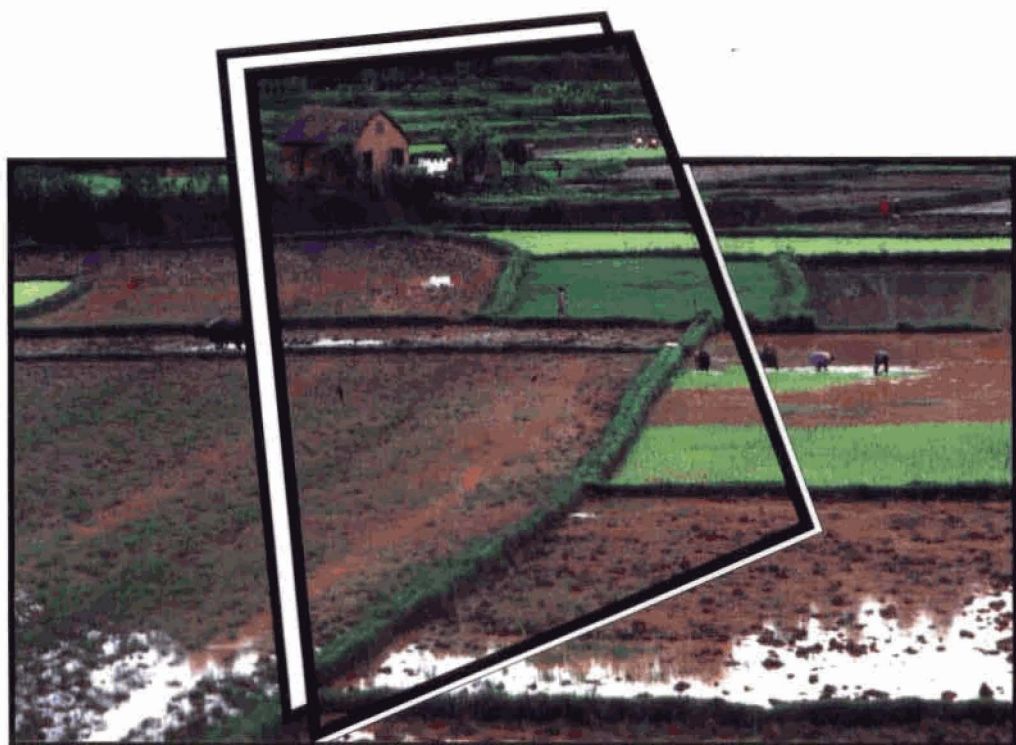


colloques  
et  
séminaires

# La conduite du champ cultivé

## Points de vue d'agronomes

Éditeur scientifique  
Anne Biarnès



CRISTOM  
éditions

**La conduite  
du champ cultivé  
Points de vue d'agronomes**

La conduite  
du champ cultivé  
Points de vue  
d'agronomes

---

Éditeur scientifique  
Anne Biarnès

Éditions de l'Orstom  
INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
POUR LE DEVELOPPEMENT EN COOPERATION

collection Colloques et Séminaires

Paris, 1998

**Maquette**

Catherine Plasse

**Mise en page**

AXO Conseils et Services  
2 place Druant – 02000 Merlieux

**Traduction**

Owen Parkes Associates  
1 rue H. Rabourdin – 78140 Vélizy

**Fabrication**

Marie-Odile Charvet Richter

**Maquette de couverture**

Michelle Saint-Léger

*Photo de couverture*

Pierre Milleville : « Travaux en rizières,  
Hautes Terres de Madagascar »

La Loi du 1er juillet 1992 (code de la propriété intellectuelle, première partie) n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article L. 122-5, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective », et d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (alinéa 1er de l'article L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon passible des peines prévues au titre III de la loi précitée.

© Orstom éditions, 1998

ISSN : 0767-2896

ISBN : 2-7099-1387-9

# Remerciements

La relecture scientifique des différentes contributions proposées pour cet ouvrage a été effectuée par Mmes et MM. : Christine Aubry, Anne Biarnès, Jacques Caneill, Jean-Christophe Castella, Antoine Cornet, Anne Gouyon, Martine Guerif, Hubert Guerin, Florence Jacquet, Pierre-Yves Le Gal, Patrice Levang, Jean-Marc Gastellu, François

Maraux, Françoise Maxime, Jean-Marc Meynard, Pierre Milleville, François Papy, Jean-Christophe Poussin, Jean-Pierre Raffailac, Anneke de Rouw, Thierry Ruf, Georges Serpantié, Guy Trebuil, Bernard Seguin, Pierre Siband, Jean-Claude Talineau, Jean Joinville Vacher. Qu'ils en soient ici remerciés.



## Liste des auteurs

- Anne **Biarnès**, Orstom, s/c Inra, rue Fernand Christ, 02007 Laon, France.
- Roland **Bosseno**, Orstom - Senami, CP 9214, La Paz, Bolivie.
- Jean-Christophe **Castella**, Orstom, Laboratoire d'études agraires, BP 5045, 34032 Montpellier Cedex 1, France.
- Roger **Calvez**, Orstom, AP 1711, 6596 Quito, Equateur.
- Carmen **del Castillo**, Orstom-Senami, CP 9214, La Paz, Bolivie.
- Jean-Philippe **Colin**, Orstom, Laboratoire d'études agraires, BP 5045, 34032 Montpellier Cedex 1, France.
- Jacques **Dizes**, Orstom † 1996
- Isabelle **Dounias**, Cirad-IRA-Orstom, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex 1, France.
- Didier **Genin**, Orstom, Laboratoire d'études agraires, BP 5045, 34032 Montpellier Cedex 1, France.
- Luc **Gilot**, 35 av. Berthelot, 38100 Grenoble, France. Ancien allocataire de recherche de l'Orstom.
- Pierre-Yves **Le Gal**, Cirad-SAR, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex 1, France.
- Patrice **Levang**, Orstom, Laboratoire d'études agraires, BP 5045, 34032 Montpellier Cedex 1, France.
- Jean-Marc **Meynard**, Inra, Laboratoire d'agronomie Inra-INA P-G, 78850 Thiverval-Grignon, France.
- Pierre **Milleville**, Orstom, BP 434, Antananarivo 101, Madagascar.
- François **Papy**, Inra, Unité de recherche « Systèmes agraires et développement » de l'INA P-G, 78850 Thiverval-Grignon, France.
- Jean-Christophe **Poussin**, Orstom, route des Pères Maristes, BP 13086, Dakar, Sénégal.
- Jean-Pierre **Raffaillac**, Orstom, BP 5045, 34032 Montpellier Cedex 1, France.
- Jean-Louis **Rajot**, Orstom, BP 11416, Niamey, Niger.
- Anneke **de Rouw**, Orstom, Laboratoire d'agronomie Inra-INA P-G, 78850 Thiverval-Grignon, France.
- Gaby **Schmelzer**, LUW, Plant taxonomy, Postbus 80, Wageningen, Pays-bas.
- Jean Joinville **Vacher**, Orstom-Senami, s/c Inra, Laboratoire de bioclimatologie, 78850 Thiverval-Grignon, France.





# Sommaire

---

Avant-propos .....	11
Introduction	
Du fonctionnement de l'agrosystème aux déterminants des choix techniques.....	13
A. Biarnès, P. Milleville	
<b>Les faits biotechniques : références et diagnostics</b>	
La modélisation du fonctionnement de l'agrosystème, base de la mise au point d'itinéraires techniques et de systèmes de culture .....	29
J.-M. Meynard	
Une pratique paysanne face aux risques de sécheresse sur l'altiplano bolivien. L'utilisation d'une biodiversité de <i>Solanum</i> .....	55
J. J. Vacher, C. del Castillo, J. Dizes, R. Bosseno	
Le rôle de la densité de plantation dans l'élaboration du rendement du manioc .....	75
J.-P. Raffailac	
Effets de l'apport de bouses de zébus sur les composantes du rendement du mil, sur les mauvaises herbes et sur l'encroûtement superficiel du sol au Niger .....	95
A. de Rouw, J.-L. Rajot, G. Schmelzer	
Stratégies d'arrosage et fonctionnement global d'un système irrigué. Le cas d'Urcuqui (Equateur) .....	113
L. Gilot et R. Calvez	
Diagnostic sur les systèmes de riziculture irriguée dans la moyenne vallée aval du fleuve Sénégal .....	133
J.-C. Poussin	

## **Pratiques et décisions**

Conduite des cultures pluviales et organisation du travail en Afrique soudano-sahélienne : des déterminants climatiques aux rapports sociaux de production .....	165
P. Milleville	
Fonctionnement des systèmes d'élevage extensif. Cadre conceptuel et application à deux types d'élevage andin d'altitude .....	181
D. Genin	
Pression parasitaire, pratiques paysannes et viabilité des systèmes cotonniers en Thaïlande .....	201
J.-C. Castella	
Prise de décision et réalisation des semis de la culture cotonnière dans la région Nord du Cameroun .....	219
I. Dounias	
Savoir pratique sur les systèmes techniques et aide à la décision .....	245
F. Papy	
De la parcelle au périmètre irrigué. Comprendre l'organisation collective du travail pour juger de la conduite d'une double culture annuelle .....	261
P.-Y. Legal	
De paysan à planteur en six ans, ou l'étonnante reconversion d'un centre de transmigration en Indonésie .....	281
P. Levang	
Incertitude, contraintes et pratiques des producteurs de pomme de terre dans la Sierra Madre orientale au Mexique .....	303
A. Biarnès et J.-P. Colin	
Résumés .....	325
Abstracts .....	333

## Avant-propos

Cet ouvrage collectif s'appuie sur un ensemble de communications présentées lors d'un séminaire organisé à Montpellier en septembre 1994 sur l'initiative des agronomes de l'Orstom, et auquel avaient été associés plusieurs collègues de l'Inra et du Cirad.

Ce séminaire avait pour objectif de confronter différents points de vue et expériences de recherche sur la conduite du champ cultivé, qui constitue un thème majeur et fédérateur pour les agronomes. Il semblait utile de tirer parti d'études particulières, réalisées dans des contextes variés, afin d'examiner la manière dont de telles recherches étaient entreprises, en termes d'objectifs, de fondements théoriques et de principes méthodologiques. Il semblait tout aussi nécessaire de montrer à quels types de résultats elles pouvaient aboutir, tant en matière d'approfondissement des connaissances qu'en capacité de propositions pratiques.

Toutes les communications exposées lors du séminaire ne figurent pas dans cet ouvrage, car certaines s'éloignaient trop du thème choisi. Après soumission des textes à des lecteurs externes et internes, quatorze contributions ont été retenues.

Cet ouvrage ne prétend bien évidemment à aucune exhaustivité, ni pour dresser un panorama des travaux réalisés par les agronomes de l'Orstom, ni pour parcourir le champ des recherches possibles sur le thème choisi. Il doit être considéré pour ce qu'il est : une confrontation d'expériences de recherches particulières, pouvant contribuer à la réflexion, aussi bien sur les points de vue et les démarches adoptées par des agronomes dans l'étude des réalités agricoles que sur l'interprétation de faits qui en découle.



## Introduction

# Du fonctionnement de l'agrosystème aux déterminants des choix techniques

---

L'Agronomie, en tant que discipline scientifique, a pour objet d'étude privilégié le champ cultivé (Sebillotte, 1974, 1987). Elle étudie les problèmes posés par sa conduite et cherche à produire les connaissances nécessaires pour les résoudre. Le champ cultivé est pour cela abordé selon deux points de vue, en fonction du statut accordé au fait technique (Gras *et al.*, 1989).

Selon le premier point de vue, l'accent est mis sur le fonctionnement de l'agrosystème, c'est à dire sur les interrelations entre le milieu et le peuplement végétal, sous l'effet de techniques. L'analyse de ces processus sur un ou plusieurs cycles culturaux permet d'explicitier les mécanismes d'élaboration du rendement d'une culture et d'apprécier l'évolution du milieu cultivé. La technique, appréhendée à travers ses effets sur le milieu et le peuplement, possède dans ce cas le statut de variable « explicative ». Les connaissances produites concernent les lois de fonctionnement du champ cultivé, mais l'agronome peut être amené à prendre en compte des niveaux spatio-temporels d'ordre inférieur (plante, organe en croissance, agrégat terreux, etc.) ou supérieur (toposéquence, bassin versant, etc.). De telles préoccupations engagent les agronomes à nouer des relations avec des chercheurs d'autres disciplines (souvent qualifiées de disciplines « amont » de l'agronomie) : écophysiologie, bioclimatologie, science du sol, etc. Les connaissances acquises constituent autant de références utiles à l'établissement de diagnostics et à la conception de solutions techniques (Duru, 1987).

