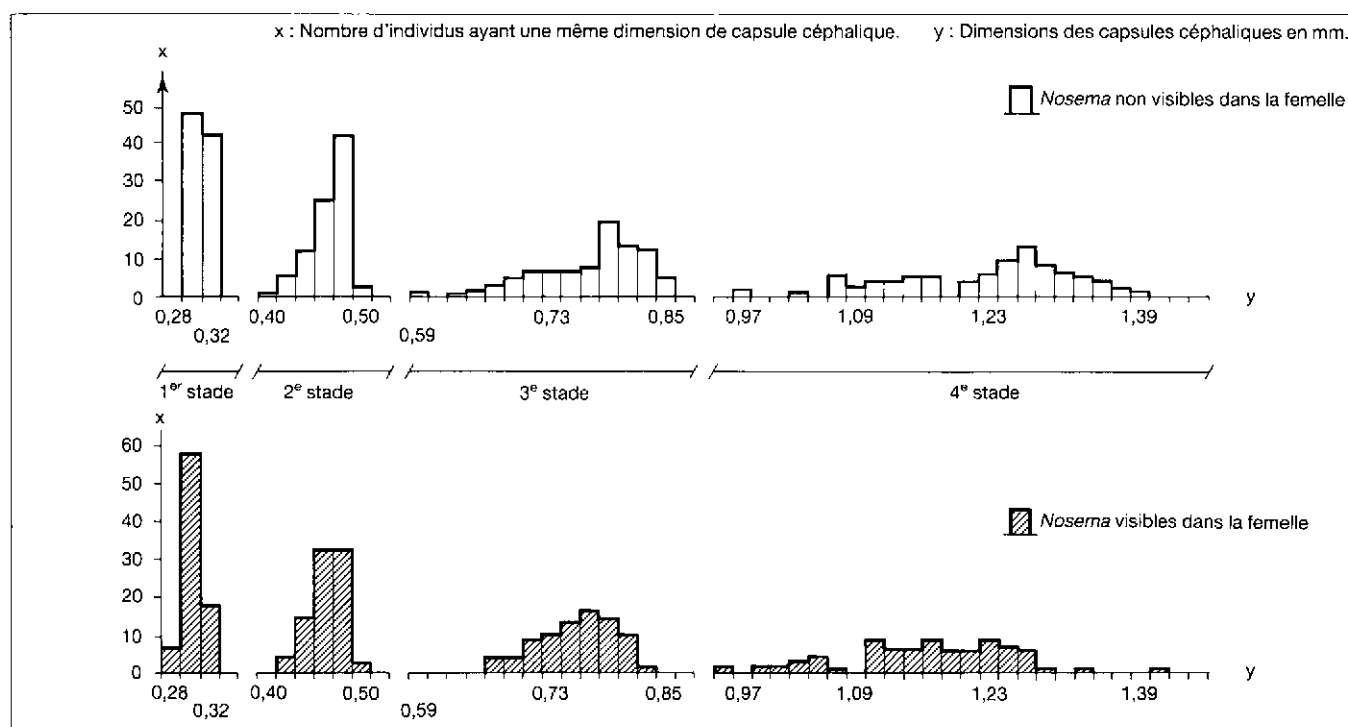


Fig. 1 : Comparaison de la largeur de la capsule céphalique des chenilles de *Sesamia calamistis* issues de femelles plus ou moins infestées de nosérose.

La durée en jours des âges est sensiblement plus courte dans le cas des chenilles issues des femelles qui possèdent des *Nosema* visibles (tabl. II). Par contre, la dimension moyenne de la largeur des capsules céphaliques des larves issues de femelles ayant des *Nosema* visibles dans leur corps diminue sensiblement, et cela au fur et à mesure que les âges larvaires augmentent.

En conclusion, il semble que des chenilles de *Sesamia calamistis* assez fortement infestées de nosérose soient de taille plus petite et possèdent une durée en jours des âges larvaires plus réduite. Ce phénomène est plus marqué chez des individus issus de femelles possédant des *Nosema* visibles ; une partie de ceux-ci ont une capsule céphalique plus réduite que les individus issus de femelles ne possédant pas de *Nosema* visibles (fig. 1).

Les nymphes

Au stade nymphal, il est impossible de différencier des chrysalides atteintes ou non de nosérose. Une chenille infestée peut se nymphoser normalement et donner un adulte très bien formé. Nous avons donc continué à suivre au stade nymphal l'élevage séparé des deux lots de chenilles issues de femelles possédant ou ne possédant pas de *Nosema* visibles dans leur corps.

La durée moyenne du stade nymphal est sensiblement la même dans les deux lots (tabl. III), mais le poids des nymphes provenant des chenilles issues de femelles possédant des *Nosema* visibles est moins important que celui

des nymphes issues de femelles ne possédant pas de *Nosema* visibles dans leur corps (fig. 2). La différence de poids constatée entre les nymphes des deux lots semble confirmer qu'une souche de *S. calamistis* fortement atteinte de nosérose est plus petite en taille qu'une souche moins infestée. L'impossibilité d'obtenir des individus exempts de *Nosema* n'a pas permis de comparer les poids des nymphes et de ce fait de confirmer cette affirmation.

Tableau III Différences obtenues entre des nymphes de *S. calamistis* dont les parents sont plus ou moins infestés par *Nosema* sp.

Sexe	Femelle	Mâle
Durée moyenne du stade nymphal (en jours)	–	11,10
	+	11,27
Durée extrême du stade nymphal (en jours)	–	10 – 12
	+	10 – 13
Poids moyen des nymphes (en mg)	–	187
	+	174
Poids extrême des nymphes (en mg)	–	116 – 230
	+	107 – 251

Résultats obtenus sur 120 individus.
– *Nosema* non visibles dans la femelle ; + *Nosema* visibles.

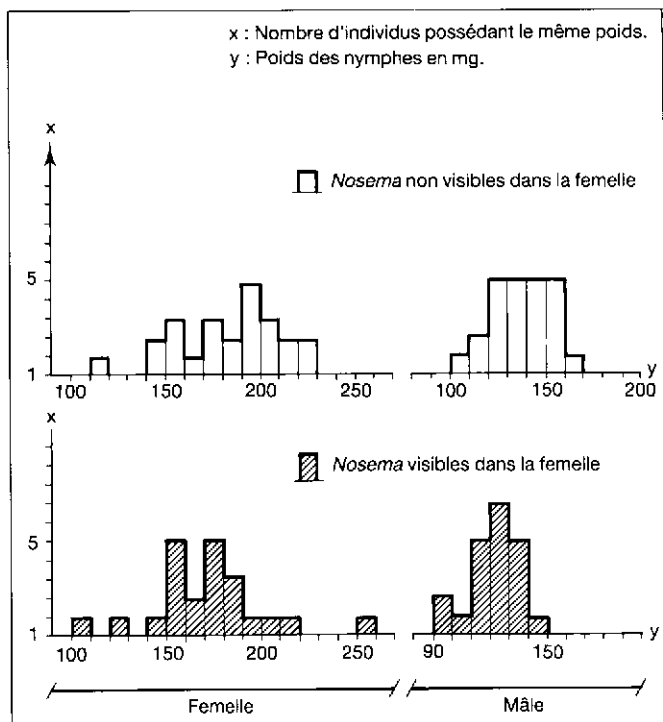


Fig. 2 : Comparaison du poids des nymphes de *S. calamistis* issues de femelles plus ou moins infestées par des nosémoses.

Chilo partellus

Les adultes

Comme c'est le cas chez *S. calamistis*, et contrairement à *C. sacchariphagus* Böjer (FOURNIER et ETIENNE, 1981), *Nosema* sp. ne semble pas influencer la fertilité et le potentiel de ponte des femelles de *C. partellus*.

D'un lot de chenilles infestées, provenant des Comores, s'étant nymphosées au laboratoire, 145 couples ont été isolés afin d'obtenir séparément les pontes de chaque femelle. Seuls, 46 couples ont donné des œufs fertiles. De ceux-ci, 19 possédaient des spores visibles dans l'abdomen de la femelle après dissection. Les 27 autres couples ne possédaient pas de spores visibles dans l'abdomen des femelles (celles-ci étaient cependant infestées car leur descendance s'est trouvée porteuse de spores). À l'examen de la figure 3, on s'aperçoit que, dans les deux cas, les femelles ont sensiblement le même potentiel de ponte ; leur fertilité n'est en rien diminuée (tabl. IV).

Les œufs

Quoique visible dans les œufs après dissection de ceux-ci, la nosémose n'influe en rien sur le pourcentage d'éclosion et la durée d'incubation des pontes de *C. partellus*. Nous avons observé des ooplaques infestées ayant un pourcentage de 100 % à l'éclosion.

Les larves

C'est au stade larvaire que les symptômes de la nosémose sont les plus visibles. Elle se localise normalement

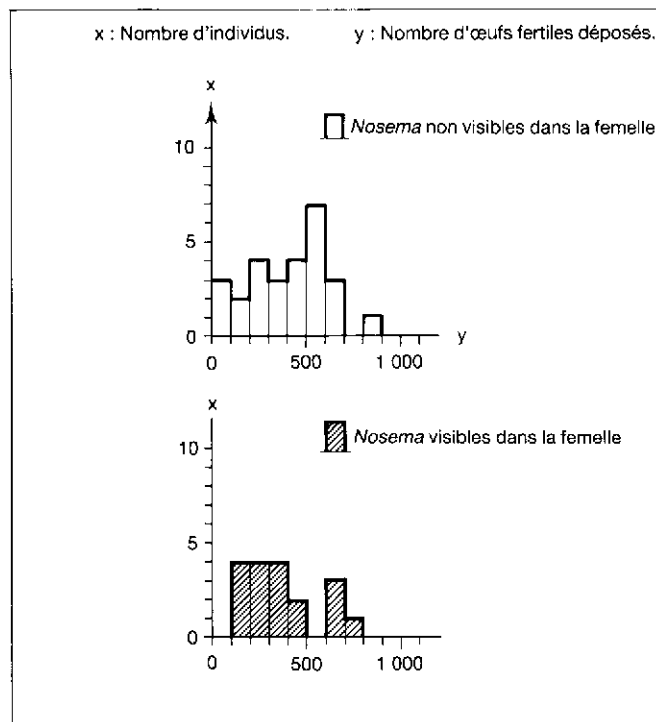


Fig. 3 : Influence des *Nosema* sp. sur le potentiel de ponte des femelles de *C. partellus*.

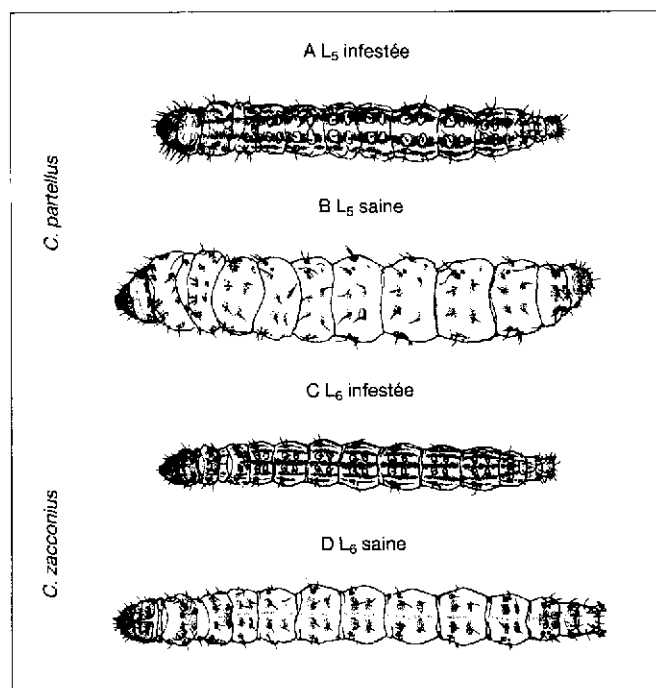


Fig. 4 : Différences morphologiques entre les chenilles infestées et non infestées par une nosémose.

chez la chenille dans le tissu adipeux et les muscles. Dans le cas d'une forte infestation, la chenille prend une teinte blanc laiteux et les ponctuations de son corps se rejoignent pour former des lignes longitudinales de couleur lie de vin (fig. 4). Plus tard, la chenille devient molle, ne s'alimente

Tableau IV Influence des *Nosema* sp. sur la fertilité des femelles de *C. partellus*.

N° du couple	<i>Nosema</i> visibles dans la femelle	Nombre d'œufs pondus		Nombre d'œufs pondus	% œuf ST	Durée de vie de la femelle (en jours)
		F	ST			
2		497	31	528	6	6
13	+	619	1	620	0	6
15		648	15	663	2	8
16		408	22	430	5	5
26		440	2	442	0	5
27		254	27	281	10	5
33		209	36	245	15	7
35		2	1	3	33	4
36		573	15	588	3	4
37		22	283	305	93	7
39		316	16	332	5	5
43	+	210	0	210	0	5
44		831	15	846	2	8
46	+	305	17	322	5	5
59	+	283	32	315	10	7
60		205	1	206	0	4
65		21	184	205	90	9
67	+	126	2	128	2	4
68	+	688	10	628	1	8
71		336	15	628	1	6
72		586	20	606	3	10
73		417	65	482	13	9
74		139	9	148	6	6
75	+	110	89	199	45	6
78		526	12	538	2	5
79		130	314	444	71	6
81	+	98	347	445	78	7
84		343	0	343	0	2
85	+	499	64	563	11	7
88		635	82	717	11	7
94	+	161	83	244	34	8
96	+	328	16	344	5	6
101		209	194	403	48	7
105	+	210	113	323	35	9
115		541	26	567	5	5
116	+	214	282	496	57	6
122	+	419	20	439	5	5
125		507	1	508	0	7
130	+	363	23	386	6	5
132	+	310	75	385	19	9
133	+	196	21	217	10	7
135	+	726	1	727	0	8
136		595	20	615	3	7
137		570	5	575	0	7
138		627	6	633	0	6
140	+	692	7	699	1	9

F = fertiles ; ST = stériles.

mente plus et meurt, pouvant prendre une teinte bleutée en se liquéfiant. Malheureusement, seules les chenilles fortement infestées possèdent des symptômes visibles évidents. La variabilité de la dimension des capsules céphaliques des chenilles semble être un critère de dépistage des chenilles possédant des *Nosema*.

Les dimensions des capsules céphaliques de 17 chenilles mortes de nosémose après avoir effectué un nombre variable de stades larvaires (de 5 à 8) sont indiquées dans le tableau V. De ces chenilles, une seule a pu se nymphoser, mais la chrysalide, trop infestée, est morte. Ces chenilles étaient issues d'un lot de 100 néonates écloses de pontes provenant de l'élevage de masse et élevées isolément pendant tout leur cycle larvaire. Les témoins sont les chenilles restantes du lot qui se sont nymphosées normalement. Les deux chiffres indiqués à chaque stade sur

la ligne des témoins indiquent les dimensions extrêmes des capsules céphaliques obtenues à partir des chenilles témoins.

La chenille possède des *Nosema* quand la dimension de sa capsule céphalique est inférieure à la dimension minimum des témoins, cela dès le deuxième stade. Dans ce cas, ceci n'est valable que pour 8 des 17 chenilles, soit 50 % des cas. Les 9 autres chenilles, mortes également à cause de la nosémose, possédaient une dimension de la capsule céphalique normale.

Les nymphes

Aucun symptôme apparent n'est visible au stade nymphal de *C. partellus*.

Tableau V Variabilité de la dimension des capsules céphaliques de chenille de *C. partellus* atteintes de nosémose.

Numéro des individus	Dimensions en mm de la largeur de la capsule céphalique aux différents stades larvaires					Taux de parasitage	Observations
	1 ^{er} stade	2 ^e stade	3 ^e stade	4 ^e stade	5 ^e stade		
Témoins	0,28 – 0,32	0,36 – 0,46	0,48 – 0,75	0,75 – 1,23	1,05 – 1,50	non visible	Nymphose normale
7 *	0,30	0,34 *	–	0,65 *	1,21	++	Morte au bout de 8 stades
12	0,30	0,42	0,63	0,97	1,41	++++	Morte après 5 stades
17	0,30	0,42	0,61	0,89	–	++++	Formation d'une nymphe morte par <i>Nosema</i>
26	0,30	0,38	0,75	1,09	–	+++	Morte au 4 ^e stade
31	0,30	0,40	0,61	0,75	1,13	++++	Morte après 6 stades
32 *	0,30	0,34 *	0,46 *	0,71 *	1,07	++++	Morte après 6 stades
38 *	0,30	–	0,63	0,69 *	0,99 *	+++	Morte après 7 stades
39	0,30	0,46	0,63	1,09	1,25	++++	Morte après 5 stades
40	0,30	–	0,57	0,83	1,15	++++	Morte après 5 stades
43 *	0,30	0,36	0,50	0,75	0,97 *	++++	Morte après 5 stades
48 *	0,28	0,36	0,50	0,65 *	0,91 *	++++	Morte après 7 stades
50 *	0,32	0,36	0,50	0,63 *	0,77 *	++++	Morte après 5 stades
62	0,28	–	–	0,89	1,29	++++	Morte après 5 stades
63 *	0,30	0,36	0,46 *	0,69 *	0,95 *	++++	Morte après 6 stades
69 *	0,30	–	0,55	0,73 *	0,95 *	++++	Morte après 7 stades
81	–	0,40	0,61	0,89	1,37	++++	Morte après 5 stades
84	–	0,44	0,67	1,03	1,39	++++	Morte après 5 stades

Résultats obtenus sur une centaine d'individus y compris les témoins.

+ : environ 2 500 000 spores/ml.

* : individus aux dimensions minimum.

Chilo zacconius

Peu de tests ont été effectués pour localiser *N. manierae* dans les différents stades de *C. zacconius*, celle-ci étant plus épisodique dans la souche que les nosémoses de *C. partellus* et de *S. calamistis* et n'ayant jamais vraiment mis en danger l'existence de la souche. Cependant, c'est encore dans les chenilles que les symptômes sont les plus marqués. Ces dernières, ne se nourrissant plus, ont un corps très blanchâtre et présentent des lignes marron clair très marquées sur le haut et les côtés du corps. Leur taille est en général plus réduite par rapport à des chenilles saines (fig. 4).

Techniques employées pour lutter contre *N. manierae* et *Nosema* spp.

Méthodes chimiques

Matériel et méthodes

Pour combattre les nosémoses des différentes espèces, nous avons essayé le Fumidil B, employé en apiculture pour lutter contre *Nosema apis*, parasite microbien monocellulaire qui provoque la nosémose des abeilles. Fumidil B (bicyclohexylammonium fumagiline) est une forme hydrosoluble d'un antibiotique, la fumagiline, mélangée à certains agents conservateurs. C'est une formule convenablement tamponnée et garantie par des agents conservateurs, présentée en flacons de 25 g de poudre représentant 0,5 g de fumagiline active. Nous basant sur les doses employées en apiculture (5 g de produit pour 4 à 5 l de sirop), nous l'avons employé à raison de 1 g, 2 g, 4 g de produit pour 1 kilo de milieu nutritif artificiel semblable à celui utilisé pour élever *Sesamia calamistis* (BORDAT, 1980).

Deux méthodes de traitement ont été appliquées aux chenilles des foreurs :

- la première consiste à suivre pendant vingt jours l'évolution de chenilles néonates se nourrissant sur du milieu nutritif artificiel dans lequel différentes doses de Fumidil B ont été ajoutées. Cette méthode est appliquée aux trois espèces (*C. zacconius*, *C. partellus*, *S. calamistis*) ;
- la seconde méthode consiste à alimenter des stades 5 jusqu'à la nymphose, la nourriture artificielle possédant les mêmes doses d'antibiotique que précédemment. Cette méthode fut employée seulement sur les souches de *C. zacconius* et *C. partellus*, celle de *S. calamistis* ayant disparu, trop infestée.

Résultats

Le Fumidil B inclus dans le milieu nutritif augmente la

mortalité dès la dose de 1 g pour 1 kg de milieu nutritif (une boîte de néonates contient environ 30 g de milieu) et allonge considérablement le stade larvaire à une concentration de 4 g par kilo (tabl. VI). Le fort pourcentage de mortalité des témoins est dû aux souches infestées par la nosémose. En effet, le pourcentage de mortalité dans nos élevages se situe entre 5 et 20 % au maximum.

Cet essai a été prolongé jusqu'au stade adulte pour *C. zacconius* et *C. partellus*. Pour *C. zacconius*, des 68 L₄ - L₅ (1 g Fumidil) restantes, la moitié continue à se nourrir du milieu D + 1 g Fumidil B, l'autre est mise sur milieu D comme témoin ; 26 nymphes pour le traitement et 24 pour le témoin sont obtenues (tabl. VII). Après dissection, 4 chenilles sur 8 pour le traitement et 4 chenilles sur 10 pour le témoin possédaient des spores à différentes concentrations. Sur les adultes obtenus, 6 sur 21 pour le traitement et 11 sur 19 pour le témoin possédaient après dissection des spores dans leur abdomen. Nous avons agi de même pour les 24 L₄ de l'essai 2 g de Fumidil B : 6 nymphes pour le traitement et 7 pour le témoin ont été récoltées (tabl. VII). Trois chenilles sur 6 pour le traitement et 3 sur 5 pour le témoin possédaient des *N. manierae*. Sur 6 adultes issus des 6 nymphes du traitement, seule 1 femelle possédait des spores dans son abdomen.

Une dose de 2 g de Fumidil B additionnée à 1 kg de milieu nutritif présenté à des chenilles de *C. zacconius* pendant tout le stade larvaire ne supprime pas *N. manierae*.

Comme pour l'espèce précédente, la moitié des larves de *C. partellus* ont continué à se nourrir de milieu traité ; l'autre se nourrissait de milieu témoin, que ce soit pour la dose 1 g de Fumidil par kilo que pour celle de 2 g. Les résultats portés au tableau VIII font ressortir une forte mortalité larvaire dans tous les cas. Après dissection, aucune chenille non nymphosée ne possède de *Nosema*, hormis dans le témoin du traitement 2 g Fumidil, où 5 chenilles sur 10 ont un assez grand nombre de spores.

Contrairement aux résultats obtenus sur *Choristoneura fumiferana* (WILSON, 1974), *Ostrinia nubilalis* (LEWIS et LYNCH, 1970) ou *Anthonomus grandis* (FLINT et al., 1972), le Fumidil B ne peut être retenu pour enrayer les *Nosema* spp. présentes dans nos trois espèces de foreurs.

Des 240 néonates au début de l'expérience, nous avons obtenu respectivement : pour *C. zacconius* et *C. partellus* 40 et 17 adultes pour le traitement 1 g ; 11 et 7 adultes pour le traitement 2 g (il est vrai qu'une partie des chenilles ont été remises sur milieu non traité pendant le dernier âge larvaire : 46 pour *C. zacconius*, 30 pour *C. partellus*).

La seconde méthode — chenilles nourries au milieu nutritif traité au Fumidil B (1 g, 2 g, 4 g par kilo de milieu) — ne donne pas non plus de bons résultats, la descendance des adultes obtenus étant infestée.

Tableau VI Effet du Fumidil B sur les chenilles de *C. zacconius*, *C. partellus* et *S. calamistis* élevées sur milieu nutritif artificiel.

Type de l'essai	Nombre total de néonates	Nombre de chenilles à J + 20	Stades des chenilles à J + 20	Pourcentage de mortalité
Témoin milieu D <i>C. zacconius</i> <i>C. partellus</i> <i>S. calamistis</i>	240	138 56 73	L ₄ - L ₅ L ₅ - Ny L ₅	42,5 77 70
Milieu D + 1 g Fumidil <i>C. zacconius</i> <i>C. partellus</i> <i>S. calamistis</i>	240	68 31 59	L ₄ - L ₅ L ₅ L ₅	71,6 87 70
Milieu D + 2 g Fumidil <i>C. zacconius</i> <i>C. partellus</i> <i>S. calamistis</i>	240	24 30 82	L ₄ L ₄ L ₄ - L ₅	90 88 66
Milieu D + 4 g Fumidil <i>C. zacconius</i> <i>C. partellus</i> <i>S. calamistis</i>	240	6 22 28	L ₂ L ₃ - L ₄	97,5 91 88

Tableau VII Effet du Fumidil B sur les stades larvaires et nymphal de *C. zacconius*.

	Milieu 1 g Fumidil B	Milieu D	Milieu 2 g Fumidil B	Milieu D
Nombre de larves	34	34	12	12
Nombre de nymphes obtenues	26 (1)	24 (2)	6 (5)	7 (6)
% de mortalité larvaire	23,5	29	50	42
Nombre d'adultes obtenus	21 (3)	19 (4)	6 (7)	5
Nombre de femelles	13	9	3	4
Nombre de mâles	8	10	3	1
% mortalité nymphale	19	21	0	29

+ : environ 2 500 000 spores/ml.

(1) 2 L₅ ++ ; 2 L₅ +++.

(2) 4 L₅ ++++.

(3) 3 femelles ++ ; 3 mâles +++.

(4) 3 femelles + ; 2 femelles ++ ; 1 femelle +++ ; 1 mâle ++ ; 4 mâles +++.

(5) 1 L₅ + ; 2 L₅ ++.

(6) 2 L₅ + ; 1 L₅ +++.

(7) 1 femelle +.

Méthode mécanique

Matériel et méthode

Une autre méthode a été employée au laboratoire pour essayer d'enrayer la nosémose de *C. partellus*.

Tableau VIII Effet du Fumidil B sur les stades larvaires et nymphal de *C. partellus*.

	Milieu 1 g Fumidil B	Milieu D	Milieu 2 g Fumidil B	Milieu D
Nombre de larves	15	15	15	15
Nombre de nymphes obtenues	12	11	8	5 (1)
% mortalité larvaire	20	27	47	67
Nombre d'adultes obtenus	6	11	2	5
Nombre de femelles	1	4	1	4
Nombre de mâles	5	7	1	1
% mortalité nymphale	50	0	75	0

+ : environ 2 500 000 spores/ml.

(1) 5 L ++.

Cette technique consiste en un « grainage » semblable à celui effectué par J. PASTEUR sur le *Bombyx mori* Linné pour lutter contre la pébrine du ver à soie (*Nosema bombycis* Naegeli). Dès l'émergence, les couples sont isolés et on récupère les ooplaques déposées par chaque femelle. La ponte terminée, l'abdomen de chaque mâle et de chaque femelle est disséqué. Les pontes dont l'un ou l'autre des parents est reconnu porteur de *Nosema* sont éliminées. Nous avons continué le sondage dans la descendance (chenilles) des couples « sains » (dont les adultes ne possèdent pas de spores visibles dans l'abdomen). Chaque ooplaque est suivie séparément et déposée sur du

milieu nutritif artificiel. L'éclosion (J) des œufs se fait à l'intérieur de la boîte. À J + 10 jours (début du 3^e stade), 3 chenilles sont prises au hasard dans chaque boîte et disséquées ; s'il y a présence de *Nosema* dans l'une ou l'autre de celles-ci, toutes les chenilles issues du couple sont éliminées. Si aucune spore n'a été observée, on recommence le même sondage à J + 20 (5^e stade). S'il y a présence de spores dans l'une ou l'autre de ces chenilles prises au hasard, la totalité des chenilles issues des œufs déposés par la femelle de ce couple est éliminée.

Nous avons donc une souche de *C. partellus* comportant des chenilles ne possédant pas de spores visibles après 10 jours puis 20 jours d'élevage sur milieu nutritif et issues de parents ne possédant pas de spores de *Nosema* visibles dans leur abdomen.