Le second point de vue considère le champ cultivé comme un système piloté dans un cadre de contraintes (Sebillotte, 1987). Certaines de ces contraintes sont d'ordre agronomique, d'autres relèvent du fonctionnement de l'exploitation (Capillon et Caneill, 1988), d'autres enfin de décisions prises à l'extérieur de l'exploitation. La technique acquiert ici le statut de variable « à expliquer », l'accent étant mis sur la manière dont les agriculteurs choisissent

et mettent en oeuvre leurs techniques de culture. Les connaissances produites concernent les pratiques techniques des agriculteurs, le fonctionnement de l'exploitation agricole, les processus de décision. Elles permettent d'adapter la fourniture de références et les propositions techniques aux situations particulières des agriculteurs. Elles permettent également de préciser les termes de négociation de cahiers des charges imposés de l'extérieur (par des politiques et des projets de développement, par des acteurs du secteur agro-alimentaire, par des mesures agri-environnementales, etc.). La prise en compte explicite de l'acteur, de son comportement et de son environnement, conduit alors l'agronome aux frontières des sciences de l'homme et de la société.

Cet ouvrage est organisé en deux parties, correspondant aux deux grands points de vue précédents qu'il nous semblait important de réunir afin de bien en souligner la complémentarité : c'est à la fois par la compréhension des faits biotechniques et par celle des conditions de la mise en oeuvre des techniques par les agriculteurs que des propositions d'innovations appropriées peuvent être élaborées. Les articles ont été répartis dans chacune des parties en fonction de leur dominante, mais le lecteur pourra constater que plusieurs contributions associent volontairement les deux types de préoccupations. Par ailleurs, un article concernant l'étude de systèmes d'élevage a été intégré dans la seconde partie car il est l'occasion de souligner certaines similitudes dans les comportements techniques des producteurs, qu'ils soient agriculteurs ou éleveurs.

## **Les faits biotechniques : références et diagnostics**

Les contributions de la première partie de l'ouvrage mettent l'accent sur la compréhension des phénomènes biotechniques. L'acquisition de références et l'établissement de diagnostics dans ce domaine constituent une étape indispensable de la conception d'alternatives techniques appropriées. Ces alternatives concernent aussi bien la suppression de certaines contraintes que rencontrent les agriculteurs dans la conduite technique de leurs cultures, que l'élargissement de leurs marges de manoeuvre. Elles peuvent également avoir pour objet de répondre à des objectifs variés, parfois apparemment inconciliables. Le parti pris adopté dans ces articles consiste à appréhender les phénomènes biotechniques en référence explicite à la pratique des agriculteurs. L'analyse d'un problème technique particulier est ainsi justifiée par la manière dont il se pose au praticien. Elle permet à la fois d'éclairer le comportement de l'agriculteur, de préciser la place qu'occupe un fait technique donné dans le processus de production, et de poser clairement les termes dans

lesquels le problème pourra être résolu. L'analyse consiste donc à comprendre les phénomènes biotechniques en cause tout en les situant dans leur contexte.

Les faits biotechniques abordés sont multiples et plus ou moins complexes. Il peut s'agir d'une propriété intrinsèque du matériel végétal — telle que la résistance d'une plante à la sécheresse —, d'une technique particulière, de segments d'itinéraires techniques, d'itinéraires techniques dans leur ensemble, de la manière de définir les successions de culture ou d'agencer dans l'espace les parcelles de culture. Ces faits peuvent se référer aux pas de temps les plus variés : phase critique du développement d'une plante, cycle cultural, durée de la succession des cultures sur un même terrain, voire temps plus long relatif à la mise en place et à la gestion d'un aménagement. Ils concernent par ailleurs des échelles spatiales et des niveaux d'organisation divers. En effet, si la parcelle cultivée reste une unité de référence primordiale pour l'agronome, l'analyse des faits biotechniques se doit aussi d'être réalisée à d'autres échelles : répartition des cultures sur les terres de l'exploitation agricole ou du terroir villageois, périmètre irrigué.

Les faits biotechniques se trouvent enfin sanctionnés par des critères multiples. La maximisation du rendement est loin de constituer toujours l'objectif recherché. La réduction des coûts de production, la limitation des risques, le respect de certaines normes de qualité des produits, la recherche de méthodes de culture respectueuses de l'environnement ainsi que la santé des agriculteurs et des consommateurs constituent des objectifs qui s'imposent de plus en plus. Ces objectifs rendent la fonction à optimiser et la prise de décision technique plus complexes. Il en résulte inévitablement un cahier des charges également plus complexe pour l'agronome.

De tels travaux s'appuient sur des démarches variées (enquête, expérimentation, modélisation), d'ailleurs souvent combinées entre elles. Ils visent souvent à concilier un objectif d'opérationnalité (en termes de solutions à apporter à un problème donné, dans des conditions particulières) avec un objectif de connaissance des mécanismes en cause (théorisation à portée plus générale). Ils se heurtent à des problèmes méthodologiques liés, d'une part, à l'extrême diversité des situations agricoles locales, toutes singulières, et, d'autre part, à la multiplicité des interactions entre les paramètres en cause. Il s'avère en particulier très difficile de disposer de l'ensemble des références techniques nécessaires. Les dispositifs expérimentaux comparatifs ne peuvent être démultipliés à l'infini, tandis que les enquêtes restent fatalement très dépendantes de l'état observable des réalités que l'on souhaiterait transformer. Des démarches hybrides ont été imaginées, telles que l'expérimentation de « systèmes de culture sous contraintes » (Fillonneau, 1988) — qui consiste à

rendre les dispositifs expérimentaux les plus proches possible des conditions de mise en oeuvre des techniques par les agriculteurs — ou différentes procédures d'« expérimentation en milieu paysan » (Triomphe, 1988). Il semble bien cependant, comme le montre J.-M. Meynard, que les marges de progrès méthodologiques les plus significatives résident dans la modélisation et les voies qu'elle ouvre en matière de simulation. Mais il est également clair que la conception des modèles, ainsi que leur validation, reposent sur la mobilisation de références techniques, que seules permettent l'enquête et l'expérimentation. C'est donc bien en articulant de façon itérative ces démarches complémentaires que les agronomes parviennent à progresser à la fois dans la théorisation du fonctionnement de l'agrosystème et dans la conception d'innovations techniques appropriées.

C'est à travers des exemples de recherches portant sur l'agriculture française que J.-M. Meynard illustre l'intérêt que présente la modélisation de l'agrosystème pour le raisonnement des techniques culturales, des itinéraires techniques et des systèmes de culture. A mesure que les questions abordées se complexifient, des modèles de plus en plus intégratifs s'imposent, afin de rendre compte des interactions entre techniques culturales. J.-M. Meynard souligne les principales difficultés d'ordre méthodologique qui se posent à propos des quatre axes de recherche complémentaires de cette démarche de modélisation : l'étude des qualités des indicateurs de diagnostic, la modélisation de l'effet des choix techniques sur la production et l'écosystème, la conception d'innovations techniques ainsi que leur évaluation.

En étudiant le comportement, en conditions de sécheresse intense, de trois *Solanum* très cultivées sur l'altiplano bolivien, J. Vacher, C. del Castillo, J. Dizes et R. Bosseno explicitent les différentes réponses hydriques et photosynthétiques de ces plantes. La première *Solanum* réagit au stress hydrique par une rapide fermeture stomatique, une réduction des échanges gazeux et une baisse importante du potentiel hydrique foliaire minimum ; la seconde manifeste une véritable tolérance à la sécheresse, en maintenant une conductance stomatique élevée accompagnée d'une alimentation hydrique soutenue ; la troisième présente un comportement intermédiaire, caractérisé par une forte sensibilité stomatique en début de sécheresse, puis par une relative tolérance. Cette gamme de réponses peut être mise en correspondance avec l'hétérogénéité spatio-temporelle des risques de sécheresse sur l'altiplano, et permet de mieux comprendre les conditions d'utilisation des différentes espèces et variétés de *Solanum* par les paysans.

Sur un dispositif expérimental de Basse Côte d'Ivoire, J.-P. Raffailac étudie l'effet de trois densités de plantation de manioc sur le comportement de la



plante et sur les résultats de production. Il montre que des densités faibles permettent d'obtenir davantage de gros tubercules, convenant mieux à la commercialisation, mais moins intéressants pour la transformation mécanisée du produit. Les densités élevées, quant à elles, se prêtent à une bonne valorisation des boutures, plus nombreuses et de meilleure qualité. De telles références techniques permettent ainsi de moduler des recommandations techniques simples en fonction des différents objectifs de production que se donnent les agriculteurs.

L'expérimentation conduite durant trois ans au Niger par A. de Rouw, J. L. Rajot et G. Schmelzer avait pour objectif d'évaluer l'effet d'un apport de bouses de zébus sur une culture de mil. Elle reproduisait, ce faisant, une pratique couramment adoptée par les agriculteurs sahéliens dans un contexte où la jachère est encore pratiquée mais où la saturation foncière menace. Bien que la fumure stimule la croissance du mil en début de cycle, elle n'aboutit pas à une augmentation de rendement significative. Par contre, en limitant la dégradation du sol en surface et en assurant un certain maintien du niveau de fertilité, elle permet à des paysans de cultiver plus longtemps une même parcelle.

Dans un périmètre irrigué traditionnel des Andes équatoriennes, L. Gilot et R. Calvez analysent les pratiques d'irrigation, en les confrontant aux règles, très codifiées, d'accès à l'eau. Bien que la dotation en eau soit globalement suffisante, la plupart des agriculteurs adoptent des stratégies d'arrosage très extensives, ne permettant pas d'assurer en conditions de faibles précipitations la satisfaction des besoins en eau du maïs. Ces stratégies, qui reposent sur un pari sur la pluie et sur la réduction des coûts de production, peuvent se solder par l'échec des cultures. Certes, elles permettent inversement à une minorité d'agriculteurs de pratiquer une agriculture réellement intensive. Mais sur le long terme, le désintérêt marqué par la majorité des usagers pour l'agriculture irriguée débouche sur un système d'irrigation inadapté à l'intensification.

Dans la moyenne vallée du fleuve Sénégal, différents types de systèmes de riziculture irriguée coexistent, en relation avec les types d'aménagement hydro-agricoles, les degrés de maîtrise de l'eau qui en résultent, les saisons et successions de cultures, les techniques culturales. En étudiant les composantes du rendement du riz sur un réseau de parcelles, J.-C. Poussin établit que les conditions d'implantation de la culture expliquent l'essentiel de la variabilité des rendements entre parcelles et au sein de la même parcelle. Le résultat de l'implantation constitue de ce fait un bon indicateur du résultat final. Mais J.-C. Poussin montre aussi que l'itinéraire technique sur la parcelle résulte d'un processus de décision qui dépasse de beaucoup cette échelle. Le fonction-

nement de l'aménagement dépend de l'intervention des groupements de producteurs et d'acteurs extérieurs (banques, commerçants, prestataires de service, etc.). Si la parcelle constitue le niveau privilégié du diagnostic agronomique, la recherche d'une meilleure maîtrise du processus de production repose sur des propositions d'ordre organisationnel à d'autres échelles.

Ces deux derniers articles illustrent bien l'existence d'interdépendances entre niveaux différents dans l'expression des faits biotechniques, et montrent que l'échelle à laquelle se pose un problème n'est pas toujours celle où ce problème pourra être résolu.

## Pratiques et décisions

Les contributions de la deuxième partie de l'ouvrage mettent l'accent sur les manières concrètes d'agir des producteurs, c'est à dire sur leurs pratiques (Tessier, 1979 ; Milleville, 1987). Elles s'interrogent sur les déterminants des choix techniques : choix d'assolement, choix des variétés cultivées, de la succession des opérations culturales appliquées aux différentes cultures ou, pour une opération culturale donnée, des dates et des modalités d'intervention. Les faits techniques, replacés dans les conditions réelles (organisationnelles et contextuelles) dans lesquelles les agriculteurs exercent leurs activités, sont ainsi mis « en situation ».

Les deux premiers articles insistent sur l'influence déterminante des caractéristiques du milieu physique sur les choix techniques. En situation de fortes contraintes de milieu, la gamme des choix qui s'offre aux producteurs peut être extrêmement réduite et conduire à une grande uniformisation des comportements techniques.

P. Milleville montre ainsi qu'en Afrique soudano-sahélienne, les décisions techniques prises par les agriculteurs pour la conduite des cultures pluviales relèvent de deux modèles dominants. L'un est spécifique des conditions sahéliennes marquées par l'aridité et l'aléa, l'autre des conditions soudanaises dans lesquelles l'enherbement s'impose comme une contrainte forte du fait de la pluviométrie élevée et de la longueur de la saison humide. Dans une situation intermédiaire, les principes de conduite adoptés se rapprochent plutôt de l'un ou de l'autre modèle suivant le contexte climatique de l'année.