Résultats

L'expérience a porté sur 184 couples ; 75 seulement, soit 41 %, ont produit des œufs fertiles. De ceux-ci, 28 ont été éliminés, l'un ou l'autre des deux adultes possédant des *Nosema* après dissection. Le nombre de spores localisées dans ces couples se décompose comme suit :

- 21 couples ont la femelle infestée ; la descendance de ces adultes est également parasitée ; le nombre de spores présentes dans les chenilles à J + 10 et J + 20 varie entre 1 400 000 et plus de 8 500 000 spores/ml ;
- 6 couples ont le mâle infesté ; dans ce cas, la descendance est irrégulièrement infestée : de 0 à 4 000 000 spores/ml.

En conclusion, 46 couples sur les 184 formés, soit 25 %, ont été conservés pour confectionner notre souche de *C. partellus*. Ce « grainage » ne peut qu'éliminer les individus assez fortement infestés, car actuellement aucune méthode d'observation ne permet d'affirmer l'absence totale de spores dans un échantillon (1 couple ne possédait pas de spores visibles dans l'abdomen de la femelle ni dans celui du mâle, leur descendance en possédait (190 000 spores/ml dans les chenilles à J + 10 et J + 20). Cette méthode a été abandonnée, car la manipulation était trop importante et devait être effectuée à chaque génération.

Méthodes thermiques

Ces méthodes n'ont été employées que sur la souche de *C. partellus*, *N. manierae* ayant fortement régressé chez *C. zacconius* et la souche de *S. calamistis* ayant été totalement envahie par les nosémoses et détruite.

La chaleur

Les essais effectués tant sur les néonates que sur des 4^e stade n'ont donné aucun résultat satisfaisant.

Sur 206 néonates placées 10 jours avec nourriture dans une enceinte réglée à 35 °C de température, 89 ont été récupérées vivantes (57 % de mortalité). De ces 89 chenilles remises en élevage à 25 °C, nous avons obtenu 22 adultes fortement infestés (environ 8 500 000 spores/ml).

Les tests effectués sur 200 L₄ moyennement infestées (environ 4 000 000 spores/ml), et placées à 35 °C pendant 5 jours pour 100 chenilles et 10 jours pour les 100 autres n'ont donné aucun résultat concluant. Environ 50 % des chenilles n'arrivent pas à la nymphose.

Nous pensons pouvoir conclure, contrairement à HAMM *et al.* (1971) pour *Heliothis zea* (Boddie), que la nosémosse de *C. partellus* n'est pas détruite par la chaleur.

Le froid

Matériel et méthode

À la suite de ces résultats négatifs de l'effet de la chaleur (35 °C) sur des nosémoses présentes dans des lépidoptères (bon nombre doivent évoluer dans des températures analogues), nous avons pensé que faire subir à des chenilles des séjours de même durée (10 jours) mais à une température plus basse (10 °C) serait peut-être plus concluant. Cette température a été choisie parce qu'elle permet d'arrêter la croissance des foreurs dans le milieu nutritif artificiel sans provoquer de mortalité.

Trois souches différentes ont été élevées pour cet essai :

- A : souche provenant de l'île de Ngazidja (ancienne Grande Comore), récoltée sur maïs, ayant effectué plus de cinq générations au laboratoire sur milieu nutritif artificiel (nosémosse très probablement présente dans les chenilles à leur arrivée) ;
- B : souche de même provenance que la précédente n'ayant effectué qu'une seule génération en laboratoire sur le milieu artificiel (nosémosse présente dans les chenilles à leur arrivée) ;
- C : souche A dont les parents ont été placés à 10 °C pendant 10 jours au 5^e stade larvaire.

Le jour de l'éclosion des œufs, les néonates de ces trois souches sont déposées sur du milieu nutritif et placées dans une salle d'élevage dont la température est de 25° ± 1°C et la photopériode de 18-6.

Après 20 jours, temps nécessaire pour parvenir au 5^e stade larvaire (BORDAT, 1983), 50 chenilles de chaque souche sont prélevées au hasard dans les boîtes d'élevage et isolées avec de la nourriture. Dès la mue suivante, la capsule céphalique de la chenille est mesurée afin de connaître son stade larvaire, puis la chenille ou la nymphe est disséquée afin de dénombrer les spores de *Nosema* présentes dans son corps.

Cet essai a été renouvelé quatre fois avec un prélèvement de 30 chenilles pour chaque souche à chaque répétition.

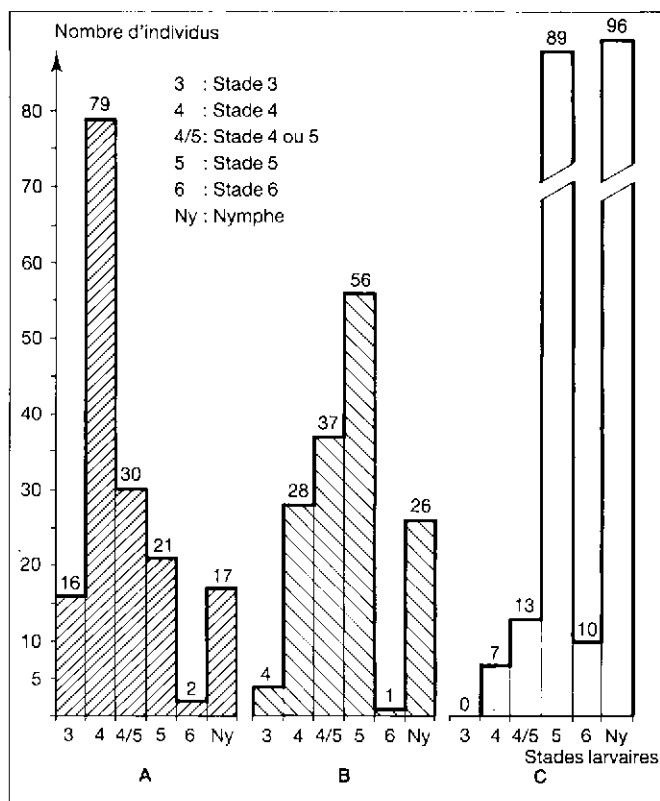


Fig. 5 : Évolution des chenilles de *C. partellus* des différentes souches après 20 jours d'élevage sur milieu nutritif artificiel ($25 \pm 1^\circ\text{C}$, $75 \pm 5\%$, $18-6$).

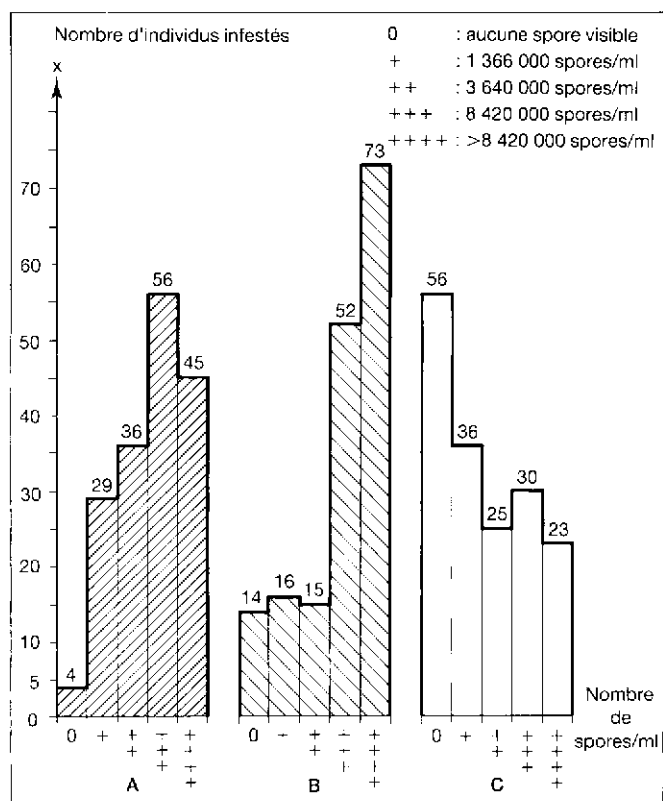


Fig. 6 : Quantité de spores de *Nosema* sp. présente dans les chenilles (ou nymphes) des différentes souches de *C. partellus*.

Résultats

Les chenilles des souches A et B sont beaucoup moins évoluées que celles de la souche C (fig. 5). En effet, pour A et B, la majorité des chenilles après 20 jours d'alimentation se situe entre le stade 3 et le stade 5, alors que pour celles de la souche C la plus grande partie est au stade 5 et même au stade nymphal. Dans les trois souches, le faible nombre d'individus au stade 6 est normal ; chez *C. partellus*, un maximum de 35 % des chenilles effectue un 6^e stade larvaire (BORDAT, 1983). On trouve nettement moins de chenilles fortement infestées dans la souche C que dans les souches A ou B (fig. 6).

On peut conclure que la présence de nosémose dans le corps des chenilles ralentit considérablement leur croissance et le froid semble arrêter la multiplication des spores de *Nosema* sp. chez *C. partellus*.

Conclusion

Depuis plusieurs années, nos souches de foreurs sont infestées par des microsporidies : *Nosema maniereae* Bouix-Toguebaye pour *Chilo zacconius*, espèce A pour *C. partellus*, espèce C pour *Sesamia calamistis*. Les nosémoses ne semblent pas affecter le potentiel de ponte des femelles de *C. partellus* et *S. calamistis*. Elles n'ont aucune incidence sur le pourcentage d'éclosion des ooplaques. C'est au stade larvaire que les nosémoses causent le plus de problèmes ; les chenilles deviennent molles et peu actives, elles ne s'alimentent plus. En général, leur taille est plus réduite. Les souches dégénèrent et disparaissent.

La mortalité larvaire (40 à 100 %) des lépidoptères gênant considérablement l'élevage de nos entomophages, il est devenu nécessaire de trouver des moyens de lutte pour enrayer les *Nosema* spp. Le Fumidil B a été employé, mélangé au milieu nutritif artificiel. Celui-ci, présenté à des chenilles pendant tout le stade larvaire, ne semble pas être un remède rapide pour détruire les *Nosema* spp. présentes dans nos trois souches de foreurs.

Une méthode mécanique, semblable au « grainage » employé par J. PASTEUR sur *Bombyx mori*, a été appliquée à *C. partellus*. Malheureusement, elle n'a pu éliminer que les individus assez fortement infestés ; actuellement, aucune méthode d'observation ne permet d'affirmer s'il y a absence totale de spores dans un échantillon.

Malgré différents essais, nous n'avons pas réussi à éliminer la nosémose de *C. partellus* par la chaleur (35°C). Par contre, l'exposition des chenilles de 5^e stade pendant 10 jours à 10°C arrête la multiplication des spores de *Nosema* sp. chez *C. partellus*.

Actuellement, cette méthode est employée dans notre laboratoire et, depuis trois ans, aucune prolifération de la

nosémose ne s'est reproduite, ce qui représente une quarantaine de générations élevées en continu sans aucun incident pathologique.

Reçu le 12 avril 1984.
Accepté le 23 mai 1984.

Références bibliographiques

BORDAT D., 1980. *S. calamistis* Hamps. : une technique pratique d'élevage de masse sur milieu artificiel. L'Agron. Trop., 35 (1) : 35-40.

BORDAT D., 1983. Mise au point de l'élevage de masse d'*Apanteles chilonis* Matsumura, 1912 et d'*Apanteles flavipes* (Cameron) 1981 (Hym.-Braconidae) sur trois lépidoptères Pyralidae foreurs des graminées (*Chilo zacconius* Bleszynski, 1972, *Chilo partellus* (Swinhoe, 1884) et *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794)) dans un objectif de lutte biologique. Thèse d'université, spécialité sciences naturelles, université des sciences et techniques du Languedoc, Montpellier, 184 p.

FLINT H.M., EATON J., KLASSEN W., 1972. The use of Fumidil B to reduce Microsporidian disease in colonies of the boll weevil. Ann. Entomol. Soc. Am., 65 (4) : 942-945.

FOURNIER D., ETIENNE J., 1981. Effet du parasitisme par des Nosematidae sur la reproduction de *Chilo sacchariphagus* (Böj.) (Lep : Pyralidae). L'Agron. Trop., 36 (4) : 382-388.

HAMM J.J., BURTON R.L., YOUNG J.R., DANIEL R.T., 1971. Elimination of *Nosema heliothis* from a laboratory colony of the Corn Earworm. Ann. Entomol. Soc. Am., 64 (3) : 624-627.

LEWIS L.C., LYNCH R.E., 1970. Treatment of *Ostrinia nubilalis* larvae with Fumidil B to control infections caused by *Perezia pyraustae*. J. Invert. Pathol., 15 : 43-48.

TOGUEBAYE B.S., 1978. Contribution à l'étude des protozoaires parasites d'insectes déprédateurs. Diplôme d'études approfondies de biologie animale, option parasitologie, pathologie et relations écophysiologicals, université des sciences et techniques du Languedoc, Montpellier, 57 p.

WILSON G.G., 1974. The use of Fumidil B to suppress the microsporidian *Nosema fumiferanae* in stock cultures of the spruce Budworm, *Choristoneura fumiferana* (Lep. : Tortricidae). Can. Entomol. : 995-996.

Summary

BORDAT D., COQUARD J., RENAND M. – Some means to control the nosema of three stalk borers reared on artificial diet in the laboratory.

The authors describe the influence of nosema on the evolutive stages of *Chilo zacconius* Bleszynski, *Chilo partellus* (Swinhoe) (Lepidoptera Pyralidae) and *Sesamia calamistis* Hampson (Lepidoptera Noctuidae).

They also present some control means : chemical (Fumidil B) and heat (high temperature : 35 °C and low temperature : 10 °C) means likely to check nosema infestations.

Key words : *Chilo* sp., *Sesamia calamistis*, *Nosema* sp., laboratory rearing.

Resumen

BORDAT D., COQUARD J., RENAND M. – Algunos medios de lucha para atajar las nosemosis de tres perforadores de las gramíneas, criados en laboratorio en medio nutritivo artificial.

Los autores describen la influencia de los microsporidios sobre las fases evolutivas de *Chilo zacconius* Bleszynski, *Chilo partellus* (Swinhoe) (lepidóptero pyralidae) y *Sesamia calamistis* Hampson (lepidóptero noctuidae).