Un tel constat de limitation des choix techniques dans certaines conditions de milieu s'applique également au domaine de l'élevage. C'est ce qu'illustre D. Genin en comparant deux systèmes d'élevage extensif dans les Andes boliviennes. Dans le premier cas, les conditions climatiques sont extrêmes et

interdisent toute forme d'agriculture pluviale. Les systèmes de production reposent sur l'élevage pastoral de lamas et d'ovins et les pratiques d'élevage relèvent d'une logique d'adaptation aux conditions du milieu tendant vers une optimisation de l'interface entre les animaux au pâturage et les ressources pastorales spontanées. Dans un contexte moins contraignant, celui d'un système agro-pastoral associant bovins et ovins, les pratiques d'élevage observées sont plus diversifiées et témoignent à la fois d'une adaptation au milieu et de son artificialisation.

Mais les choix techniques ne sauraient être réduits à la seule adaptation aux conditions du milieu. Plusieurs articles insistent sur le rôle tout autant déterminant du fonctionnement de l'exploitation agricole.

Dans le contexte de la production du coton en Thaïlande, J.-C. Castilla appréhende le fonctionnement des exploitations de manière globale. Il identifie ainsi cinq types de fonctionnement selon les caractéristiques structurelles et les grandes orientations de l'exploitation, les objectifs économiques et sociaux de l'agriculteur et les stratégies mises en oeuvre pour les atteindre. A chacun de ces types de fonctionnement correspond un grand type de conduite de la culture cotonnière.

Des approches plus sectorielles du fonctionnement de l'exploitation sont utilisées par P. Milleville et par I. Dounias pour comprendre les choix techniques effectués par les producteurs. Tous deux s'intéressent au « noeud de fonctionnement » que constitue l'organisation du travail au sein de l'exploitation.

Dans les exploitations de l'Est du bassin arachidier sénégalais, P. Milleville montre que cette organisation est tributaire de l'existence de plusieurs centres de décisions internes : coexistent en effet dans l'unité de production plusieurs catégories d'actifs exploitants. La conduite des différentes parcelles de l'unité de production ne renvoie pas seulement aux modèles précédemment évoqués, mais aussi aux statuts de leurs attributaires, à travers les règles qui régissent, au sein de l'exploitation, les échanges de travail et l'accès aux moyens de production.

En étudiant l'implantation du cotonnier au Nord-Cameroun, dans une région de petites exploitations familiales faiblement dotées en matériel et en main d'oeuvre, I. Dounias montre, quant à elle, que les arbitrages réalisés en début de campagne pour l'attribution des ressources entre cultures et opérations culturales concurrentes sont déterminants pour expliquer l'étalement des semis du cotonnier. Confrontés à une demande en travail élevée, en début de saison des pluies, au moment de l'implantation des différentes cultures, les agriculteurs sont amenés à établir des priorités dans l'attribution des moyens

limités dont ils disposent. Ces observations rejoignent celles faites par F. Papy dans cet ouvrage, et, de manière plus générale, les conclusions de différents travaux portant sur l'organisation du travail et sur la gestion d'une sole en région de grande culture en France (Attonaty *et al.*, 1987 ; Papy *et al.*, 1990 ; Aubry, 1995).

Les arbitrages réalisés sont révélateurs de la hiérarchie établie par l'agriculteur entre les différentes cultures et de la place qu'occupe chacune d'entre elles dans ses projets. En définitive, la conduite technique d'une culture peut être interprétée comme le résultat de compromis, d'ajustements des conduites techniques souhaitées pour les différentes cultures, compte tenu des moyens disponibles.

Le résultat de ces ajustements peut être, dans certaines conditions, formalisé sous forme de règles de décision. F. Papy explique ainsi comment l'analyse des pratiques a amené les chercheurs du département Systèmes agraires et développement de l'Inra à étudier et reconstituer les situations décisionnelles dans lesquelles se trouve l'acteur et à représenter les processus de décision des agriculteurs sous forme de règles. Le concept de « modèle d'action » a été proposé pour rendre compte de l'organisation anticipée des décisions techniques que l'on pouvait observer dans de nombreuses situations. Ce modèle comprend : des objectifs généraux — décomposables en sous-objectifs — vers lesquels convergent les décisions des agriculteurs ; un programme prévisionnel correspondant au déroulement souhaité des opérations ; un corps de règles qui définit, à chaque étape du programme, les décisions à prendre et la nature des solutions de rechange à mettre en oeuvre lorsque le programme n'est pas réalisable (Duru *et al.*, 1988 ; Sebillotte et Soler, 1990).

Cependant, la planification des décisions à prendre est plus ou moins aisée suivant le degré d'incertitude auquel les producteurs doivent faire face. I. Dounias reconnaît ainsi l'intérêt du concept de modèle d'action pour rendre compte de l'organisation du travail dans une situation très différente de celles dans lesquelles il a été forgé. Elle souligne néanmoins que des trois modèles d'action qu'elle a construits — un pour chacune des trois unités de production étudiées —, le modèle le moins précis est celui de l'unité de production soumise à la plus forte incertitude sur l'accès au matériel d'exploitation. Ce constat en rejoint d'autres, effectués dans des conditions très diverses, qui s'accordent sur la faible précision des modèles d'action en conditions de fortes incertitudes (Ducrot, 1996 ; Le Gal, 1995 ; Papy, 1996).

La prise en compte du fonctionnement global des exploitations et des règles internes d'organisation de la production, n'est pas toujours suffisante pour

comprendre les choix techniques. Des formes d'interdépendance entre acteurs multiples, internes et externes à l'unité de production, peuvent exister et être déterminantes sur la conduite des cultures. Cette dernière doit alors être appréhendée à des niveaux dépassant l'exploitation agricole. P.-Y. Le Gal, au même titre que J.-C. Poussin dans la première partie, nous en donne un exemple, dans le delta du fleuve Sénégal, où la riziculture irriguée est sous la dépendance de décisions individuelles et collectives prises par des acteurs ou groupes d'acteurs variés, aux intérêts parfois divergents. Deux cycles successifs de culture sont théoriquement possibles, sous réserve de ne pas prendre de retard dans la récolte du riz de premier cycle. P.-Y. Le Gal s'appuie sur l'exemple du choix de la date de déclenchement des récoltes du riz du premier cycle pour montrer que le diagnostic porté sur la conduite d'une double culture annuelle sur les aménagements hydro-agricoles passe par deux types d'analyse : d'une part, l'analyse des décisions individuelles des paysans sur leurs parcelles et de celles des entrepreneurs de travaux agricoles qui louent le matériel aux organisations paysannes ; d'autre part, l'analyse des solutions mises en oeuvre par ces dernières pour coordonner les différents acteurs en présence.

Les deux derniers articles resituent les choix techniques dans le contexte économique englobant la production. Ils s'interrogent sur la logique économique qui préside au choix du système de production agricole et de manière plus générale, au choix de l'ensemble des activités auxquelles se consacrent l'exploitant et sa famille.

S'intéressant à l'évolution d'un centre de transmigration en Indonésie, P. Levang analyse les raisons du rejet par les colons des deux systèmes de culture qui leur ont été proposés dans le cadre d'un projet de développement pilote. Il met en évidence la logique de valorisation du travail qui sous-tend les choix des colons et démontre que cette logique est en totale rupture avec celle des propositions faites par les agronomes du projet. Le système de culture intensif en intrants et en main d'oeuvre proposé aux colons pour les cultures vivrières n'assure qu'une faible rémunération du travail, et ce, dans un contexte de risques élevés pour les cultures annuelles. A l'inverse, la production de latex assure des revenus monétaires importants et une forte rémunération de la journée de travail. Dans ce contexte, l'extensification de la conduite des cultures vivrières puis l'abandon de ces dernières au profit de l'hévéaculture et la surexploitation des plantations sont cohérents avec un objectif d'obtention de revenus élevés.

Dans un tout autre contexte, celui de la production de pomme de terre dans la Sierra Madre orientale au Mexique, A. Biarnès et J.-P. Colin examinent les

pratiques agricoles sous l'angle de la gestion du risque par les producteurs. Totalement destinée au marché, la pomme de terre est en effet une culture très risquée du fait de coûts de production élevés et d'une forte variabilité des rendements et des prix. Cette étude fait ressortir la nécessité de ne pas dissocier les pratiques agricoles d'un ensemble de pratiques débordant les sphères agricole et locale, et remplissant des fonctions équivalentes ou complémentaires vis à vis de la gestion du risque. Elle permet également de souligner l'instabilité chronique des assolements et des conduites techniques des cultures, lorsque la variabilité interannuelle des résultats économiques est très forte et ne peut être compensée par les revenus tirés d'autres activités ou par des financements alternatifs.

### **Une tropicalisation des concepts et des méthodes se justifie-t-elle ?**

Il est à présent admis que l'agronomie, en raison de son statut de discipline scientifique, peut prétendre à une certaine universalité. L'agriculture, en tant que pratique, est par contre le lieu d'expression de toutes les singularités.

Les recherches conduites par les agronomes francophones en régions tropicales ont largement bénéficié des dynamiques scientifiques engagées dans les pays tempérés, et tout particulièrement en France depuis une trentaine d'années. La preuve a été faite que les concepts de base et les grands principes de méthode de l'agronomie étaient exportables. Les agricultures tropicales ont ainsi contribué à leur validation. Mais l'agronomie dite « tropicale » a aussi permis certaines avancées méthodologiques et théoriques. De fait, nombre d'agronomes oeuvrant dans les situations agricoles les plus diverses de par le monde ont progressivement constitué un réseau en grande partie informel, dont la cohérence réside dans le fait d'aborder les réalités avec des objectifs, des points de vue et des démarches très proches.

La question de l'adaptation aux conditions tropicales de certains concepts et outils de l'agronomie reste néanmoins posée. Au regard des différentes contributions présentées et des débats qui ont eu lieu lors du séminaire, quelques points de discussion nous semblent importants à relever : la question de la variabilité des pratiques techniques et des conditions du milieu physique et celle des conséquences de cette variabilité sur la mise au point de références techniques et sur la modélisation de l'agrosystème ; la question des niveaux auxquels il convient d'appréhender les déterminants des choix techniques ; et enfin, celle de la modélisation des processus de décision.

Quelles que soient les situations étudiées, l'agronome est confronté au

problème de l'identification et de la classification des situations agricoles : dans la réalité agricole, deux situations ne sont jamais en tout point identiques. Pour comparer des histoires culturelles ou des modalités de culture, l'agronome est amené à définir des classes plus ou moins homogènes, dont les limites dépendent des objectifs qui sont fixés à l'étude. Dans les agricultures paysannes des régions tropicales ce problème est exacerbé. Ces agricultures bénéficient rarement de moyens techniques performants. Une grande partie des opérations culturales reste manuelle, et l'artificialisation du milieu est généralement peu poussée. L'hétérogénéité du milieu, des itinéraires techniques, des situations culturelles créées, et des niveaux de productivité, constitue une caractéristique forte de ces agricultures. Même la parcelle de culture peut se révéler une entité très hétérogène sur le plan de son traitement technique (Milleville, 1972). Cette hétérogénéité, alliée à l'extrême variabilité des conditions de milieu, à leur irrégularité interannuelle souvent considérable et à la maîtrise très imparfaite des facteurs de variation, pose dans ces agricultures de façon cruciale la question des références techniques nécessaires aux diagnostics techniques et à la conception d'alternatives. Si les références expérimentales sont très nombreuses, elles restent encore souvent bien éloignées des conditions de la pratique agricole. Le problème soulevé par J.-M. Meynard, de la discontinuité des connaissances disponibles pour alimenter les modèles nécessaires au diagnostic des situations agricoles et à la conception d'alternatives techniques, est encore plus prégnant pour ces agricultures et pose la question du type de modèle à développer.

Les agronomes ont longtemps considéré les systèmes techniques des agriculteurs (itinéraires techniques, systèmes de cultures) comme des sous-systèmes du système de production agricole (Gras *et al.*, 1989), sous-entendant en cela que les décisions de conduite des cultures sont prises dans le cadre du fonctionnement de l'exploitation. Force est cependant de constater que nombre des décisions techniques échappent en partie à ce cadre. Ainsi, dans les agricultures des pays dits développés, le poids des filières et des réglementations est de plus en plus fort, et des cahiers des charges, allant jusqu'à spécifier des modalités de conduite technique des cultures, peuvent être imposés aux agriculteurs. Par ailleurs, de nombreuses exploitations de ces pays sont amenées à se poser le problème du partage de leur matériel et de leur main d'oeuvre afin de réduire les coûts de production. Dans les agricultures des régions tropicales, l'éclatement de la décision technique entre plusieurs acteurs, dont certains sont extérieurs à l'unité de production, est une réalité encore plus courante. Les multiples formes d'accès aux ressources productives (terre, main d'oeuvre, matériel d'exploitation, eau, intrants) peuvent aboutir à des formes variées de partage de la décision technique. Des

exemples portant sur des cas d'utilisation collective d'aménagements hydro-agricoles nous sont donnés dans cet ouvrage par L. Gilot et R. Calvez, par J.-C. Poussin et par P.Y. Le Gal. Mais l'on pourrait citer de nombreux autres exemples dont la littérature « tropicaliste » regorge, tels les cas de métayage où deux producteurs s'associent pour cultiver ensemble une même parcelle ; les cas de cultures associées où chaque composante de l'association peut être gérée par une personne différente ; les cas de producteurs sans terre tributaires des propriétaires qui peuvent reprendre leurs parcelles quand bon leur semble pour les cultiver eux-même. La question des niveaux à partir desquels appréhender les déterminants des systèmes techniques ne peut ainsi être résolue une fois pour toutes ; elle doit l'être pour chaque cas particulier.

La modélisation des processus de décision s'impose progressivement comme moyen d'aider les agriculteurs à modifier leurs manières d'agir, lorsque les problèmes à traiter s'avèrent complexes (Le Gal et Milleville, 1996). Le concept de modèle d'action a ainsi été proposé comme cadre de formalisation des décisions techniques des agriculteurs. Cependant, ce concept, les hypothèses qui le sous-tendent et les démarches qui lui sont associées, ont été forgés essentiellement dans le contexte des systèmes de grande culture en France. Les conditions de son application aux agricultures paysannes tropicales demandent encore à être précisées. L'unité de production familiale est difficilement assimilable à une entreprise et les agriculteurs exercent leur activité dans un environnement où le risque et l'incertitude s'imposent avec force, y compris pour l'accès aux facteurs de production (Eldin et Milleville, 1989). Il en résulte de grandes difficultés pour planifier la répartition et l'affectation des ressources productives. Dans de telles conditions, il semble bien que les comportements techniques des agriculteurs procèdent plus de l'adaptation que de l'anticipation (si l'on entend par ce mot la conception d'alternatives envisagées pour différentes situations plus ou moins probables). Mais il n'en demeure pas moins qu'un modèle peut être conçu et utilisé comme outil de réflexion pour simuler des situations et des réponses à ces situations (Le Gal, 1995). En ce sens, le concept de modèle d'action présente bien entendu un domaine de validité beaucoup plus large.

En définitive, l'étude du champ cultivé et de sa conduite montre bien que l'utilisation de concepts et de méthodes dans des milieux très différents de ceux dans lesquels ils ont été forgés contribue à éprouver leur validité et est potentiellement source d'évolutions et d'enrichissements.

ANNE BIARNES  
PIERRE MILLEVILLE



## Références bibliographiques

- ATTONATY J.-M., LAPORTE C., PAPY F., SOLER L.-G., 1987 – *La simulation de l'organisation du travail comme outil de gestion de l'exploitation agricole. Application à la grande culture*. Versailles, Inra, Coll. *Etudes et Recherches*, 10, 48 pages.
- AUBRY C., 1995 – *Gestion de la sole d'une culture dans l'exploitation agricole. Cas du blé d'hiver en grande culture dans la région picarde*. Thèse de Doctorat. Paris, INA P-G, 271 pages + annexes.
- CAPILLON A., CANEILL J., 1988 – Du champ cultivé aux unités de production : un itinéraire obligé pour l'agronome. *Cah. Sci. Hum.*, 23 (3-4) : 409-420.
- DURU M., 1987 – Diagnostic et aide à la décision chez l'agriculteur. Du champ cultivé au système de production. *Cah. Rech. Dév.*, 16 : 14-21.
- DURU M., PAPY F., SOLER L.-G., 1998 – Le concept de modèle général et l'analyse du fonctionnement de l'exploitation agricole. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 74 (4) : 81-93.
- DUCROT R., 1996 – *Régulation d'une production en situation d'incertitudes et de fortes contraintes : exemple des systèmes rizicoles du lac Alaotra (Madagascar)*. Thèse de Doctorat. Paris, INA P-G, 213 pages + annexes.
- ELDIN M., MILLEVILLE P. (éd.), 1989 – *Le risque en agriculture*. Paris, Orstom, Coll. *A travers champs*, 619 pages.
- FILLONNEAU C., 1988. La gestion des systèmes de culture sous contraintes. Intérêt pour des opérations de développement agricole. *Cah. Rech. Dév.*, 17 : 63-73.
- GRAS R., BENOIT M., DEFFONTAINES J.-P., DURU M., LAFARGE M., LANGLET A., OSTY P.-L., 1989 – *Le fait technique en agronomie. Activité agricole, concepts et méthodes d'étude*. Paris, Inra-L'Harmattan, 184 pages
- LEGAL P.-Y., 1995 – *Gestion collective des systèmes de culture en situation d'incertitudes : cas de l'organisation du travail en double riziculture dans le delta du fleuve Sénégal*. Thèse de Doctorat. Paris, INA P-G, 233 pages.
- LEGAL P.-Y., MILLEVILLE P., 1996 – Du transfert technique à l'aide à la décision. Symposium international « Recherches-système en agriculture et développement rural », Montpellier, France, 21-25 novembre 1994. Actes des conférences et débats, Cirad-SAR, pp.191-206.
- MILLEVILLE P., 1972 – Approche agronomique de la notion de parcelle en milieu traditionnel africain : la parcelle d'arachide en moyenne Casamance. *Cah. Orstom, sér. Biol.*, 17 : 23-37.
- MILLEVILLE P., 1987 – Recherches sur les pratiques des agriculteurs. *Cah. Rech. Dév.*, 16 : 3-7.
- PAPY F., AUBRY C., MOUSSET J., 1990 – Eléments pour le choix des équipements et des chantiers d'implantation des cultures en liaison avec l'organisation du travail. In : Boiffin J., Marin-Lafèche A. (éd.) : *La structure du sol et son évolution*. Paris, France, Inra, Coll. *Les colloques de l'Inra*, 53, pp. 157-185.
- PAPY F., 1996. Le management de la production agricole. Symposium international « Recherches-système en agriculture et développement rural », Montpellier, France, 21-25 novembre 1994. Actes des conférences et débats, Cirad-SAR, pp. 301-314.
- SEBILLOTTE M., 1974 – Agronomie et agriculture. Essai d'analyse des tâches de l'agronome. *Cah. Orstom, sér. Biol.*, 24 : 3-25.
- SEBILLOTTE M., 1987 – Du champ cultivé aux pratiques des agriculteurs. Réflexions sur l'agronomie actuelle. *CR. Acad. Agric. Fr.*, 73 (8) : 69-81.
- SEBILLOTTE M., SOLER L.-G., 1990 – Les processus de décision des agriculteurs. Première partie. Acquis et questions vives. In : Brossier J., Vissac B., Le Moigne J.L. : *Modélisation systémique et système agraire*. Paris, Inra, pp. 93-117.
- TEISSIER J. H., 1979 – *Relations entre techniques et pratiques. Conséquences pour la formation et la recherche*. Inrap, 38, 15 pages.
- TRIOMPHE B., 1988 -- *Méthodes d'expérimentation en milieu paysan. Approche bibliographique*. Montpellier, Irat, *Mémoires et travaux*, 30.



Les faits biotechniques  
Références et diagnostics

---



# La modélisation du fonctionnement de l'agrosystème, base de la mise au point d'itinéraires techniques et de systèmes de culture

Jean-Marc Meynard

## Introduction

La globalisation des marchés, la pression démographique, la sensibilité croissante des populations aux dégradations de l'environnement entraînent, dans de nombreuses régions du monde, une remise en cause des systèmes de culture actuels. Le diagnostic est très divers : les systèmes agricoles sont, ici trop productifs, là pas assez ; ici, ils induisent des excédents d'éléments minéraux et polluent les eaux, là, ils créent des déficits et appauvrissent les sols ; ici, ils sont trop peu flexibles face à un contexte très changeant, là ils obtiennent des résultats trop aléatoires face à une demande peu flexible, etc. Mais pour l'agronome, la question scientifique de fond est partout sensiblement la même : *Comment valoriser la formidable masse de connaissances sur le fonctionnement des sols, des plantes, des agrosystèmes, pour proposer aux agriculteurs des systèmes innovants, adaptés aux exigences des populations, rurales et urbaines, et du marché ?*

Jusqu'ici, la dynamique d'évolution des systèmes de culture a dépendu surtout de l'empirisme des agriculteurs, adaptant à leur situation, combinant avec astuce, en tâtonnant, les innovations proposées par leurs voisins, les firmes

d'agrochimie ou... les agronomes ; mais l'accélération du changement technique et social, les incertitudes économiques croissantes, le poids déterminant — particulièrement dans les pays du Nord — de contraintes administratives souvent révisées font que les agriculteurs n'ont plus le temps de mettre au point, par ajustement progressif, les systèmes de culture adaptés à leurs objectifs et au contexte ambiant. Au demeurant, cette mise au point est de plus en plus complexe puisque, aux objectifs classiques de productivité et de préservation de la fertilité des milieux, s'ajoutent maintenant les objectifs relatifs à l'environnement et à la santé du consommateur (et du paysan), menacés par l'accroissement des moyens techniques disponibles (mécanisation, pesticides, fertilisants, etc.).

Pour aider les agriculteurs à mettre au point ces nouveaux modes de production, aux objectifs multiples et souvent contradictoires, l'agronome ne peut plus se fonder sur la seule expérimentation comparative, qui fut longtemps son plus solide point d'appui : celle-ci ne permet pas, en effet, d'obtenir les réponses rapides, ajustées à la diversité des situations agricoles, qui sont nécessaires. La figure 1 illustre, sur l'exemple de la fertilisation azotée, les limites d'une démarche exclusivement fondée sur l'expérimentation : dans une même région (Champagne Crayeuse), sur des types de sols peu contrastés (rendzines sur craie), pour un précédent cultural identique (betterave sucrière), la courbe de réponse du rendement du blé à la fertilisation azotée est extrêmement variable, d'une année à l'autre, aussi bien que d'une parcelle à l'autre (d'après Meynard *et al.*, 1981). La dose d'engrais assurant la marge brute maximale varie, selon les essais, de 0 à 200 kg/ha (100 à 200 kg si l'on excepte l'année très sèche où les courbes de réponse sont quasiment plates). Quel conseil donner à l'agriculteur ? Vu les rapports de prix entre le grain et les engrais, l'agriculteur perd beaucoup plus d'argent si la dose est trop faible que si elle est trop élevée ; pour lui, la minimisation du risque économique consiste donc à « faire comme si » le rendement allait être élevé, les besoins de la culture forts et la dose d'engrais nécessaire importante ; la variabilité des réponses à l'engrais est donc source de gaspillages et de pollutions potentielles. Pour réduire coûts et pollutions, l'agronome cherche à expliquer cette variabilité et à mettre au point les conseils les mieux adaptés, au cas par cas. Répéter dans ce but l'expérimentation en de nombreux lieux, pendant de nombreuses années, est coûteux et long : trop long dans un contexte où les innovations techniques, les cours du marché et les contraintes administratives changent constamment les règles du jeu ; trop coûteux dans un contexte où les moyens humains et financiers du développement agricole sont, au mieux, en stagnation.

La prévision de la diversité des effets des actes techniques sur la production, la fertilité du sol et l'environnement, peut aujourd'hui s'appuyer sur des

modèles de fonctionnement des cultures et d'évolution du milieu (Sebillotte, 1978, 1990 ; Fisher, 1985 ; Meynard, 1985 ; Whisler *et al.*, 1986 ; Vandendriessche & van Ittersum, 1995 ; Bouman *et al.*, 1996), actuellement en développement très rapide.