También figuran en este artículo algunos medios de lucha : química (Fumidil B) y térmica (temperatura alta 35 °C y baja 10 °C) que pueden detener la infestación de las nosemosis.

Palabras-clave : *Chilo* sp., *Sesamia calamistis*, *Nosema* sp., cría en laboratorio.

Documentation

OUVRAGES ET DOCUMENTS GÉNÉRAUX

39-26

BHOJWANI (S.S.), RAZDAN (M.K.). **Plant tissue culture : theory and practice.** (Culture de tissus végétaux : théorie et pratique). Amsterdam, Elsevier, 1983. 1 livre relié 17 x 25, 502 p., tabl., fig., photos. (Collection Developments in crop science, Nb 5). ISBN 0-444-42164-5.

Le lecteur français appréciera entre autres les photos de MM. Morel et Gautheret qui ont tant contribué au développement de cette discipline.

Cet ouvrage est un véritable manuel ayant le mérite de rassembler en un seul volume une foule de connaissances théoriques et pratiques sur la culture des tissus végétaux ; c'est ainsi que, par exemple, sont exposées non seulement les hypothèses concernant la perte de potentiel morphogénique dans les cultures répétées mais qu'également est précisée la liste du matériel nécessaire à un laboratoire travaillant sur les cultures de tissus.

À chaque instant, le lecteur rencontre des descriptions précises de techniques et même de tours de main accompagnées de croquis parfaitement explicites qui font de cet ouvrage un compagnon indispensable au chercheur et au technicien travaillant dans ce domaine.

Remarquons la présence d'un glossaire de six pages des termes communément utilisés dans la discipline, d'une bibliographie de 2 000 références environ, d'un index auteurs et d'un index sujets et plantes, cet ensemble facilitant considérablement l'utilisation du manuel).

R.D.

39-27

MUCHNIK (J.), VINCK (D.). **La transformation du manioc, technologies autochtones.** Paris, Presses Universitaires de France, 1984. 1 livre broché 15 x 21, 172 p., fig., tabl., photos, bibl. (Collection Techniques vivantes, Agence de Coopération Culturelle et Technique et Conseil International de la Langue Française). ISBN 92-9028-063-8.

Dans l'excellente collection Techniques vivantes, voici un ouvrage sur le manioc auquel s'est intéressé un nombre impressionnant d'organismes, puisque, outre les maîtres-d'œuvre habituels de la collection (ACCT et CILF), apparaissent également sur la couverture les sigles du GRET, d'ALTERSIAL et de l'ENDA ! Les auteurs, dans leur courte introduction, qualifient le manioc de « culture oubliée ». Il semble bien que ce ne soit plus le cas et cet ouvrage, qui traite d'un sujet important, vient donc à son heure.

L'introduction qui précède les six chapitres « techniques » éclaire le lecteur sur l'esprit dans lequel les auteurs ont abordé leur étude. Leur point de vue dépasse singulièrement la technologie *sensu stricto* et prend en compte les aspects sociaux et économiques de celle-ci. On pense pouvoir ainsi mieux appréhender les raisons des difficultés, voire des échecs, des tentatives d'introduction des technologies occidentales dans des milieux où les structures sociales sont telles qu'ils ne peuvent les recevoir.

L'idée centrale est qu'il faut « revaloriser les technologies autochtones écartées par les planificateurs des programmes de développement » et qu'elles constituent « des technologies marginalisées pour des gens marginalisés ».

Le chapitre I expose des généralités sur le manioc, très succinctes sur le plan agronomique, qui, il est vrai, n'est pas le propos des auteurs. Les chapitres suivants (II - La farinha au Brésil. III - L'attické en Côte d'Ivoire. IV - Le gari au Nigeria. V - Analyse technologique. VI - La revalorisation des techniques autochtones) retiendront justement l'attention des lecteurs.

L'exposé des trois technologies est détaillé et précis, les comparaisons entre elles, claires et intéressantes et le coût des différentes opérations et des améliorations éventuelles bien mis en évidence. Les schémas, tableaux et figures, qui sont nombreux, contribuent beaucoup à l'agrément de cette lecture. Sans doute, le lecteur moyen n'adhérera-t-il pas sans réserve à l'opinion des auteurs telle qu'elle est formulée sans nuances (p. 80) : « En tout cas nous sommes sûrs d'une chose : ce ne sont ni les entreprises, ni les emplois, ni les bénéfices, ni la productivité du secteur économique formel qui résoudront aujourd'hui les principaux problèmes des populations du tiers-monde ».

En effet, l'opinion des auteurs sur le cas brésilien, où la production traditionnelle de farinha n'a pu faire face aux besoins d'une population de plus en plus urbanisée, montre qu'il faut être prudent et que les technologies importées peuvent avoir aussi un rôle à jouer.

Ce manuel, écrit d'une plume alerte et dans un style très vivant, est riche en données et en faits précis (voir en particulier l'évolution de la toxicité cyanhydrique dans le tubercule de manioc tout au long des opérations de transformation, depuis l'épluchage jusqu'au produit fini).

Le lecteur trouvera donc avec cet ouvrage une source de références et aussi matière à réflexion sur les problèmes du développement à partir de questions très concrètes. L'éclairage nouveau jeté par les auteurs, s'il est parfois trop systématique, a le mérite d'exciter l'attention, ce qui n'est pas négligeable.

M.B.

39-28

NORMAN (M.J.T.), PEARSON (C.J.), SEARLE (P.G.E.). **The ecology of tropical food crops.** (Écologie de quelques cultures vivrières tropicales). Cambridge, Cambridge University Press, 1984. 1 livre broché 23,5 x 15, 369 p., tabl., fig., bibl., index. ISBN 0521-28428-7.

Dans un passé encore récent, un ouvrage de ce genre aurait été vraisemblablement rangé dans la catégorie des traités d'agronomie ou d'agriculture spéciale. Les auteurs qui écrivaient il y a un quart de siècle faisaient sans doute de l'écologie sans le savoir... Mais au fond, les étiquettes importent peu et ce manuel d'écologie appliquée à quelques cultures tropicales présente beaucoup de notions classiques et quelques nouvelles sous un jour nouveau et effectivement par là même, intéressant.

Les auteurs, tous trois professeurs à l'université de Sydney, indiquent dans la préface qu'ils ont insisté dans leur texte sur trois facteurs écologiques : l'atmosphère, le sol, les systèmes de culture et qu'ils n'ont fait que mentionner le rôle (pourtant déterminant parfois) des ennemis, animaux ou végétaux des cultures.

Dans la première partie du livre, qui constitue une introduction générale, sont étudiés, donc, les trois facteurs cités. L'exposé sur les systèmes de culture reprend le travail d'un des auteurs (Norman) en l'adaptant aux conditions tropicales. Le fil conducteur de

la classification de Norman est la durée de la phase de culture par rapport à la durée totale du cycle. On obtient ainsi une classification claire et satisfaisante.

Les chapitres sur le climat et les sols sont suffisamment développés pour les besoins du reste de l'ouvrage, où sont étudiées douze cultures d'importance variable et, pour la moitié d'entre elles, non exclusivement tropicales.

Ces cultures sont regroupées en trois catégories homogènes :

- les céréales : riz, maïs, sorgho, mil penicillaire ;
- les légumineuses : arachide, haricot, soja, pois chiche ;
- les producteurs de glucides non céréales : manioc, patate douce, igname, banane.

Pour chacune des trois catégories, une introduction de quelques pages situe l'importance de la production, le rôle dans l'alimentation humaine et la place occupée dans les systèmes de culture.

Pour chacune des douze cultures, un plan systématique est suivi. Il comporte l'étude des points suivants : taxonomie ; origine, évolution, centres de dispersion ; cycle de développement ; relations climat-culture ; relations sol-culture ; place dans les systèmes de culture.

Une très importante bibliographie (67 pages), classée par chapitres mais regroupée à la fin de l'ouvrage, montre que les auteurs ont retenu quelques références de chercheurs francophones (surtout quand il s'agit de textes rédigés en anglais !), ce qu'il était difficile de ne pas faire dans un domaine où la recherche agronomique française a beaucoup fait au cours des dernières décennies.

Ce manuel répond parfaitement aux objectifs visés par ses auteurs : « fournir un manuel fiable aux étudiants en agriculture tropicale aux niveaux moyen et supérieur et aider les chercheurs et les hommes de terrain ».

M.B.

39-29

SHKOLNIK (M.Y.A.). *Trace elements in plants*. (Oligo-éléments dans les plantes). Amsterdam, Elsevier, 1984. 1 livre relié 17 × 25, 463 p., tabl., fig., photos. (Collection Developments in crop science, Nb 6). ISBN 0-444-42320-6.

Le lecteur français remarquera tout d'abord en page 3 un portrait sur bois de Gabriel Bertrand, le découvreur du rôle du magnésium dans certains enzymes.

L'auteur, membre de l'Académie des sciences d'URSS (Institut de Botanique Komarov) a rassemblé dans cet ouvrage l'essentiel des connaissances sur ce sujet de première importance pour l'agronomie qu'est le rôle des oligo-éléments.

Après 51 pages consacrées aux aspects généraux, 220 pages étudient les rôles physiologiques de 17 oligo-éléments, dont par exemple le strontium, le titane, le sélénium.

La troisième partie traite en une cinquantaine de pages des oligo-éléments dans la biosphère et la quatrième partie étudie en une trentaine de pages des problèmes posés par les oligo-éléments en botanique.

Le chercheur appréciera une bibliographie comprenant 1 600 références environ. Regrettons que l'importance du sujet ait obligé l'auteur à contracter les développements : c'est ainsi que le silicium est expédié en trois pages. L'agronome regrettera également le silence de l'ouvrage sur le soufre et l'illustration rudimentaire et uniquement en noir et blanc des symptômes de carences.

R.D.

39-30

VICKERY (L.M.), et coll. de HALL (J.). *Ecology of tropical plants*. (Écologie des végétaux tropicaux). Chichester, John Wiley and Sons, 1984. 1 livre relié 23 × 15, 170 p., fig., tabl., photos, bibl., index. ISBN 0-471-9010-75.

Cet ouvrage est d'abord un manuel destiné aux étudiants en écologie, biogéographie, botanique, agriculture, désireux d'aborder plus particulièrement l'aspect tropical de ces diverses disciplines. L'auteur a pris pour base de la rédaction de son livre l'ouvrage classique (dans les pays anglophones) de R.F. Daubenmire (*Plantes et environnement. Manuel d'écologie*) en privilégiant les conditions écologiques des tropiques, conditions qu'elle connaît bien pour avoir travaillé et enseigné dans cette discipline dix ans en Afrique tropicale.

L'ouvrage est divisé en dix chapitres qui prennent en compte tous les facteurs régissant la vie des plantes. Ce sont :

- | | |
|----------------------------|-------------------------------------|
| 1 - Introduction | 6 - La végétation tropicale |
| 2 - Plantes et sol | 7 - Les introductions entre plantes |
| 3 - Plantes et eau | 8 - Plantes et animaux |
| 4 - Plantes et rayonnement | 9 - Les plantes et l'homme |
| 5 - Plantes et atmosphère | 10 - Recherches sur le milieu |

Le dixième et dernier chapitre, rédigé par le Professeur J. Hall de l'université de Dar es Salaam (Tanzanie), est une introduction à la méthodologie des divers types de mesures nécessaires en écologie. En une vingtaine de pages, le lecteur peut se faire une idée de la façon dont on appréhende les caractéristiques du sol, du climat, de l'érosion, etc., et avoir le désir d'en savoir plus.

À cet égard, les choses sont facilitées par une liste d'ouvrages ou d'articles dont la lecture est conseillée en fin de chaque chapitre. Ce manuel rédigé par un professeur pour des étudiants ne doit pas être négligé par d'autres catégories de lecteurs qui y trouveront de bonnes mises au point sur des sujets très débattus à l'heure présente tels que, pour n'en citer qu'un, l'influence de l'homme sur l'environnement et la dégradation de ce dernier, préoccupante dans maintes régions tropicales.

M.B.

39-31

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. *Meteorological aspects of certain processes affecting soil degradation, especially erosion*. (De quelques processus de dégradation du sol (érosion particulièrement) considérés du point de vue météorologique). Genève, WMO, 1983. 1 livre broché, 21 × 29,7, 149 p., fig., tabl., bibl., résumés angl., franç., russe, esp. (Technical Note n° 178 - WMO n° 591). ISBN 92-63-10591-X.

Cette « Note technique » (titre bien modeste, en vérité, pour ce véritable petit traité) de l'Organisation Météorologique Mondiale est tirée du rapport final d'un groupe de travail international. Ces spécialistes ont travaillé depuis fin 1974. Il s'agit donc d'un texte longuement mûri et élaboré, et donc sûr.

Les auteurs, après l'introduction et un historique succinct dans lesquels ils soulignent l'importance économique des phénomènes de dégradation du sol et précisent les limites de leur travail, passent à la description des phénomènes eux-mêmes et de leurs mécanismes.

Sont évoquées et analysées entre autres : l'action mécanique de l'impact des gouttes de pluie (effet « splash »), du vent, l'influence du couvert végétal, l'action de l'eau (submersion, ruissellement, lessivage, etc.), la salinisation, l'alcalinisation, l'acidification, les pollutions diverses. Le chapitre suivant reprend ces divers points, mais du point de vue du climatologue et de l'analyse physique et mathématique.

Enfin, le dernier chapitre rassemble quelques exemples typiques pris dans des conditions climatiques extrêmes soit tropicales (Côte d'Ivoire, Brésil, Colombie, Sénégal), soit glaciaires (Canada septentrional, Alaska).

Bien entendu, une étude de ce genre fait toujours apparaître des zones du savoir à peu près satisfaisantes et d'autres moins satisfaisantes que l'on souhaiterait mieux éclairer à l'avenir. C'est le cas en particulier de l'intensité des pluies, pour laquelle les données sont insuffisantes. L'implantation d'un réseau spécialisé serait indispensable. Beaucoup d'espoir est mis dans l'utilisation des valeurs recueillies par les satellites d'observation, notamment pour une meilleure compréhension des phénomènes de désertification.