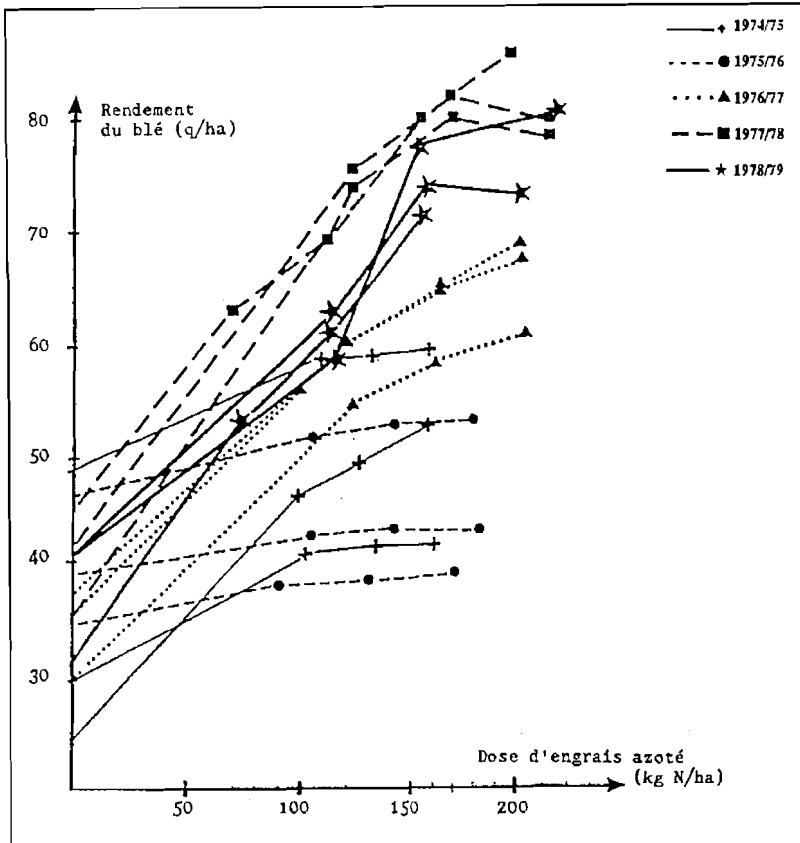


Figure 1 — Variabilité de la réponse du rendement à la dose d'engrais azoté.  
Source : Meynard *et al.*, 1981, cinq années d'expérimentation en champagne crayeuse.

L'objectif de ce texte est de faire le point sur les potentialités et les difficultés méthodologiques d'une telle utilisation de la modélisation de l'agrosystème pour le raisonnement des techniques culturales, itinéraires techniques et systèmes de culture. Dans une première partie, nous dégagerons, à partir de l'analyse d'exemples très divers, les points forts de la démarche ; dans une seconde partie, nous passerons en revue les difficultés méthodologiques qui font actuellement l'objet de recherches à l'Inra.

## Démarche générale : étude de quelques exemples

Nous nous situerons d'abord au niveau d'un espace agricole conduit de manière homogène par l'agriculteur (la parcelle ou une partie de parcelle) où nous analyserons quelques exemples de mise au point de techniques, itinéraires techniques et successions de cultures ; nous envisagerons ensuite le raisonnement de l'organisation spatiale des systèmes de culture.

### *Raisonnement des techniques, itinéraires techniques et systèmes de culture*

#### **La méthode Jubil pour la fertilisation azotée du blé**

La teneur en nitrate du jus obtenu par pression de la base de tige (JBT) est maintenant utilisée en routine comme indicateur de nutrition du blé et critère de déclenchement d'apport d'engrais (Laurent *et al.*, 1996). La méthode de fertilisation Jubil, qui utilise ce critère, consiste à appliquer en deux apports précoces (tallage et début montaison) une dose d'engrais calculée sur la base du bilan prévisionnel et correspondant approximativement à la borne inférieure de l'ensemble des doses optimales évoquée plus haut ; pendant la montaison, on suit la teneur en nitrate du jus de base de tige ( $\text{NO}_3^-$  JBT ; trois stades de mesures) et un troisième apport d'engrais est déclenché selon la règle suivante :

- si la teneur descend au-dessous d'un seuil de référence, application immédiate d'un complément de fertilisation ;
- si la teneur se maintient au-dessus du seuil, pas d'application supplémentaire d'engrais.
- Bien que l'assimilation du nitrate soit un sujet bien connu des physiologistes, la mise au point d'une telle règle de décision a nécessité d'importantes recherches (Justes, 1993 ; Justes *et al.*, 1997 ; Meynard *et al.*, 1997) :
  - *étude des qualités de l'indicateur de nutrition* : sensibilité (la teneur en nitrate du JBT permet-elle de détecter dès son début, l'installation d'une carence ?), spécificité (la teneur en nitrate du JBT ne baisse-t-elle pas sous l'effet d'autres facteurs que la baisse d'alimentation azotée ?), etc. ;
  - *modélisation prédictive de la réponse de la culture à l'engrais selon la teneur en nitrate du jus de base de tige* : au-dessous de quelles teneurs les



composantes du rendement, la qualité du grain, sont-elles affectées par la carence ? Cette teneur varie-t-elle en fonction du génotype du blé ou des conditions environnementales ? ;

– *conception de la règle de décision* : quelle teneur-seuil doit-on retenir pour le déclenchement de la fertilisation ? Quelle dose d'engrais complémentaire apporter ? La réponse à ces dernières questions doit s'appuyer à la fois sur les modèles évoqués au paragraphe précédent et sur une connaissance précise des objectifs et des contraintes des agriculteurs : quels sont, par exemple, les délais entre un diagnostic et une intervention ? Quels risques de sous-fertilisation accepteraient de prendre les agriculteurs ? À cette étape, une collaboration étroite entre les agronomes et les futurs utilisateurs de la règle est nécessaire ;

– *évaluation de la règle de décision* : la règle donne-t-elle au champ les résultats attendus ? Le tableau 1 illustre les résultats de la comparaison, sur un réseau d'essais, entre l'application de la méthode du bilan prévisionnel, seule, et l'application de Jubil. L'indicateur  $\text{NO}_3^-$  JBT et la règle de décision associée permettent d'économiser en moyenne 22 kg d'azote-engrais, et de réduire la quantité de nitrate restant dans le sol après récolte sans diminuer le rendement ou la teneur en protéines.

### Itinéraires techniques du blé

L'utilisation de modèles pour la conception d'itinéraires techniques est moins avancée que pour le raisonnement de simples techniques, car on a besoin de modèles plus intégratifs, plus complexes. Une part importante de la recherche doit ainsi être consacrée à la *modélisation des interactions entre techniques culturales*, ainsi que l'illustrent les travaux sur l'ajustement des *itinéraires techniques* du blé à différents objectifs de rendement (Meynard, 1985 ; Loyce & Meynard, 1997). Dans des milieux à fort potentiel de production, où les agriculteurs visent couramment — et atteignent — des rendements de 90 q/ha ou plus (par exemple Soissonnais, Champagne Crayeuse), il peut être intéressant d'un point de vue économique et environnemental, de réduire l'objectif de rendement à condition de l'accompagner d'un changement de variété, de densité de semis, de fertilisation azotée, de traitements régulateurs de croissance et fongicides (tabl. 2). Il y a cohérence entre ces différentes adaptations : les réductions de densité et de dose d'azote limitent les risques de verse et de maladies, contribuant aux économies de régulateurs de croissance et fongicide ; la baisse d'objectif de rendement permet aussi l'adoption de variétés moins productives, mais plus résistantes aux maladies. Cette cohérence est assurée par le fait que tous ces changements sont raisonnés sur la



Tableau 2  
Cohérence entre l'objectif de rendement et l'itinéraire  
technique du blé (d'après Meynard, 1985)

Objectif de rendement	90 q/ha	70 q/ha
Choix variétal	Génotype productif (peu résistant aux maladies) Ex : Soissons	Génotype très résistant aux maladies (moins productif) Ex : Pactole, mélanges de variétés
Densité de semis	X (*)	X - 30 %
Fertilisation azotée	Y (**)	Y - 45 kg N/ha
Régulateurs de croissance	1 ou 2	0
Traitements fongicides	2 ou 3	0 ou 1

(\*) Fonction de la date et des conditions de semis

(\*\*) D'après la méthode des bilans : [Besoins en N (270 kg/ha) - Fourniture du sol]

### Maîtrise du piétin-verse dans les successions de cultures

La même démarche peut être appliquée à la mise au point de stratégies pluri-annuelles : définition des *successions de cultures* répondant à un objectif donné, *conduite coordonnée de plusieurs cultures successives*. Colbach *et al.* (1997) proposent ainsi un modèle de prévision de l'effet des systèmes de culture sur les maladies telluriques des céréales qui constitue un outil précieux pour la mise au point de systèmes de culture intégrés. Par exemple, par rapport à une situation de référence, courante dans l'Ouest de la France (succession maïs-blé, labour tous les ans, semis au 15/10 à densité de 300 plantes/m<sup>2</sup>), le risque de piétin-verse du blé diminue notablement si l'on ne cultive plus le blé qu'une année sur trois, ou si l'on change la tête de rotation (remplacement du maïs par du pois ou du colza), ou si l'on remplace le labour avant blé par un travail superficiel ou si l'on retarde le semis d'un mois (tabl. 3). Le fait que ces diminutions de risques soient évaluées à l'aide d'un modèle fondé sur une connaissance des mécanismes en cause dans l'infection et le développement de la maladie donne une meilleure garantie, vis-à-vis de leur extrapolation, que si elles reposaient sur une moyenne de résultats expérimentaux : ainsi, la diminution du risque en travail superficiel par rapport au labour est liée à l'effet de ces techniques sur la localisation, dans le profil cultural, des résidus infectieux. Ceci permet de dire, par exemple, que l'on n'observera pas le même effet quelle que soit la succession de cultures ; si le

blé revient tous les trois ou quatre ans dans la parcelle, l'effet du travail du sol deviendra négligeable ; si, au contraire, le blé est cultivé en monoculture, le travail superficiel qui n'enfouit pas les résidus infectieux sera plus favorable à la maladie que le labour (+ 35 %).

Tableau 3

Effet de différentes techniques culturales sur la fréquence de piétin verse dans un peuplement de blé : taux d'augmentation ou de diminution de la fréquence de piétin verse par rapport à une rotation (maïs/blé) labourée tous les ans

Rotations et techniques culturales	Taux
Rotation Maïs/Blé/Blé	+ 13 %
Rotation Pois/Blé/Blé	- 12 %
Rotation Pois/Blé ou Colza/Blé	- 30 %
Rotation Colza/Pois/Blé ou Pois/Colza/Blé	- 54 %
Travail superficiel avant blé au lieu de labour	- 47 %
Semis du blé le 10/11 au lieu du 15/10	- 25 %
Diminution de densité de semis du blé de 25 %	- 7 %

Source : Colbach *et al.*, 1996

Il est clair que le choix de la succession culturale, ou du travail du sol dans une succession ne repose pas seulement sur la prévision du risque de piétin-verse. Une démarche analogue doit être menée pour les parasites de toutes les cultures de la succession, les mauvaises herbes, la gestion de l'azote, de l'eau, etc. La mise au point d'itinéraires techniques et de systèmes de culture impose ainsi un décloisonnement des spécialités ; l'agronome généraliste, compétent aussi bien sur le travail du sol que sur la fertilisation, capable d'analyser les interactions entre nutrition minérale et hydrique, entre date de semis et parasitisme devient la clef de voûte de cette conception. Il doit réaliser une synthèse des connaissances de ses collègues plus spécialisés, si possible sous forme de modèles articulés entre eux :

- modèles de fonctionnement des cultures ou des associations culturales ;
- modèles d'évolution du milieu. La recherche est aujourd'hui beaucoup moins avancée sur ces derniers modèles, nécessairement pluriannuels pour prendre en compte les effets précédents et l'évolution à long terme de la fertilité du milieu (Sebillotte, 1980).

## Organisation spatiale des systèmes de culture

Qu'il organise la diversité des associations au sein d'un champ, ou l'assolement de son exploitation, l'agriculteur choisit toujours avec soin la localisation de ses systèmes de culture : le milieu, l'histoire culturelle, la proximité du siège de l'exploitation, l'organisation collective du village, ont, selon les situations, un poids très variable. Que peut apporter la modélisation de l'agrosystème à ces décisions ?

### **Modulation de la conduite de la culture à partir des hétérogénéités intraparcellaires**

Le développement de l'informatique embarquée, des systèmes de localisation géographique (ex : GPS) et des capteurs (de rendement, d'humidité, de biomasse, etc.) permettent aujourd'hui d'envisager un ajustement automatique des doses d'engrais aux caractéristiques locales du sol et de la végétation, un épandage d'herbicides localisé aux seules zones de la parcelle où il y a des mauvaises herbes (Schueller, 1992). La culture mécanisée retrouve ainsi, théoriquement au moins, une souplesse pour la diversification intraparcellaire du système de culture que seule l'agriculture manuelle avait gardée.

L'automatisation de la modulation intraparcellaire ramène le problème à celui d'une somme de « décisions » élémentaires : la problématique de recherche n'est guère différente de celle présentée plus haut. Des quatre pôles de recherche évoqués précédemment, l'étude des qualités des indicateurs est souvent la plus développée. Le faible nombre d'indicateurs dont l'acquisition est automatisée tend alors à déplacer légèrement la question : on ne se demande plus quel indicateur possède les qualités nécessaires à une amélioration des choix techniques, mais on cherche à définir comment on va bien pouvoir utiliser les indicateurs disponibles. Le fait de pouvoir disposer de cartes de rendement grâce à un équipement spécifique des moissonneuses-batteuses fait, par exemple, resurgir le vieux rêve d'utiliser la variabilité du rendement comme base d'une cartographie des sols ! Le maillon faible de l'agriculture de précision est aujourd'hui cependant la modélisation des relations entre les indicateurs et le résultat des interventions techniques (Robert, 1996). Ainsi, sur blé, il s'est avéré nécessaire de concevoir un modèle complexe, en trois dimensions, de la structure du peuplement (encore inachevé) pour espérer raccorder par des relations stables les mesures de réflectance à l'indice foliaire, variable clef pour une prédiction de la croissance et des besoins en azote (Akkal *et al.*, 1997).

### Conduite techniques d'espaces de taille supérieure à la parcelle

Le problème est ici beaucoup plus difficile et pose de nombreuses questions nouvelles à l'agronome. En premier lieu, l'objectif n'est plus la mise au point de règles d'action et de références pour les seuls agriculteurs : par exemple, l'organisation spatiale des systèmes de culture au niveau du bassin d'approvisionnement d'une entreprise agro-industrielle intéresse l'entreprise et ses fournisseurs, les agriculteurs du bassin ; les informations que fournit l'agronome peuvent aider à la décision des deux parties et à la négociation entre eux, leurs objectifs propres étant parfois conflictuels (Le Bail, 1994). De même, au niveau du bassin d'alimentation d'une nappe phréatique, les gestionnaires de l'eau et les agriculteurs n'ont souvent pas les mêmes intérêts.

En second lieu, l'expérimentation, outil favori de l'agronome, n'est guère utilisable pour valider les solutions proposées. En définitive, la contribution de l'agronome à la résolution de ces problèmes multiacteurs complexes est de fournir aux parties impliquées des outils de simulation leur permettant d'explorer différentes solutions, avant de choisir, ensemble, celle qui apparaît être le meilleur compromis (Attonaty *et al.*, 1993 ; Rossing *et al.*, 1997).

Une illustration en est l'étude prospective — actuellement en cours — des effets des systèmes de culture sur les risques de diffusion de transgènes dans la nature (Colbach & Meynard, 1996 ; Clermont-Dauphin *et al.*, travaux en cours). L'autorisation de vente de variétés de colza transgéniques est encore incertaine ; l'un des éléments à prendre en compte dans la décision est le risque d'évasion des transgènes hors des parcelles ensemencées en colza transgénique, et leur transmission par hybridation aux crucifères sauvages proches du colza. Cette évasion est source de litiges entre voisins et potentiellement de bouleversements de l'écosystème. Il convient donc d'essayer d'en estimer la probabilité, et d'envisager les moyens de la limiter (Messéan, 1995). La contribution des agronomes à cette question — qui intéresse aussi bien les pouvoirs publics, les professionnels de la sélection et les agriculteurs que le grand public — est de réaliser *un modèle permettant d'estimer* à partir des caractéristiques du parcellaire, de l'assolement, des successions culturales et de quelques pratiques (désherbage, travail du sol) d'une région, *les risques de diffusion d'un gène d'une parcelle à l'autre* par l'intermédiaire de transferts de graines et (surtout) de pollen. Ce modèle fonctionne sur un pas de temps annuel, où il permet de reconstituer sur chaque parcelle et sur leurs bordures, les effectifs des populations de colza — semé par l'agriculteur ou repousses — par un sous-modèle simulant le cycle reproducteur du colza et à chaque étape de ce cycle les taux de destruction de plantes, plantules ou

graines par le travail du sol, les désherbants, le broyage, etc. ; le génotype de chaque population est simulé en fonction du génotype de la population mère et des échanges de pollen entre parcelles, ou entre parcelles et bordures. On pourra s'appuyer sur ce modèle pour savoir dans quelle mesure le risque de diffusion du transgène pourra être limité par des conseils techniques ou des réglementations concernant l'entretien des champs, des bordures et des jachères, ou si la probabilité de diffusion est trop forte pour qu'il faille prendre le risque d'autoriser la vente de telle variété transgénique.

Cet exemple montre bien qu'une gestion spatialisée des systèmes de culture suppose une modélisation spécifique, qui n'est pas une simple intégration de modèles à la parcelle : les échanges de pollen entre parcelles imposent de s'intéresser à la chronologie de floraison du colza, y compris sur les jachères ; à côté des parcelles cultivées, un nouvel objet d'étude, bien connu des écologues, mais souvent négligé des agronomes apparaît : les bordures de route et de champ. De même, pour raisonner des systèmes de culture intégrés ou écologiques (Vereijken, 1992), les haies et les bordures, comme l'agencement spatial des cultures, jouent un rôle essentiel.

## Conclusion

L'utilisation de modèles de fonctionnement de l'agrosystème pour la mise au point de systèmes de culture conduit donc à identifier quatre axes de recherche complémentaires, plus ou moins développés selon que l'on s'intéresse au choix d'une date d'intervention pour une technique donnée ou au raisonnement de la cohérence d'un système de culture, et que l'on travaille au niveau de la parcelle ou d'espaces plus englobants :

- *l'étude des qualités des indicateurs de diagnostic*, en grand développement aujourd'hui pour l'aide à la décision en matière de fertilisation et de protection phytosanitaire et la conduite modulée intraparcelle ;
- *la modélisation de l'effet des choix techniques sur la production et l'écosystème*, qui peut s'appuyer sur les connaissances amont, mais nécessite souvent des investigations spécifiques (cf. *infra*) ;
- *la conception d'innovations techniques* (règles de décision, nouveaux itinéraires techniques ou systèmes de culture), sur la base des modèles et en interaction forte avec les utilisateurs ;
- *l'évaluation de ces innovations techniques* : celle-ci peut s'appuyer, au moins pour les innovations conçues au niveau de la parcelle, sur des expéri-

mentations agronomiques. Une évaluation *in situ* de la mise en oeuvre de ces innovations par les acteurs de terrain est, en tout état de cause, nécessaire.



## Difficultés et questions vives

Pour chaque axe de recherche que nous venons d'identifier, nous tentons dans ce chapitre d'analyser les principales difficultés qui se posent aux agronomes et de présenter quelques unes des réponses qui ont pu y être apportées.

### *Etude des qualités des indicateurs*

Le développement important de l'agrophysiologie depuis une vingtaine d'années débouche aujourd'hui sur une offre assez considérable en indicateurs potentiellement utilisables pour la décision : la problématique du diagnostic de nutrition minérale a ainsi été profondément renouvelée par la connaissance des règles de répartition des éléments dans les couverts, et s'éloigne de l'empirisme du diagnostic foliaire (Lemaire & Gastal, 1997) ; la modélisation de la croissance sur la base de l'interception du rayonnement ouvre la voie à une utilisation prédictive des indicateurs corrélés à l'indice foliaire (réflectance du couvert, taux de couverture du sol...) ; les indicateurs de stress hydrique, les prédicteurs de la qualité des produits, le repérage des stades critiques de l'élaboration du rendement font également l'objet de recherches intenses. Cependant, un problème rencontré fréquemment dans la mise au point de ces indicateurs agrophysiologiques est *la diversité des réponses variétales*.

L'approche la plus classique consiste à analyser les qualités de l'indicateur (sensibilité, spécificité, robustesse, etc.) sur une ou deux variétés, de mettre au point une règle de décision, puis d'étudier la stabilité des paramètres de la règle selon les variétés. Si ceux-ci s'avèrent instables, la règle est complétée par une typologie des variétés : à chaque type correspond un jeu de paramètres.

Ce travail de *typologie variétale*, toujours à réactualiser, est relativement lourd ; une connaissance des mécanismes impliqués dans la variabilité intergénomique des valeurs prises par les indicateurs permettrait de l'alléger. Ainsi l'instabilité de la relation Réflectance/LAI sur le blé pourrait dépendre d'un petit nombre de paramètres liés à l'arrangement spatial des feuilles et à leurs propriétés optiques, paramètres *a priori* aisés à caractériser en routine, constituant ainsi une base typologique moins coûteuse et plus précise que l'établissement, sur chaque variété, de la relation Réflectance/LAI (Boissard *et al.*, 1995).



Plus généralement, la connaissance de l'effet du génotype sur la réponse des peuplements végétaux au milieu a pris beaucoup de retard, à la fois sur la génétique moléculaire et sur la physiologie de la réponse des végétaux à leur environnement ; une meilleure valorisation de la diversité génotypique dans le raisonnement des systèmes de culture ne pourra se faire qu'en fonction du comblement de cette lacune. Il s'agit, au bout du compte, d'apprendre à mieux adapter le choix variétal au système de culture et au milieu, mais aussi de déterminer comment adapter la conduite de la culture à la variété. Sur ce dernier aspect, les indicateurs d'aide à la décision ont un rôle important à jouer.

## *Modélisation prédictive de l'effet des choix techniques sur la production et l'écosystème*

### **Le problème de la discontinuité des connaissances analytiques**

La relation entre les techniques agricoles et la productivité est complexe et il est rare que les connaissances analytiques disponibles permettent de la reconstituer en totalité. Si l'on dispose aujourd'hui, pour beaucoup d'espèces, de modèles de fonctionnement du peuplement végétal, ayant pour entrée les caractéristiques du milieu (sol, climat) et pour sortie la production de biomasse et le rendement (Whisler *et al.*, 1986 ; Bouman *et al.*, 1996), de nombreux processus restent très mal connus :

- les effets à court ou à long terme des systèmes de culture sur certaines variables du milieu (maladies, parasites, mauvaises herbes, structure du sol, etc.) restent difficiles à prévoir, bien que des avancées significatives aient été réalisées ces dernières années (par exemple pour l'état structural du sol, voir Roger-Estrade, (1995)) ;
- les modèles de culture simulent mieux le rendement que la qualité des produits ou l'impact de la culture sur l'environnement, variables pourtant essentielles à la définition de systèmes de culture durables ;
- enfin, les modèles de culture eux-mêmes sont très hétérogènes et contiennent des simplifications qui les rendent souvent peu performants dans des conditions de production éloignées de leur région d'origine.

Comme illustration des difficultés nées de cette discontinuité des connaissances analytiques, on citera la modélisation de l'effet des maladies cryptogamiques sur le rendement du blé, réalisée par Chevalier-Gérard *et al.* (1994) pour la mise au point d'itinéraires techniques à bas niveau d'intrants. On sait

qu'une baisse de fertilisation azotée, un retard de semis, une diminution de densité, l'adoption de variétés résistantes permettent de diminuer le risque de maladies ; mais ces choix techniques conduisent souvent aussi à une baisse du rendement potentiel. Pour mettre au point des itinéraires techniques peu exigeants en fongicides, mais performants, il est nécessaire de pouvoir estimer les conséquences de ces différents choix sur le rendement potentiel et la perte de rendement due aux maladies compte tenu, bien sûr, du climat. Or, pour ce dernier point, les modèles d'évolution des épidémies développés aujourd'hui ne suffisent pas : d'une part, ils ne prennent pas en charge, le plus souvent, les effets des techniques culturales sur les épidémies, d'autre part on ne dispose pas d'informations suffisantes concernant les effets du complexe parasitaire sur la production pour les utiliser en prévision des dégâts. Le modèle réalisé fait en définitive l'impasse sur ces processus mal connus : il relie directement, sous forme d'une équation linéaire d'ajustement, la perte relative de rendement :

- aux actes techniques (nature du précédent cultural, date de semis, quantité d'azote disponible) ;
- aux notes de résistance variétales aux différentes maladies ;
- au climat codé globalement par le millésime <sup>1</sup> (tabl. 4).

On assiste ici à une *sous-valorisation des connaissances acquises* dans certains domaines (modèles épidémiologiques, résistances variétales...) en raison d'une impossibilité à les connecter à des connaissances complémentaires de précision équivalente.