M.B.

BIBLIOGRAPHIE ANALYTIQUE

Extrait de Tropical Stored Products Information, 1984, n° 47.

84-32

JILANI (G.), SU (H.C.F.), 1983. **Laboratory studies on several plant materials as insect repellants for protection of cereal grains.** (Études en laboratoire de plusieurs produits végétaux comme répulsifs contre les insectes des céréales). J. of Economic Entomology 76 (1) 154-157. Adresse des auteurs : Stored-Product Insects Research and Development Laboratory, PO Box 22909, Savannah, Georgia 31403 USA.

Le pouvoir de répulsion d'organes de trois plantes courantes au Pakistan, des rhizomes de curcuma ainsi que des feuilles de margousier (*Azadirachta indica*) et de fenugrec vis-à-vis d'adultes des ravageurs des céréales stockées *Tribolium castaneum* (Hbst.), *Sitophilus granarius* (L.) et *Rhyzopertha dominica* (F.) est évalué en laboratoire. Le plus efficace est le curcuma utilisé sous forme de poudre végétale contre *S. granarius* et *R. dominica* et d'extrait au solvant contre *T. castaneum*. Pour les trois végétaux, les extraits à l'éther de pétrole sont plus efficaces que les extraits à l'acétone ou à l'éthanol. L'extrait à l'éther de pétrole de fenugrec se détériore beaucoup plus rapidement que les mêmes extraits de curcuma ou de margousier. Le plus actif pour prévenir la pénétration de *R. dominica* est l'extrait à l'éther de pétrole de margousier.

84-33

Mc GAUGHEY (W.H.), 1983. **Compatibility of *Bacillus thuringiensis* and captan when used in a mixture for treating seed corn for moth control.** (Compatibilité entre *Bacillus thuringiensis* et le captan utilisés en mélange pour le traitement du blé contre les papillons). J. Economic Entomology 76, 897-898. Adresse des auteurs : U.S. Grain Marketing Research Laboratory, Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture 1515 College Ave., Manhattan, Kansas 66502.

Du captan (Orthocide) en suspension aqueuse à 58,6 mg de Al/ml, empêche la germination de spores de *Bacillus thuringiensis* Berliner (Dipel) mais ne les détruit pas. En dilution avec de l'eau, les spores incubées avec du captan pendant quatre heures germent et produisent des colonies sur des plaques de gélose. Le captan n'a pas d'effet sur la toxicité de *B. thuringiensis* vis-à-vis des teignes du cacao *Ephestia cautella* (Walker) et seulement un léger effet négatif sur sa toxicité vis-à-vis de la teigne de la farine *Plodia interpunctella* (Hübner) peut-être à cause de son effet sur les spores auxquelles cette

espèce est sensible. Le captan seul est légèrement tonique pour toutes ces espèces d'insectes, mais il n'augmente pas la toxicité de *B. thuringiensis* en mélanges.

84-34

PEREIRA (J.), 1983. **The effectiveness of six vegetable oils as protectants of cowpeas and bambara groundnuts against infestation by *Callosobruchus maculatus* (F.)** (Coleoptera : Bruchidae). (Efficacité de six huiles végétales pour la protection du niébé et du voandzou contre les infestations de *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptères : Bruchidae). J. Stored Products Research 19 (2) 57-62. Adresse des auteurs : Biologische Bundesanstalt für Land und Forstwirtschaft, Institut für Vorratsschutz D-1000 Berlin 33, Königin-Luise-Str. 19 ; Federal Republic of Germany.

De l'huile de margousier, de karite, d'arachide, de palme, de palmiste extraite selon la méthode traditionnelle et de l'huile d'arachide extraite industriellement sont évaluées comme agent de protection du niébé et du voandzou contre *Callosobruchus maculatus* (F.). Sur le niébé, seule l'huile de margousier réduit la ponte à la dose de 8 ml d'huile par kilo de graines. Sur le voandzou, l'huile de margousier, de palme et d'arachide (extraction industrielle) diminuent la ponte à 3 ml d'huile par kilo de graines, alors que l'huile de karite est efficace à 5 ml d'huile par kilo de graines. Avec le traitement à l'huile, le degré d'activité ovicide est plus élevé sur le voandzou que sur le niébé. Seule l'huile de margousier est active contre les larves. Même après 90 jours de stockage, la plus grande partie de l'activité toxique est retenue par les testa du niébé. L'huile de margousier à 8 ml d'huile par kilo de graines de niébé permet une bonne protection jusqu'à trois mois alors qu'avec 5 ml d'huile par kilo de voandzou la protection est assurée pendant six mois.

84-35

TORC'H (J.M. Le), 1983. **Étude en laboratoire de la sensibilité à l'anhydride carbonique et à l'azote de plusieurs espèces d'insectes des denrées stockées en vue d'une application à la désinsectisation des stocks.** Agronomie 3 (5) 399-406. Adresse des auteurs : INRA, Laboratoire des Insectes des Denrées, Centre de Recherches de Bordeaux, F 33140, Pont-de-la-Maye, France.

La sensibilité de plusieurs insectes nuisibles des denrées stockées à l'anhydride carbonique et à l'azote a été étudiée en laboratoire en France. Des groupes d'insectes (*Trogoderma granarium* Everts, *Carpophilus ligneus* Murr., *Alphitobius diaperinus* (Panz.), *Tenebrio molitor* L., *Tribolium confusum* Duv., *Ephestia kuehniella* Zell. (*Anagasta kuehniella*) and *Plodia interpunctella* (Hb.)) sont exposés, à différents stades de leur développement, à un flux continu de deux gaz ou d'air. Les réactions des insectes sont observées à 15, 18 et 25 °C et 85 % d'h.r., et le temps d'exposition nécessaire pour parvenir à une destruction de 99 % de la population est estimé. Les deux gaz sont actifs contre les ravageurs, six espèces résistant moins de dix jours d'exposition à toutes les températures et à tous les stades sauf à celui de l'œuf. Seules les larves de *Trogoderma granarium* survivent plus de vingt-cinq jours dans l'azote et près de dix-sept jours dans l'anhydride carbonique. On observe quelques variations entre les espèces, les stades et les températures. Les deux gaz n'ont pas toujours le même effet, en particulier aux températures les plus basses.

84-36

WHITE (N.D.G.), NOWICKI (T.W.), WATTERS (F.L.), 1983. **Comparison of fenitrothion and malathion for treatment of plywood and galvanized steel surfaces for control of the Red Flour Beetle (Coleoptera : Tenebrionidae) and the Rusty Grain Beetle (Coleop-**

tera : Cucujidae). (Comparaison entre le fenitrothion et le malathion dans le traitement des surfaces de bois contre-plaqué et de fer galvanisé dans la lutte contre *Tribolium castaneum* (Coleoptère : Tenebrionidae) et *Cryptolestes ferrugineus* (Coleoptère : Cucujidae). J. Economic Entomology, 76, 856-863. Adresse des auteurs : Agriculture Canada, Research Station, 195 Dafoe Road, Winnipeg, Manitoba, Canada R3T 2M9.

Des panneaux de contre-plaqué et de fer galvanisé sont traités par pulvérisation à 0,25 ou 0,50 g Al/m² de fenitrothion ou de malathion : les panneaux sont conservés à 25 ± 2 °C et soumis à des tests biologiques au bout de 1, 2, 4, 8, 16 et 35 semaines avec des adultes de *Tribolium castaneum* (Herbst) ou des adultes de *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens), à des périodes d'exposition de 1, 3 ou 6 h à 30 ± 1 °C et 75 ± 2 % d'h.r. La mortalité observée chez les insectes trois jours après l'exposition à l'insecticide est considérablement plus élevée que l'effet constaté immédiatement à la fin des périodes d'exposition. Sur trente-cinq semaines, le malathion se révèle nettement plus toxique que le fenitrothion à 0,50 g Al/m². Le type de surface n'affecte pas la toxicité relative des produits chimiques sauf pour le malathion à 0,50 Al/m². La mortalité chez *C. ferrugineus* est significativement plus élevée sur le fer que sur le contre-plaqué. L'absorption des deux insecticides par des graines de colza proches des surfaces métalliques est plus rapide et provoque des niveaux de résidus plus élevés que dans les graines proches du bois. Les niveaux de fenitrothion dans les graines de colza sont régulièrement plus élevés que les niveaux de malathion. Le malathion serait légèrement plus efficace que le fenitrothion pour le traitement des greniers vides aux mêmes doses d'application dans les conditions étudiées.

84-37

FERREIRA (W.A.), NAKAGAWA (J.), MUIR (W.E.), 1979. **Estudo do silo subterrâneo como um sistema de armazenagem de milho a granel.** (Un silo fosse pour le stockage du maïs). Revista Brasileira de Armazenamento (Brazil), 4 (2) 39-44. Adresse des auteurs : Faculdade de Ciencias Agrônomicas Universidade Estadual Paulista « Julio de Mesquita Filho » (UNESP), Botucatu, São Paulo, Brazil.

Du maïs (*Zea mays*) à 11,2 % de teneur en eau est conservé pendant six mois dans deux silos fosses de 4 m³ chacun revêtu d'un film de polyéthylène. L'un des silos est traité au remplissage à la phosphine tandis que l'autre ne reçoit aucun traitement. Pendant la durée du stockage, la température des grains, la température du sol à 0,20 m de profondeur, la température de l'air, la teneur en CO₂ et O₂ du silo, la faculté germinative, la teneur en eau et l'acidité de l'huile des grains sont mesurés. Il apparaît que le silo non traité constitue un moyen pratique et efficace de conservation du maïs jusqu'à six mois.

84-38

COGBURN (R.), BOLLIH (C.N.), MEOLA (S.), 1983. **Factors that affect the relative resistance of rough rice to Angoumois Grain Moths and Lesser Grain Borers.** (Facteurs affectant la résistance relative du paddy à l'alucite des grains *Sitotroga cerealella* (Olivier) et la bostryche des grains *Rhyzopertha dominica* (F.). Environmental Entomology 12, 936-942. Adresse des auteurs : ARS, USDA, Rice Research, Beaumont, Texas 77706.

Des variétés de riz commerciales sensibles sont comparées à des variétés de la Collection mondiale résistantes vis-à-vis de l'alucite des grains (*Sitotroga cerealella*) (Olivier) et la bostryche des grains (*Rhyzopertha dominica* (F.)). Contrairement à la date de plantation, les balles imparfaites favorisent les infestations de papillons. La fécondité des souches d'alucite des grains, sauvages et domestiques, varie mais n'affecte pas la résistance relative des variétés.

Les variétés résistantes à l'alucite sont également moins sensibles à la bostryche ($r = 0,96$). Les différences morphologiques du faisceau vasculaire central dans la cicatrice de l'abscission affectent la capacité de pénétration de l'alucite dans les grains à balles intactes.

84-39

PRAKASH (A.), PASALU (I.C.), MATHUR (K.C.), 1983. **Satisfar : a paddy seed protectant in storage.** (Satisfar : un agent de protection pour le paddy stocké). Pesticides 17 (2) 24-25. Adresse des auteurs : Division of Entomology, Central Rice Research Institute, Cuttack 753006, Orissa, India.

Devant le développement de la résistance constaté chez certains insectes nuisibles des stocks à de nombreux produits chimiques utilisés pour la protection du riz stocké, l'etrimfos (Satisfar) a été testé en Orissa, Inde. Ce produit a été appliqué en solution aqueuse à 9-21 mg de produit toxique par kilo de riz, soit directement sur les grains par traitement de surface soit à des sacs de toile par trempage. Des grains traités dans des sacs non traités et des grains non traités dans des sacs traités ont été conservés pendant neuf mois puis comparés. Le traitement direct des grains s'est révélé plus efficace que le traitement des sacs à toutes les doses et pendant toute la période de stockage pour la protection du riz contre *Sitotroga cerealella* (Ol.), *Rhyzopertha dominica* (F.) et *Sitophilus oryzae* (L.). Même à 21 mg par kilo, l'etrimfos n'a pas permis d'obtenir une protection totale pendant plus de trois mois, mais au bout de neuf mois, les grains traités et les grains dans les sacs traités n'ont présenté que 1,08 et 2,5 % de dommages contre 7,98 et 8 % pour l'absence de traitement. Les traitements n'ont pas affecté la germination.

84-40

REDDY (S.R.), 1980. **Studies on some aspects of harvesting, threshing and drying of high yielding varieties of rice (*Oryza sativa* L.) seeds.** (Études sur certains aspects de la récolte, du battage et du séchage de semences de variétés hautement productives de riz (*Oryza sativa* L.)). Mysore Journal of Agricultural Sciences, 15, 356-357. Adresse des auteurs : c/o University of Agricultural Sciences, Bangalore, India.

Des études ont été réalisées pendant la saison d'été de 1978 pour déterminer les paramètres optimaux de récolte, battage et séchage pour obtenir des semences de qualité supérieure. La maturité physiologique à 27 % de teneur en eau des semences chez 3 cultivars a été atteinte 27, 22 et 19 jours après 50 % d'anthèse. Le rendement au battage s'est accru avec une diminution de la teneur en eau des graines de 27 à 16 %, tant pour le battage manuel que mécanique, mais les dommages mécaniques constatés avec le batteur Mysore Mini ont été maximums à 27 et 16 % et minimums à 24 et 20 %. Avec le battage manuel, les dommages causés aux semences ont été faibles et moins affectés par la teneur en eau des semences. Une augmentation de la température de l'air de séchage de 40 à 70 °C a augmenté le taux et le rendement du séchage mais a diminué le temps de séchage et l'efficacité de la chaleur. L'augmentation du poids de chargement a accru le temps de séchage, l'efficacité de la chaleur et le rendement du séchage mais a diminué son taux. La température de l'air de séchage et la teneur en eau initiale ont grandement influencé la viabilité des semences. La perte de viabilité a été plus brutale à une teneur en eau initiale plus élevée associée à une température de séchage supérieure. La bonne température de l'air de séchage pour toutes les semences a été de 45 °C. Les meilleurs résultats ont été obtenus avec des graines fraîchement récoltées à 24 % de teneur en eau séchées en trois étapes à des températures de l'air de séchage de 50, 55 et 60 °C avec maintien constant du taux de chargement à 150 kg/m² et un débit d'air de 33 m³/min. m² de surface de plateau.