### **La question du domaine de validité du modèle**

Quand on met au point une règle de décision ou un plan d'action, ce n'est évidemment pas pour qu'ils soient seulement utilisés sur le domaine expérimental d'un institut de recherche ! Le modèle qui sert de base à la conception des innovations techniques doit donc avoir un domaine de validité le plus large possible, comprenant des situations agricoles très diverses. La démarche généralement proposée dans la littérature sur les modèles (Whisler *et al.*, 1986) consiste à intégrer dans le modèle l'ensemble des processus connus, à le tester sur un réseau de parcelles expérimentales et, si nécessaire, le modifier

---

<sup>1</sup> On notera au passage que la manière dont le climat est pris en compte ici illustre bien la différence entre un modèle conçu pour l'aide à la décision en temps réel (où les variables climatiques en temps réel seraient nécessairement variables d'entrée) et la conception d'itinéraires techniques (où la simulation en temps réel n'est pas nécessaire, mais où l'estimation des dégâts est primordiale).

ou le caler pour en rendre les sorties plus conformes à la réalité. L'inconvénient de cette procédure est que si certains facteurs limitants ne sont pas modélisés *a priori*, ils peuvent rester ignorés ; le calage du modèle sur les situations affectées par ces facteurs limitants risque même de biaiser l'évaluation de certains paramètres.

Tableau 4  
Modèle linéaire, paramétré pour la région Picardie, d'estimation de la perte relative de rendement due aux maladies (%), en absence de traitement fongicide(d'après Chevalier-Gérard *et al.*, 1994)

Facteurs et Covariables	Paramètres
Moyenne générale	26,57
Année de récolte	
1978	- 4,81
1979	- 7,73
1980	- 3,05
1981	7,93
1982	2,27
1983	1,16
1984	- 6,70
1985	1,20
1986	- 7,23
1987	5,15
1988	0,16
1989	6,94
1990	- 2,67
1991	7,38
Distance à la mer	
0 à 20 km	3,18
20 à 40 km	0,60
> 40 km	- 3,78
Note de résistance à	
la rouille jaune	- 0,94
la septoriose	- 0,86
l'oïdium	- 0,76
Nature du précédent	
Céréale à paille	1,90
Autre	- 1,90
Date de semis *	0,0051

\* On rend compte de l'effet de la date de semis par la somme de degrés-jours du semis au 31 janvier, critère intégrateur du risque de contamination d'automne et d'hivers.

Exemple : Pour une parcelle située à plus de 40 km du littoral [précédent betterave, variété Renan (note de résistance à la rouille jaune : 8, à la septoriose : 4, à l'oïdium : 6), semée le 10/10/90 (soit 530°C.j pour le poste de Rouen)], on évalue la perte de rendement due aux maladies à :  $26.57 + 7.38 + (-3.78) + (-1.90) + 8 (-0.94) + 4 (-0.86) + 6 (-0.76) + 530 (0.0051) = 15.4$  % du rendement sans maladie

Une autre solution, plus pragmatique, consiste à *fonder la modélisation sur un diagnostic agronomique en parcelles d'agriculteurs*. La démarche de diagnostic est fondée sur le suivi d'un échantillon de parcelles d'agriculteur, choisies en fonction de leur terrain, de leur système de culture et des caractéristiques des exploitations auxquelles elles appartiennent (Boiffin *et al.*, 1981 ; Doré *et al.*, 1997). On y effectue différentes observations et mesures qui permettent de porter sur chaque parcelle un diagnostic des facteurs limitants de la production ou de l'efficacité des intrants (Meynard & David, 1992) ; on détermine enfin les caractéristiques du milieu et du système de culture qui, sur les parcelles de l'échantillon, ont joué un rôle dans l'extériorisation de ces facteurs limitants. Le réseau est répété plusieurs années successives pour intégrer la variabilité climatique. On identifie ainsi, pour la zone d'étude, les points de blocage les plus fréquents et les fonctions sur lesquelles il faudra faire porter l'effort d'investigation et de modélisation. Les recherches de base nécessaires à la modélisation peuvent alors être réalisées sur des expérimentations spécifiques, le réseau de parcelles d'agriculteur pouvant à nouveau être utile pour la validation du modèle. Ainsi, en Picardie, Meynard (1985) montre que les facteurs limitants majeurs du rendement du blé sont la compacité de la couche arable, les maladies des tiges et des racines et les carences azotées temporaires liées à des retards d'apport d'engrais ; aucun modèle mécaniste ne rend aujourd'hui compte des deux premiers de ces facteurs et les acquis sur le troisième sont très insuffisants pour permettre une modélisation des effets des dates d'apport d'engrais. De même, dans un travail sur la maîtrise de conséquences, sur la culture qui suit, de la jachère introduite en France par la politique agricole européenne, le diagnostic agronomique en parcelles agricoles a conduit à s'intéresser particulièrement à la maîtrise du vulpin des champs (*Alopecurus myosuroides* Hud.). Le comportement de cette graminée adventice est apparu fort différent dans les jachères de ce que l'on connaissait dans les champs de blé : étalement des levées et de la floraison beaucoup plus important, refloweraisons après broyage, production de graines par plante très supérieure, attaques fréquentes par des maladies pouvant être transmises au blé qui suit (Doré & Dulout, 1996). Ce diagnostic a montré qu'aucune approche prédictive du comportement de la succession jachère/blé ne serait possible sans un accroissement des connaissances sur la compétitivité des couverts semés vis-à-vis des mauvaises herbes, la modélisation du développement du vulpin après un broyage ou l'effet du vulpin sur l'épidémiologie des maladies telluriques du blé.

Le diagnostic agronomique apparaît ainsi, tout autant que les modèles d'amont, comme une source de connaissances indispensable pour la prévision

des effets des systèmes de culture sur la production et le milieu ; on perçoit bien, à travers ces exemples, l'aller-retour qui s'organise entre les recherches sur le fonctionnement de l'agrosystème et celles sur la conception d'itinéraires techniques et de systèmes de culture : les travaux de diagnostic et de modélisation orientés vers ce second objectif constituent à la fois une source de questionnement aux spécialistes de l'agrosystème et une structure d'accueil pour les progrès des connaissances issues de leurs travaux.

## *La conception de solutions techniques à partir des modèles*

### **Les systèmes interactifs d'aide à la décision**

Dans un contexte changeant, il est nécessaire de disposer d'outils pour mettre au point le plus rapidement possible les nouveaux itinéraires techniques et systèmes de culture. Les études sur la décision montrent qu'il est plus efficace, (en particulier pour les décisions complexes) d'aider l'acteur à se construire sa solution plutôt que de lui fournir une seule stratégie, fût-elle théoriquement optimale (Chatelin *et al.*, 1994) : c'est pourquoi les recherches s'orientent vers la fabrication d'outils interactifs d'aide à la conduite des cultures dont Déciblé constitue un prototype.

L'objectif du système d'aide à la décision Déciblé, conçu par l'Inra et l'Institut technique des céréales et de fourrages (ITCF) est d'aider à raisonner la cohérence entre les techniques culturales et les objectifs de production sur une parcelle de blé d'hiver (Aubry *et al.*, 1992). Les variables d'entrée sont les caractéristiques de la parcelle avant travail du sol (type de terrain, état laissé par le précédent cultural) et un ensemble de règles de décision (appelé plan d'action) concernant les différentes techniques culturales (travail du sol, semis, fertilisation, traitements phytosanitaires, etc.). Le logiciel permet de simuler, sous différents scénarios climatiques, les décisions techniques qu'aurait prises un agriculteur ayant adopté le plan d'action, et les conséquences de leur application au niveau du rendement obtenu, de la qualité des récoltes, de la marge brute, etc. Il permet donc d'associer à un plan d'action une espérance et une distribution du rendement, de la qualité, de la marge brute, des quantités d'azote minéral en fin de culture, et donc de choisir parmi plusieurs le plan répondant le mieux à un cahier des charges donné. Déciblé réalise en quelque sorte une « expérimentation en chambre » de modes de conduite du blé : en quelques minutes, on dispose de l'équivalent de quinze années de résultats.

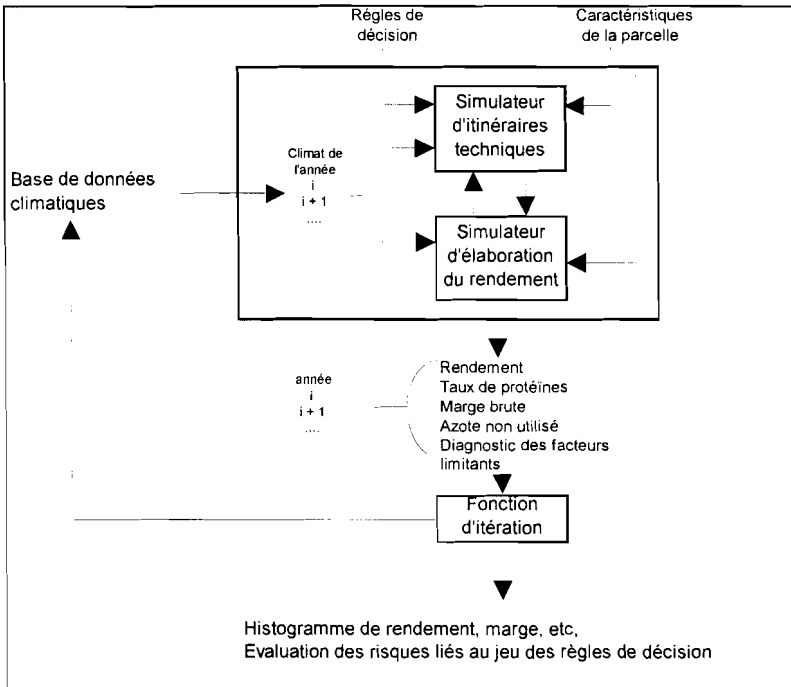


Figure 2 — Organisation du logiciel Déciblé.

Déciblé est constitué par l'assemblage de deux types de modèles (fig. 2) :

- *un modèle décisionnel* qui joue le rôle de « pilote », en simulant, pour chaque scénario climatique, les décisions techniques induites par le plan d'action (« simulateur d'itinéraires techniques »). Un langage spécifique de représentation des connaissances, empruntant beaucoup aux techniques de l'intelligence artificielle a été mis au point pour ce type d'outil d'aide à la décision (Attonaty *et al.*, 1993) ;
- *un ensemble de modèles biotechniques* dont les entrées sont les caractéristiques du milieu (sol, climat) et les actes techniques générés par le modèle de décision, l'élaboration du rendement et de la qualité, l'évolution des stocks d'eau et d'azote du sol, l'évolution de la structure de la couche arable sont ainsi simulées en interaction les unes avec les autres.

Le fonctionnement actuel de Déciblé pose plusieurs questions, générales aux outils de ce type (Poussin, 1991) :

- en sortie du logiciel, l'utilisateur dispose de plusieurs critères, difficilement agrégeables : comment classer des plans d'action, comment choisir, parmi ceux qui sont « acceptables », celui qui sera jugé le plus satisfaisant ? Les

méthodes d'analyse multicritère, classiques en gestion, pourraient être utilisées avec profit (Schärling, 1985) ;

– si l'utilisateur n'est pas satisfait d'un plan d'action, comment peut-il savoir quelle règle modifier pour l'améliorer ? La nature des facteurs limitants dans le cas simulé permet à un utilisateur ayant des compétences agronomiques d'inférer des règles plus pertinentes. Les recherches fondées sur la génération d'itinéraires techniques par des techniques d'intelligence artificielle (Martin-Clouaire & Rellier, 1995) offrent, d'autre part, des perspectives intéressantes.

### **La prise en compte de l'incertitude de prédiction des modèles**

Les modèles utilisés dans l'aide à la décision n'ont pas toujours une très bonne valeur prédictive et leurs variables d'entrée ne sont pas toujours connues avec précision : leur utilisation pour prévoir les effets d'interventions culturales laisse subsister une incertitude sur laquelle ils ne donnent aucune information, car ils sont pratiquement toujours déterministes. Tant que cette incertitude reste mal connue, il n'est pas possible d'estimer correctement les risques encourus par le décideur.

Il apparaît donc nécessaire de développer des recherches sur :

– la modélisation de l'incertitude dans la prévision des variables de sortie des modèles utilisés pour l'aide à la décision ; cette incertitude résulte à la fois de l'existence de processus ou d'interactions non prises en compte dans le modèle, de la nature des variables d'entrée du modèle (choisies par l'agronome en fonction de son appréhension des contraintes de la décision) et de l'imprécision dans la saisie de ces variables d'entrée par l'agriculteur ;

– les conséquences de cette évaluation de l'incertitude pour la mise au point de programmes d'interventions culturales. L'approche au niveau de la parcelle est la plus pertinente pour l'étude de relations entre systèmes de culture et incertitude, mais elle n'est pas la plus pertinente pour l'étude de la maîtrise des risques. En effet, c'est à un niveau plus englobant que les différents acteurs jugent les systèmes de culture et vont donc apprécier les risques : l'exploitation agricole pour l'agriculteur ; le bassin d'approvisionnement pour l'industriel transformateur de produits agricoles ; le bassin versant ou de nappe pour les consommateurs d'eau. L'utilisation conjointe de la connaissance de l'incertitude sur la prévision de l'effet des techniques, de la connaissance de l'aléa sur les prix et de la connaissance des processus de décision et négociation au niveau de ces espaces devrait permettre de comparer différentes règles de décision au niveau de la parcelle, différentes règles d'arbitrage au niveau de

l'exploitation, ou différentes procédures de contractualisation au niveau du bassin, quant à leur efficacité dans la maîtrise des risques encourus par les différents acteurs concernés.