SUDHAKAR (T.R.), PANDEY (N.D.), 1983. **Relative resistance of raw and parboiled rice varieties to the rice weevil *Sitophilus oryzae*.** (Résistance relative de variétés de riz brut et de riz étuvé au charançon du riz, *Sitophilus oryzae* L.). Indian Journal of Entomology 43 (3) 279-282. Adresse des auteurs : Department of Entomology, CSA University of Agriculture and Technology, Kanpur, Uttar Pradesh, India.

Une étude réalisée au laboratoire en Inde montre que les grains de riz brut sont préférés aux grains étuvés par *Sitophilus oryzae* (L.) pour la ponte et le développement. La période de développement est plus longue sur le riz étuvé que sur le riz brut.

SUDHAKAR (T.R.), PANDEY (N.D.), 1983. **Chemical factors in resistance of wheat, raw and parboiled rice varieties to *Sitophilus oryzae* (L.). I - Amino acid.** (Facteurs chimiques de la résistance de variétés de blé, de riz brut et étuvé à *Sitophilus oryzae* (L.) I - Acides aminés. Indian Journal of Entomology 43 (4) 364-368. Adresse des auteurs : Department of Entomology, C.S. Azad University of Agriculture and Technology, Kanpur, Uttar Pradesh, India.

L'effet de la teneur en acides aminés de variétés de blé résistantes et sensibles et de grains de riz brut et étuvé sur le comportement d'adultes de *Sitophilus oryzae* (L.) de 1-3 jours, est étudié en laboratoire. L'infestation d'insectes diminue le nombre total d'acides aminés. Les variétés sensibles des trois types de grains présentent plus d'acides aminés que les variétés résistantes. Pour son alimentation, l'insecte semble préférer certains acides aminés à d'autres.

TSUGITA (T.), OHTA (T.), KATO (H.), 1983. **Cooking flavor and texture of rice stored under different conditions.** (Flaveur à la cuisson et texture du riz stocké dans différentes conditions). Agri-

cultural and Biological Chemistry, 47 (3) 543-549. Adresse des auteurs : Dep. of Agric. Chem. Univ. of Tokyo, Bunkyo-ku, Tokyo 113, Japan.

Du riz conservé à 40 °C et 80 % d'h.r. pendant soixante jours, et considéré comme vieux au jugé, a présenté, cuit, une différence significative de qualité de cuisson et de texture comparé à du riz conservé à 4 °C.

Une plus grande quantité d'acides phénoliques libres ayant été découverte dans le riz stocké à 40 °C, on pense que l'augmentation des acides phénoliques pendant le stockage pourrait en partie jouer un rôle dans les propriétés de cuisson du riz vieux. Des analyses par chromatographie en phase gazeuse des produits volatils du riz cuit ont montré la présence de plus importantes quantités de pentanal, hexanol, heptanol, alkenals, cétones, 2-pentylfuran, 4-vinylphénol et de plus petites quantités de 1-pentanal, 1-hexanol, dans le riz conservé à 40 °C que dans celui stocké à 4 °C. Le rapport entre les modifications constatées dans les composants volatils et la flaveur du riz vieux cuit est discuté.

WILLS (R.B.H.), MOELJOPAWIRO (S.), MOORE (L.), 1983. **Short-term storage of high moisture rice in sealed containers.** (Stockage à court-terme de riz à teneur en eau élevée dans des conteneurs hermétiquement fermés). Tropical Agriculture (Trinidad and Tobago) 60 (1) 36-40. Adresse des auteurs : Department of Food Technology, University of New South Wales, Kensington, New South Wales, Australia.

Des études en laboratoire poursuivies en Australie montrent que du paddy re-humidifié contenant 20 % d'eau peut être conservé pendant six semaines à 30 °C dans des récipients en verre ou des sacs de polyéthylène hermétiques lorsqu'il est emballé à 22-50 g/100 ml. On ne constate aucune germination ou moisissure. À des taux d'emballage inférieurs, on observe une altération en 1-3 semaines. Pour le riz à 30 % de teneur en eau le stockage est satisfaisant à 10-50 g/ml.

MÉMOIRES ET TRAVAUX DE L'IRAT

1. *Eldana saccharina*, foreur des tiges de canne à sucre en Afrique par Marc Betbeder-Matibet

1983 - 192 pages - Prix : 90,00 FF.

2. Lutte contre la pyriculariose du riz 1983 - 55 pages - Prix : 60,00 FF.

3. Rice blast and its control 1983 - 53 pages - Prix : 60,00 FF.

4. Production et contrôle des semences de riz en zone tropicale par R. Vandevenne 1983 - 497 pages - Prix : 150,00 FF.

5. Production et contrôle des semences de maïs en zone tropicale par R. Vandevenne 1983 - 545 pages - Prix : 150,00 FF.

6. *Gonizus procerae*, biologie et fécondité en laboratoire par J. Coquard 1984 - 44 pages - Prix : 60,00 FF.

7. Les systèmes de culture du riz pluvial 1984 - 98 pages - Prix : 120,00 FF.

Pour tous renseignements, écrire à l'Institut de Recherches Agronomiques Tropicales - Service des Éditions
45 bis, avenue de la Belle-Gabrielle, 94130 Nogent-sur-Marne

Recommandations aux auteurs

Généralités

L'Agronomie tropicale publie des résultats de recherches scientifiques et des synthèses de chercheurs de l'IRAT ou de chercheurs étrangers à l'Institut.

Les articles doivent être adressés à la Direction de la Coordination et des Programmes de l'IRAT (1) qui se charge de recueillir l'avis des spécialistes du Comité de Lecture et peut être conduite à demander aux auteurs d'apporter certaines modifications à leur texte initial. L'article, une fois accepté, est transmis au Service des Editions et de l'Information (1).

Le manuscrit

La publication d'un manuscrit est d'autant plus rapide que l'auteur envoie un texte soigneusement vérifié : lisibilité, conformité et uniformité des symboles, abréviations, termes techniques, noms propres, etc.

Le manuscrit doit être dactylographié sur un papier format 21 x 29,7, avec un double interligne et une marge suffisante à gauche, au recto seulement. Chaque page est numérotée. Au total, la longueur d'un article, illustrations comprises, ne doit pas excéder trente pages dactylographiées.

Au début de l'article, on place, dans l'ordre :

- le titre, aussi concis que possible
- les noms du ou des auteurs précédés des initiales de leurs prénoms
- un résumé en français de 250 mots au maximum
- des mots-clés pour l'indexation documentaire (5 à 10 descripteurs)
- en bas de première page, la qualité de chaque auteur (ou son titre) et son adresse professionnelle.

Les références bibliographiques sont citées dans le texte sous la forme suivante :

(JACQUOT et ARNAUD, 1979). Lorsque la référence comporte plus de trois auteurs, on ne mentionne que le premier, suivi de *et al.*

A la fin de l'article, les références constituant la bibliographie sont citées par ordre alphabétique des noms d'auteurs, et par ordre de dates pour un même auteur. La bibliographie sera présentée selon les modèles suivants :

JACQUOT M., ARNAUD M., 1979. Classification numérique de variétés de riz. *L'Agron. trop.*, 34 (2) : 153-173.

FAUCONNIER R., BASSEREAU D., 1970. La canne à sucre. Paris, Maisonneuve et Larose, 468 p.

JONES H.G., 1979. Stomatal behavior and breeding for drought resistance. *In* : Stress physiology in crop plants, Mussel and Staples Ed., New-York, Wiley Interscience, p. 407-428.

Les tableaux, dactylographiés chacun sur une page séparée, sont numérotés en chiffres romains dans l'ordre de leur apparition dans le texte. On veillera à ce que les titres des tableaux soient explicites mais concis, et à ce que toutes les unités de mesure soient bien indiquées.

Les figures, chacune sur une feuille séparée, sont numérotées en chiffres arabes. Elles sont, dans la mesure du possible, réalisées sur calque.

Les photographies sont fournies en positifs noir et blanc, bien contrastés.

Correction des épreuves

Une épreuve est soumise aux auteurs par le Service des Editions, auquel ils doivent la retourner après une lecture très attentive.

Tirages à part

L'éditeur fournit 25 tirages à part gratuits par article. Si l'auteur désire des exemplaires supplémentaires, il doit les commander en même temps qu'il retourne les épreuves corrigées.

(1) IRAT 45 bis, avenue de la Belle Gabrielle, 94130 Nogent-sur-Marne, France

ÉCOLOGIE OPÉRATIONNELLE

du 21 janvier au 20 février 1985

OBJECTIFS DU STAGE

- ◇ Introduire la notion d'écologie opérationnelle en prise directe avec les problèmes de développement en régions chaudes.
- ◇ Présenter les nouveaux outils méthodologiques de diagnostic et de pronostic en écologie opérationnelle.
- ◇ Réduire l'importance des conséquences inattendues des aménagements agricoles.
- ◇ Détecter précocement toute anomalie compromettant les objectifs de développement.
- ◇ Établir des rapports de confiance entre les développeurs et les écologistes-conseils.

AUDITEURS

Développeurs et chefs de projets soucieux de protéger les aménagements, de valoriser les investissements agricoles, de faire des choix de projets.

Écologistes désireux de servir le développement en participant à la conception et à l'application des plans d'opérations.

Techniciens supérieurs, ingénieurs débutants ou confirmés intéressés par les conséquences attendues et les effets imprévus de la création de nouveaux agro-systèmes en régions chaudes.

PROGRAMME

Formation intensive animée par les chercheurs du GERDAT-PRIFAS avec la collaboration de plusieurs professeurs et chercheurs français et étrangers spécialement invités pour la circonstance. L'accent est mis sur les aspects méthodologiques et sur l'analyse de cas concrets.

Quelques sujets proposés : les écologies, la régionalisation écologique, les protocoles d'enquête, les éco-schémas, les étho-schémas, les bio-modèles, la simulation opérationnelle, les mesures contre-aléatoires, la prévision du futur, le profil du polyvalent en écologie opérationnelle, le nouveau bipôle développement et écologie d'action.

Inscriptions

CNEARC, Département formation continue,
Lavalette Av. du Val de Montferrand, BP 5098
34033 Montpellier Cedex Tél. (67) 54 55 33 Télex 490549F

Frais de formation : 10 000 FF
(déplacement, hébergement, repas non inclus).

Date limite : 24 décembre 1984 (selon places disponibles)

Abonnements 1984, en francs, hors taxes *

	Abonnement annuel	Documentation analytique	Fascicule séparé
France États francophones d'Afrique et Madagascar	178	27	54
Autres pays	216	32	65

* TVA en sus pour CEE (dont France) : 4 %
Guadeloupe, Martinique, Réunion : 2 %

Directeur-Gérant : R. DADANT C.O.P.59.449

Imprimerie de Montligeon 61400 Mortagne au Perche

Maquette et mise en pages GRAPHÉDIT

Agriculteurs, agronomes, vulgarisateurs, agents du développement agricole, botanistes, écologistes, enseignants, géographes, vous qui êtes confrontés aux problèmes des mauvaises herbes dans les cultures tropicales, le manuel :

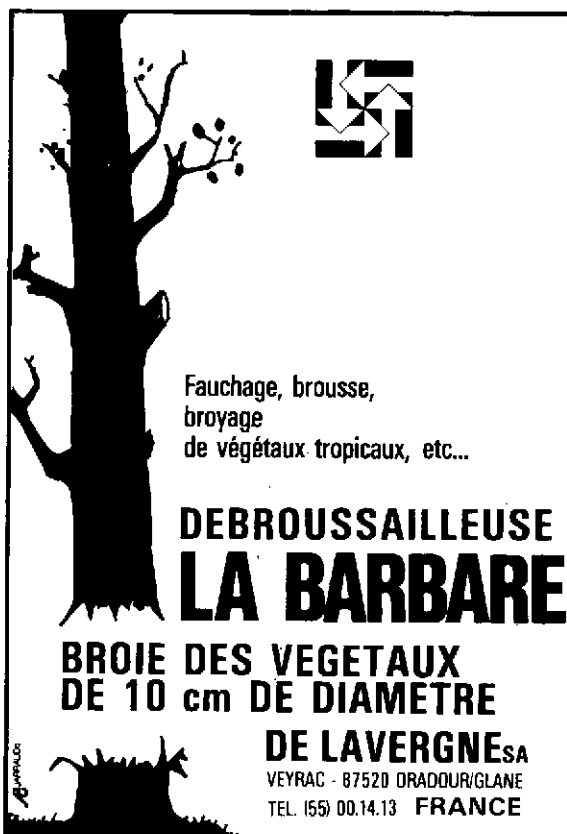
ADVENTICES TROPICALES

FLORE AUX STADES PLANTULE ET ADULTE
DE 123 ESPÈCES AFRICAINES OU PANTROPICALES

vous concerne. Conçu à votre intention par les éditions du ministère des Relations extérieures - coopération et développement - et le Groupe de travail "Désherbage des cultures tropicales" du GERDAT-COLUMA.

• Prix de vente, toutes taxes comprises et frais de port inclus : - en France : 220 FF
- à l'étranger : 250 FF

• Diffusion assurée par GERDAT-PRIFAS Adventices tropicales
BP 5035, 34032 Montpellier Cedex, France.



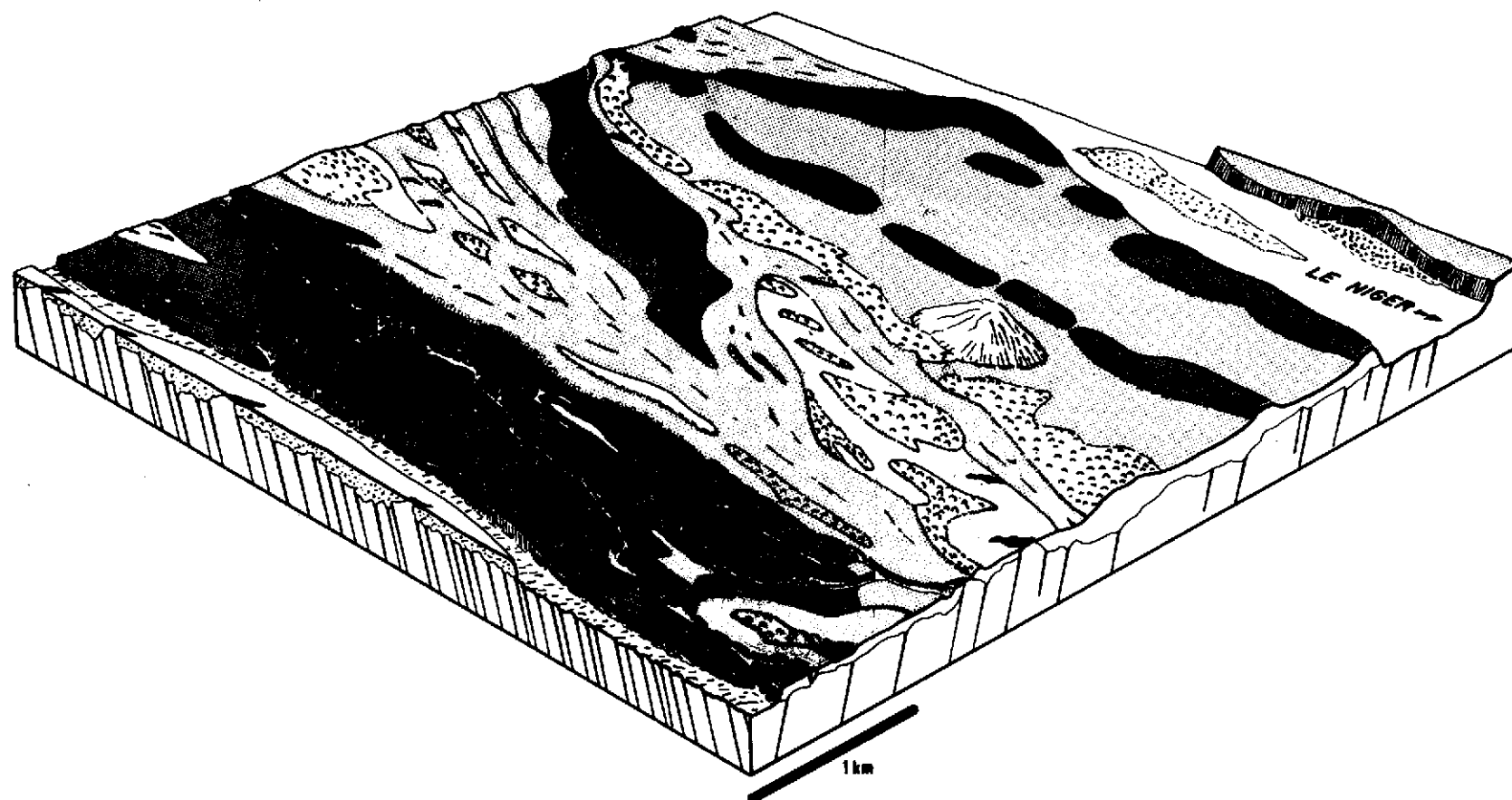
Fauchage, brousse,
broyage
de végétaux tropicaux, etc...

**DEBROUSSAILLEUSE
LA BARBARE**

**BROIE DES VÉGÉTAUX
DE 10 cm DE DIAMÈTRE**

DE LAVERGNE^{SA}
VEYRAC - 87520 ORADOUR/GLANE
TEL. (55) 00.14.13 FRANCE

Présent au S.I.M.A. de PARIS



Plaine non inondable



Lambeaux de la haute terrasse graveleuse



Terrasse sub-récente à sols brun-rouge polyphasés, sablo-argileux.



Alluvions récentes peu ou pas inondables.
a) Modelé régulier - b) Modelé en micro-dunes.

Plaine inondable



Bancs de sable arasés et incisés en chenaux ± colmatés d'argile.

Plaine inondable haute à micro relief ondulé et sols hydromorphes.

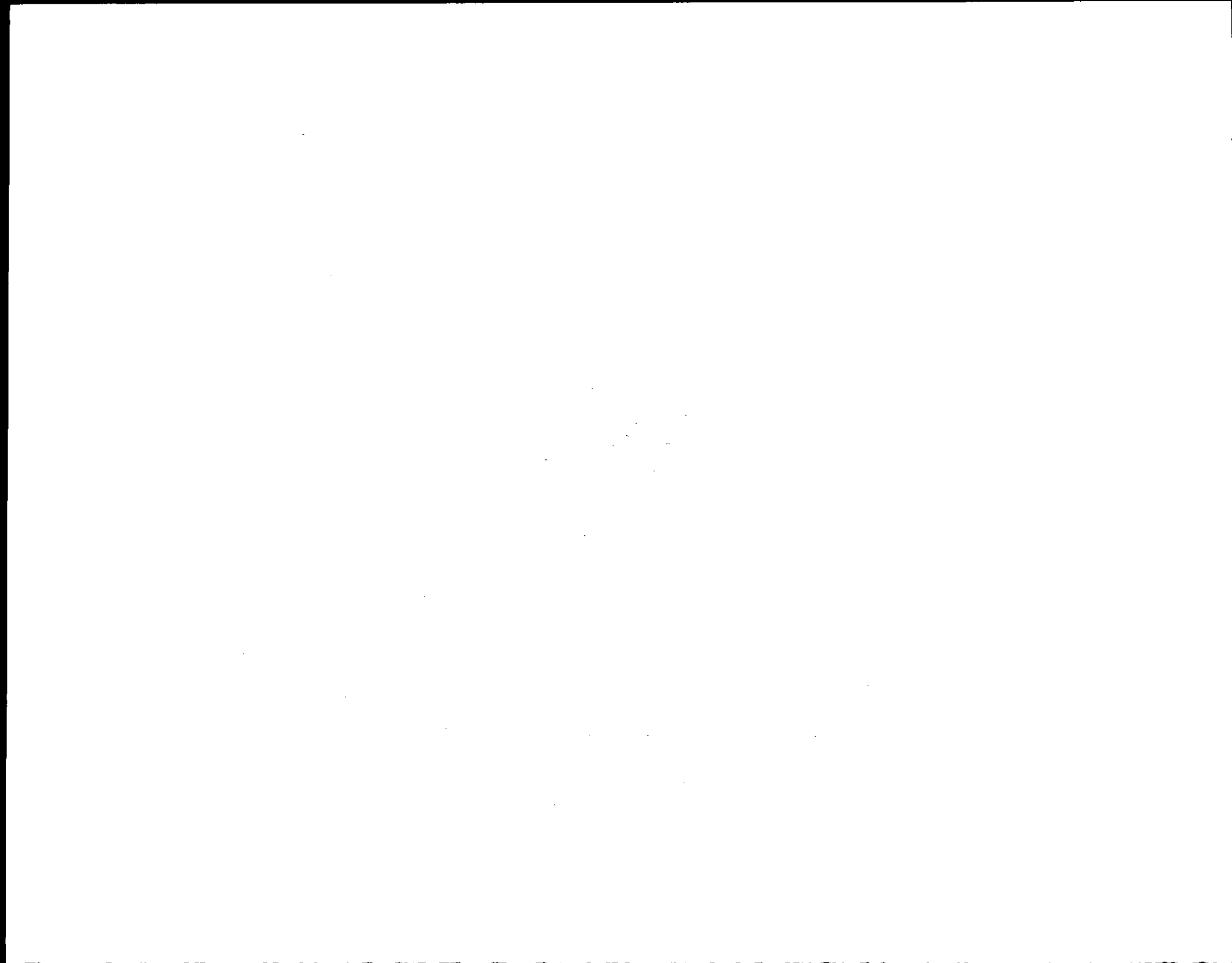


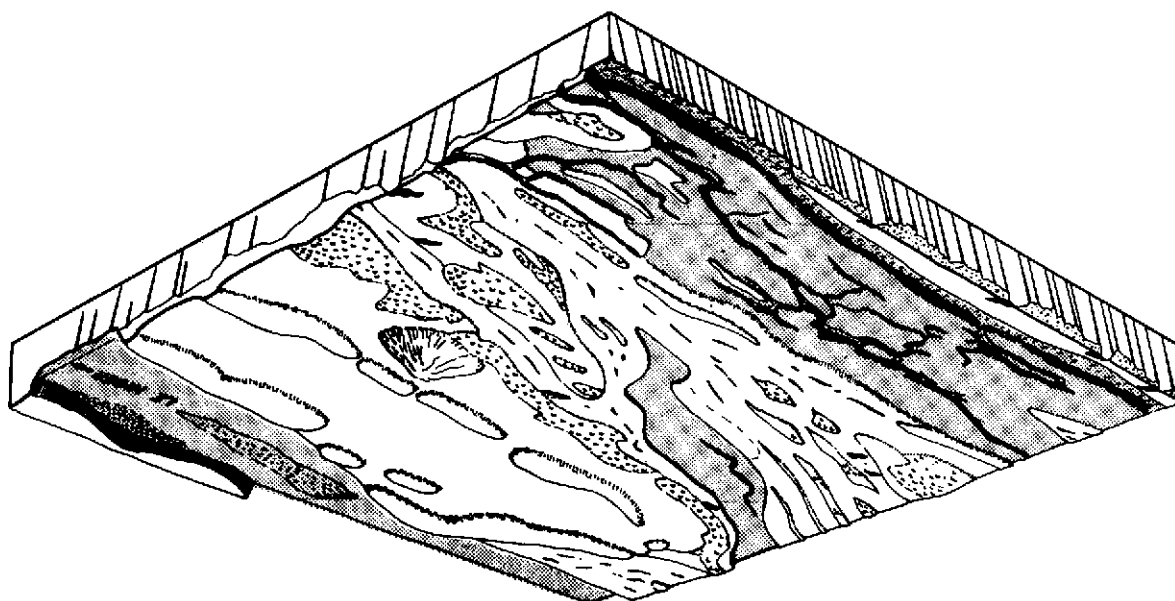
Lambeaux de la terrasse argileuse.



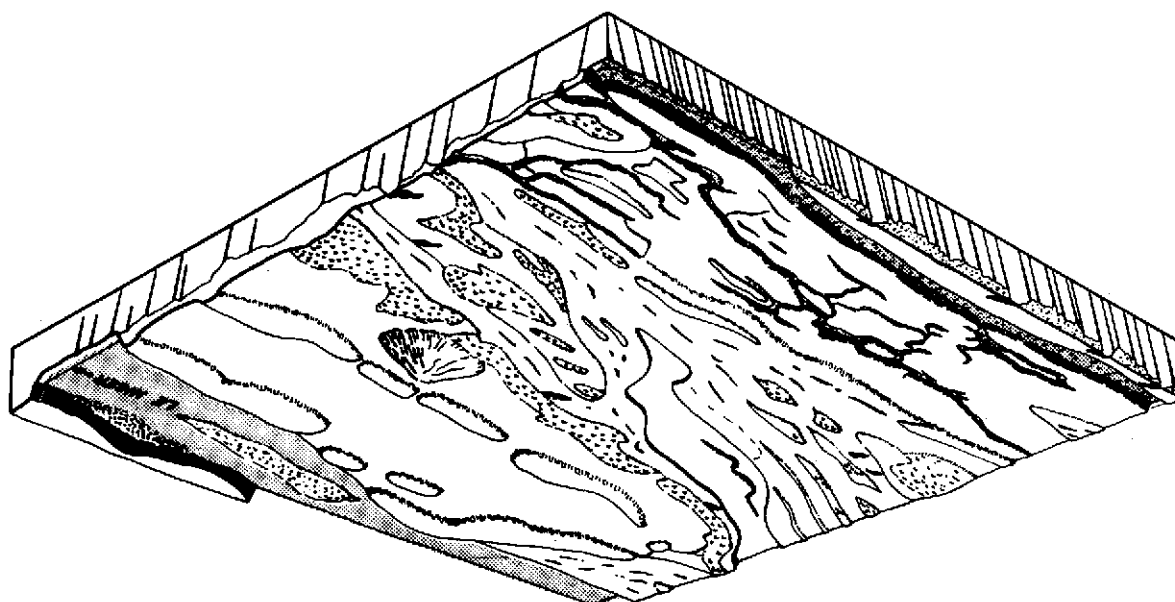
Plaine inondable basse à sols argileux hydromorphes.

P1.1 : Bloc diagramme illustrant la répartition des différentes parties de la plaine alluviale dans l'île d'Ansongo.
En bleu et violet : plaine inondable ; en jaune et orangé : plaine non inondable.





Pl. IIb : La plaine alluviale au début de la crue. Seule la plaine inondable basse est submergée (août à septembre).



Pl. IIa : La plaine alluviale à l'étiage (mai à mi-août).

1. The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions and the role of the accounting system in providing reliable financial information. It emphasizes the need for transparency and accountability in financial reporting.

2. The second part of the document outlines the various methods used to collect and analyze financial data, including the use of statistical techniques and the application of mathematical models. It highlights the importance of using appropriate methods to ensure the accuracy and reliability of the results.

3. The third part of the document discusses the challenges faced by organizations in managing their financial resources and the role of the accounting system in addressing these challenges. It emphasizes the need for effective financial management and the importance of using the accounting system to monitor and control financial performance.

4. The fourth part of the document discusses the role of the accounting system in providing financial information to management and the importance of using this information to make informed decisions. It emphasizes the need for accurate and timely financial information and the role of the accounting system in providing this information.

5. The fifth part of the document discusses the role of the accounting system in providing financial information to external stakeholders and the importance of using this information to build trust and confidence. It emphasizes the need for transparency and accountability in financial reporting and the role of the accounting system in providing this information.

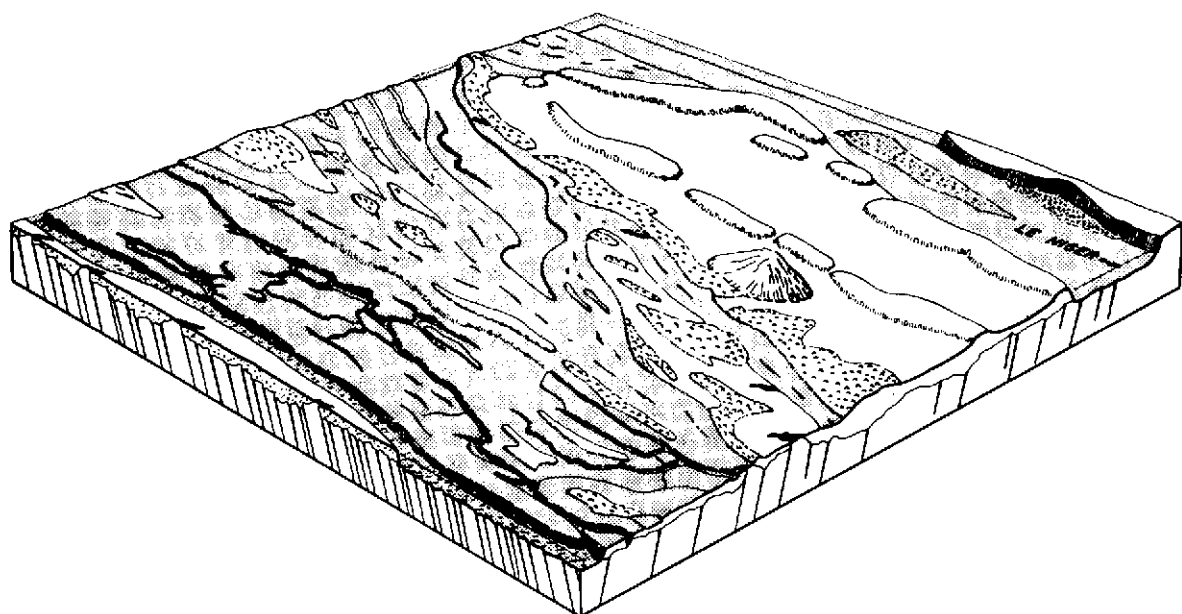
6. The sixth part of the document discusses the role of the accounting system in providing financial information to the public and the importance of using this information to make informed decisions. It emphasizes the need for accurate and timely financial information and the role of the accounting system in providing this information.

7. The seventh part of the document discusses the role of the accounting system in providing financial information to the government and the importance of using this information to make informed decisions. It emphasizes the need for accurate and timely financial information and the role of the accounting system in providing this information.

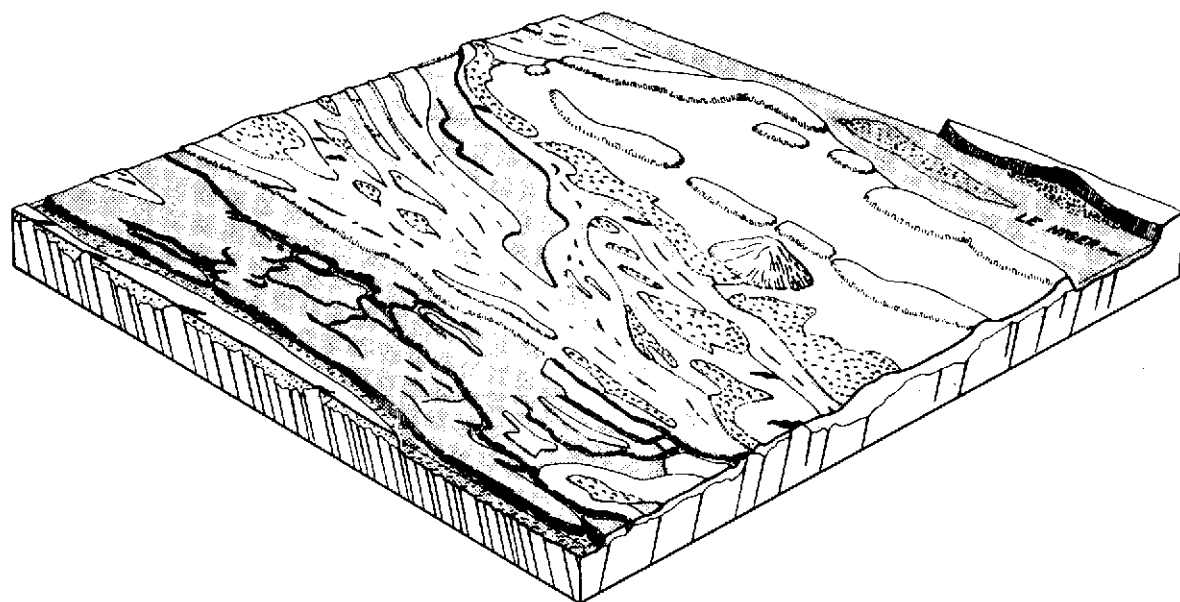
8. The eighth part of the document discusses the role of the accounting system in providing financial information to the media and the importance of using this information to make informed decisions. It emphasizes the need for accurate and timely financial information and the role of the accounting system in providing this information.

9. The ninth part of the document discusses the role of the accounting system in providing financial information to the public and the importance of using this information to make informed decisions. It emphasizes the need for accurate and timely financial information and the role of the accounting system in providing this information.

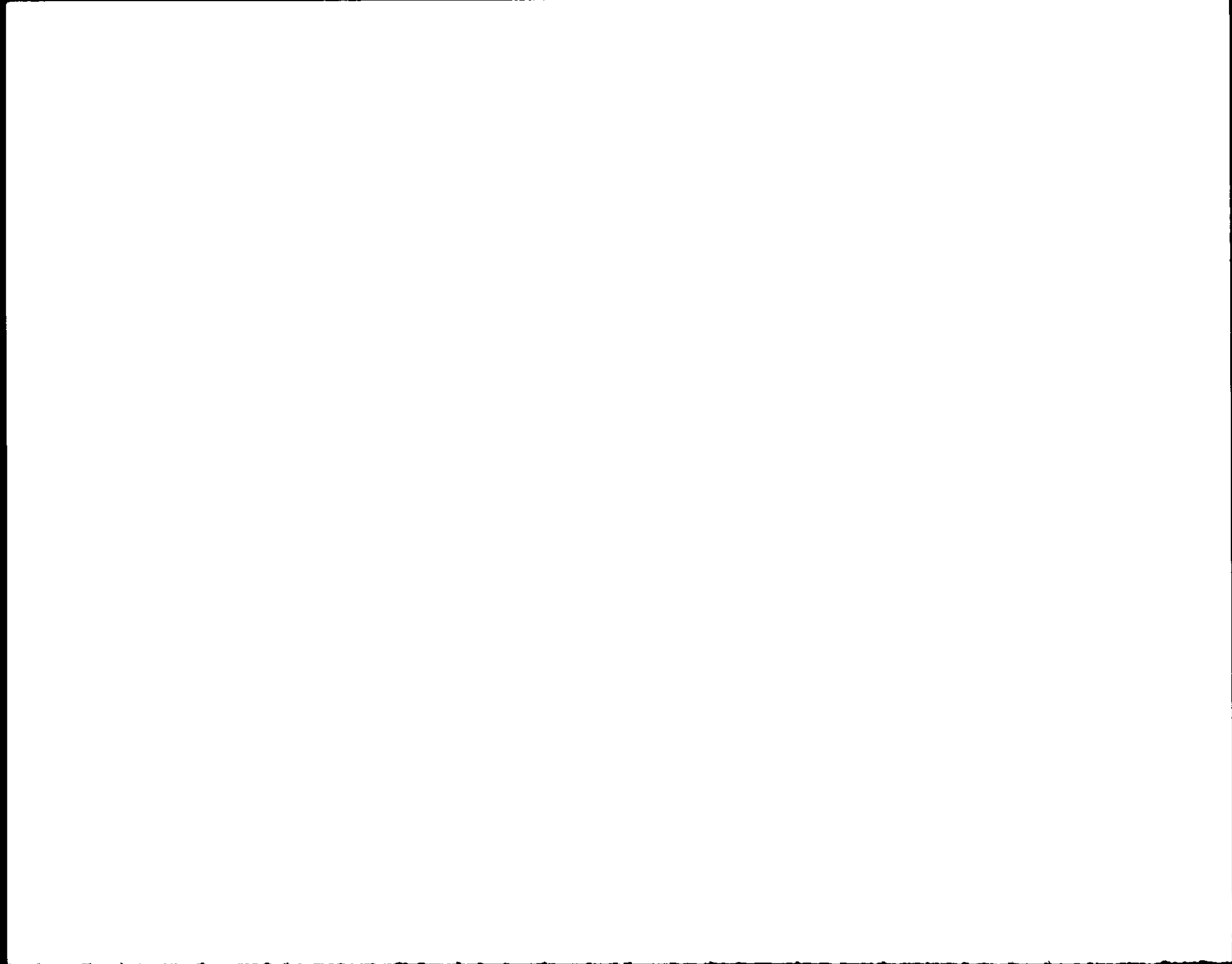
10. The tenth part of the document discusses the role of the accounting system in providing financial information to the public and the importance of using this information to make informed decisions. It emphasizes the need for accurate and timely financial information and the role of the accounting system in providing this information.

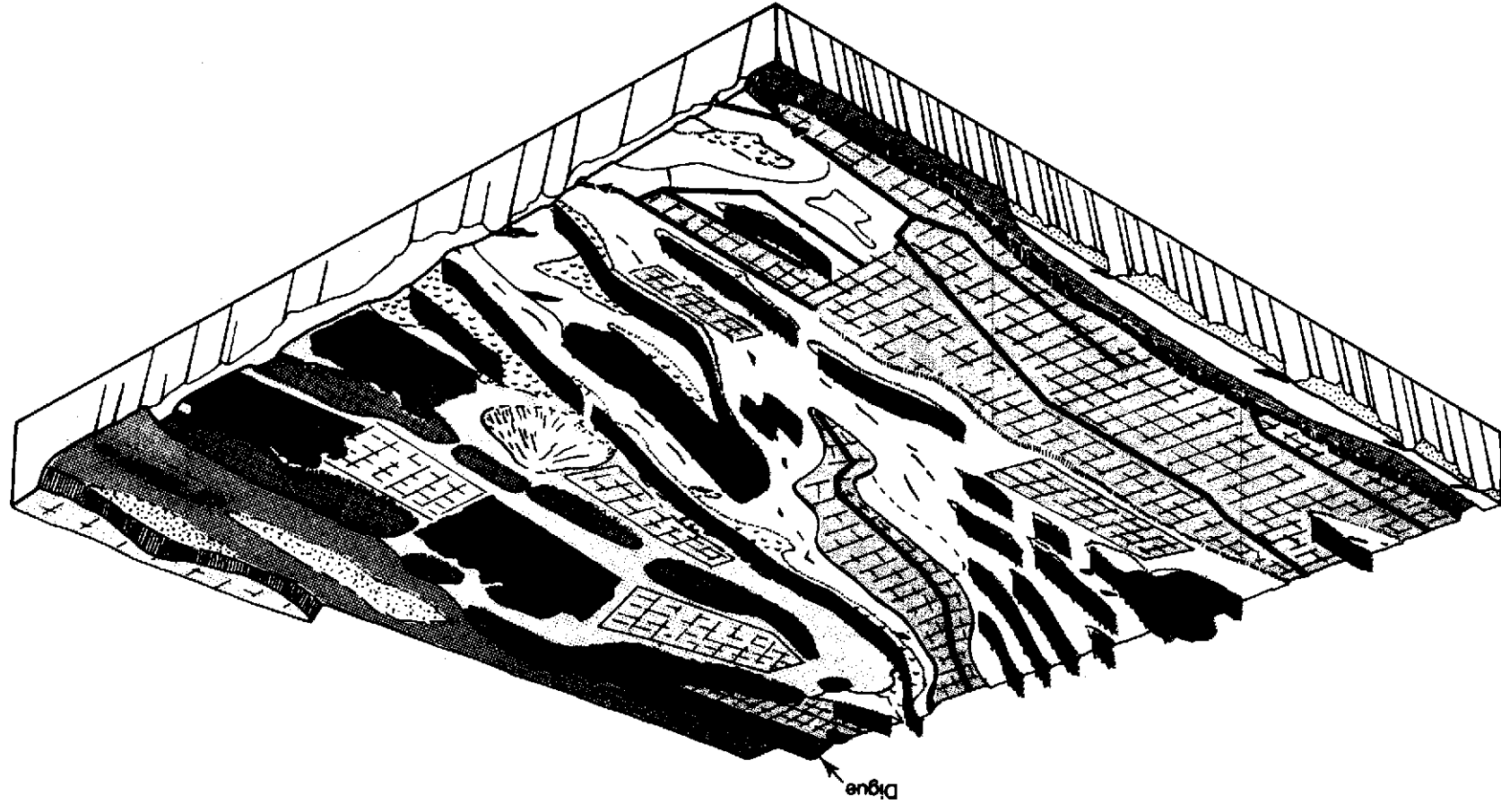


Pl. III a : La plaine alluviale au maximum de la crue (octobre à mi-mars). Seuls la haute terrasse et les bancs de sable récents de la plaine inondable émergent.



Pl. III b : La plaine alluviale en mars-avril, au retrait des eaux. La plaine inondable basse reste submergée. La plaine inondable haute montre encore des zones inondées dans les sillons inter-lévées. Les défluent sont encore pleins.





- Brise-vent
 - Rizières
- Autres cultures irriguées
 - Palmier-dattier

Pl. IV : Vue schématique de la plaine alluviale telle qu'elle pourrait être aménagée.