Ainsi, pour la fertilisation azotée, le calcul des doses d'engrais repose actuellement sur l'équation du bilan prévisionnel fondée sur une modélisation des besoins de la culture et des fournitures du sol (Hébert & Rémy, 1977). La pondération des risques de surfertilisation (pouvant entraîner une pollution des eaux par  $\text{NO}_3^-$  ou un taux de protéines trop élevé pour certaines utilisations) et de sous-fertilisation (pouvant entraîner une carence en azote, une perte de rendement et un taux de protéines trop faible) est implicite dans ce calcul. Aucune procédure n'est disponible pour l'agriculteur pour définir une autre pondération que celle proposée par l'agronome. Or, d'une part l'évolution du rapport de prix entre les céréales et l'engrais (division par deux environ sur 15 ans) et l'importance croissante attachée à la pollution des eaux par l'ion nitrate sont susceptibles de remettre en cause la pondération effectuée dans les années 70 par les concepteurs de la méthode de calcul ; d'autre part, les conséquences d'une erreur d'ajustement de la fertilisation peuvent être très différentes selon les situations (débouchés du produit, potentialités du milieu, risques effectifs pour les eaux, etc.). La modélisation de l'incertitude dans la prévision de la réponse à l'engrais du rendement, de la teneur en protéine des grains et du reliquat d'azote minéral après récolte permet à Makowski (1996) de montrer que les paramètres actuels du bilan prévisionnel conduisent plus souvent à une surfertilisation qu'à une sous-fertilisation (ce qui est cohérent avec la discussion menée autour de la figure 1), et d'estimer le gain de marge brute ou de reliquat d'azote que l'on peut espérer de l'amélioration du modèle. Il apparaît également que même pour un décideur indifférent vis-à-vis du risque, la stratégie maximisant la marge brute moyenne peut être assez différente de celle issue de la version déterministe de la modélisation de la réponse à l'engrais. Rossing *et al.* (1994) avaient observé la même chose sur le cas de la protection phytosanitaire.

### *L'évaluation des innovations techniques proposées aux agriculteurs*

On doit distinguer deux types d'évaluation :

– l'évaluation *in situ* : l'innovation technique est conseillée à des agriculteurs qui l'appliquent, plus ou moins fidèlement, dans leurs champs. On évalue



alors sa faisabilité, son insertion dans l'organisation du travail des unités de production, sa compatibilité avec leur manière de prendre des décisions, etc. La conclusion renvoie à la formulation de la règle (Cerf & Meynard, 1988) ou aux interfaces-utilisateur du système d'aide à la décision, mais parfois aussi, met à jour la méconnaissance qu'avaient les concepteurs du contexte de la décision ! Les méthodes d'étude, qui relèvent largement des sciences humaines, ne seront pas développées ici, bien que les agronomes y soient nécessairement associés ;

– l'évaluation expérimentale (essai de test d'itinéraires techniques ou de systèmes de culture), orientée vers la vérification de la cohérence de l'innovation avec ses objectifs assignés : l'agronome applique une règle de décision, ou un ensemble de règles, sur des essais au champ, observe leurs résultats sur la production, les coûts, le milieu, etc., les compare éventuellement à ceux d'autres règles, détermine leurs points faibles, teste les hypothèses qu'il a été amené à faire lors de leur conception, etc. Il conclut sur la validité des bases agronomiques de l'innovation technique ou de l'outil d'aide à la décision, et sur leur domaine de validité.

Les expérimentations réalisées dans ce cadre diffèrent fortement des expérimentations factorielles classiques ; dans celles-ci, certaines techniques sont contrôlées par le protocole et leurs modalités définies en général dès la mise en place de l'essai (par exemple les doses d'engrais dans un essai fertilisation), et les autres laissées à l'appréciation de l'expérimentateur ; dans un essai de test d'itinéraires techniques, toutes les interventions techniques dépendent de règles de décision, leurs modalités précises sont donc inconnues au début de l'essai, mais aucune n'est laissée à la libre appréciation de l'expérimentateur. Ce nouveau type d'essais nécessite un apprentissage de la part des expérimentateurs et le travail théorique sur la méthodologie est loin d'être terminé (cf. Debaeke *et al.*, 1996 ; Meynard *et al.*, 1996 ; Reau *et al.*, 1996).

Le fait que les outils d'aide à la décision soient fondés sur des modèles ne doit pas amener à confondre l'évaluation du modèle avec celle de l'outil. L'évaluation du simulateur d'élaboration du rendement de Déciblé est présentée sur la figure 3-a : il s'agit, à titre d'exemple, d'une confrontation du rendement estimé au rendement réel obtenu sur des essais. Mais toutes les erreurs de simulation n'ont pas des conséquences équivalentes pour la décision : certaines peuvent avoir des conséquences graves, en entraînant de mauvais choix, d'autres aucune conséquence. A côté de la validation en simulation, il est donc nécessaire d'évaluer l'aptitude de Déciblé à déterminer le plan d'action le plus pertinent vis-à-vis d'un cahier des charges.

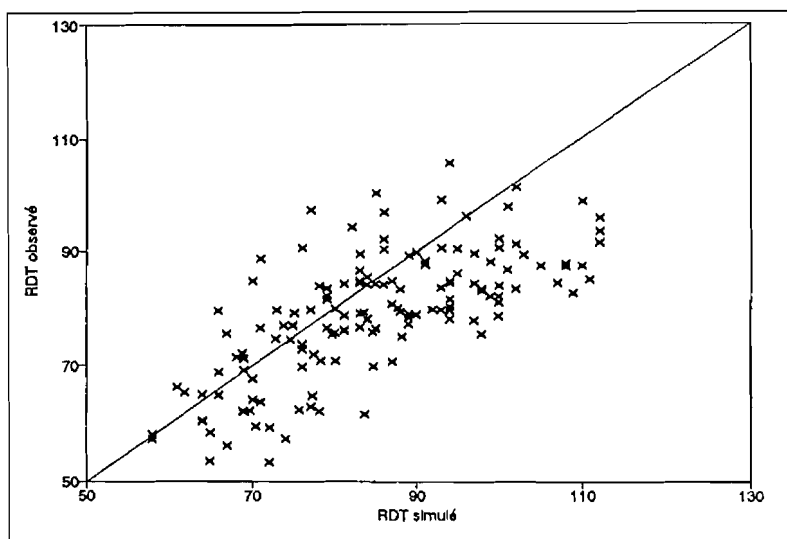


Figure 3a — Validation du simulateur d'élaboration du rendement de Déciblé : rendements simulés et observés dans un réseau d'essais (Grignon, 1992, 93, 94)

Plan d'action	Prix du blé (F/quintal)				
	50	70	90	110	130
Densité et dose N élevées + fongicide				●	(●)
<i>Idem</i> , sans fongicide			●		
Densité et dose N faibles + fongicide			( )	( )	
<i>Idem</i> sans fongicide	(●)	(●)			

Légende : ( ) Résultat expérimental (Grignon 1992, 93, 94) ; ● d'après Déciblé

Figure 3b — Validation de Déciblé pour le choix de plans d'action : plan d'action permettant d'atteindre la marge brute moyenne la plus élevée, selon le prix du blé (Var. Soissons).

La figure 3-b compare quatre plans d'action proches de ceux déjà vus précédemment (tabl. 2) : le signe '( )' indique le plan d'action qui, pour un prix du blé donné, obtient la marge brute moyenne la plus élevée (d'après des résultats expérimentaux). Selon le prix du blé, la marge brute la plus élevée n'est pas obtenue avec le même plan. Pour ce cahier des charges monocritère, très simple, Déciblé donnera satisfaction s'il conduit à choisir le même plan d'action que les résultats expérimentaux : tel est le cas pour les prix du blé

extrêmes (ce qui est déjà encourageant), mais il est clair que des problèmes restent à résoudre puisqu'il y a divergence entre Déciblé et la réalité aux prix intermédiaires.



## Conclusion

Ainsi, les modèles de fonctionnement de l'agrosystème constituent aujourd'hui le pivot de la démarche d'innovation en matière de conduite des systèmes de culture puisqu'ils donnent un sens aux indicateurs et servent de base aussi bien à la conception des systèmes de culture qu'à leur extrapolation. Cela ne signifie pas cependant qu'il n'est possible d'inventer des systèmes innovants que sur la dizaine d'espèces les plus étudiées dans le monde, qui font l'objet de modèles de fonctionnement aujourd'hui bien connus du monde de la recherche (Ceres, Soygro, Sucros, Gossym, etc.). Un modèle, tout agronome travaillant sur une espèce (ou une association) donnée dans une région peut en construire un, plus ou moins complexe, en se fondant sur le diagnostic des facteurs limitants dominants, les lois générales d'action des facteurs du milieu qui transcendent espèces et continents (sommées de degrés.jours, lois d'interception du rayonnement, lois de dilution des éléments minéraux, bilans hydriques et minéraux, etc.) et quelques expérimentations bien choisies. Le meilleur modèle n'est pas le plus universel ou le plus proche des mécanismes, mais celui qui, dans un contexte donné, rend le mieux compte des effets des interventions culturales sur les variables de sortie jugées intéressantes, du rendement à l'environnement (voir, par exemple, de Tourdonnet & Roger-Estrade, 1997). Il n'est certes pas aisé de déterminer *a priori* quel degré de formalisation des mécanismes de fonctionnement du peuplement végétal ou du milieu sera nécessaire pour une utilisation donnée ; c'est progressivement, par des allers et retours entre modélisation/conception/évaluation des innovations que le modèle trouvera son juste degré de complexité, directement dépendant des questions abordées et des caractéristiques des bases de données disponibles pour son évaluation.

La garantie que ces modèles ne sont pas des « lubies » de chercheur, mais sont relativement fidèles à la réalité est donnée par leur confrontation aux résultats de parcelles agricoles d'une part, et aux acteurs de terrain eux-mêmes d'autre part. Leur réalisme est ainsi mis à l'épreuve dans la crédibilité des indicateurs aussi bien que dans les systèmes interactifs d'aide à la décision. Ici, comme aux autres étapes de la démarche, la réussite du travail repose sur une alliance solide entre l'agronome et ses partenaires, paysans, développeurs, conseillers, etc. (Rossing *et al.*, 1997). En effet, l'importance donnée aux modèles dans le

texte aussi bien que dans la conclusion reflète l'angle d'attaque de l'article — l'utilisation des connaissances sur le fonctionnement de l'agrosystème pour la mise au point de systèmes de culture — mais ne doit pas occulter le rôle déterminant pour la pertinence des innovations proposées, de la connaissance des systèmes de production et des systèmes agraires ainsi que de l'organisation de relations étroites entre recherche, développement et application.

## Références bibliographiques

- AKKAL N., BOISSARD P.,  
CHABANET C., JEUFFROY M.H.,  
LEWIS P., MEYNARD J.M., VALERY P., 1997 –  
Nitrogen fertilisation management in winter  
wheat based on an early estimate of the  
cover fraction. 1st Eur. Conf. on Precision  
Agriculture, Warwick (UK), 8-10/09/1997,  
poster.
- ATTONATY J.M., CHATELIN M.H.,  
POUSSIN J.C., SOLER L.G., 1993 –  
Advice and decision support systems in  
agriculture : new issues. In Huime R.B.M.,  
Harsh S.B., Dijkhuizen A.A. (éd.) : *Farm level  
information systems*. Woudschoten, Zeist,  
The Netherlands, pp. 89-101
- AUBRY C., CHATELIN M.H., POUSSIN J.C.,  
ATTONATY J.M., MEYNARD J.M.,  
GERARD C., ROBERT D., 1992 –  
Déciblé : a decision support system for wheat  
management. 4e Congrès d'informatique  
agricole, Versailles, 1-3/06/1992, poster.
- BOIFFIN J., CANEILL J.,  
MEYNARD J.M., SEBILLOTTE M., 1981. –  
Élaboration du rendement et fertilisation azotée  
du blé d'hiver en Champagne Crayeuse. I.  
Protocole et méthode d'étude d'un problème  
technique régional. *Agronomie*, 1 : 549-558.
- BOISSARD P., AKKAL N.,  
VALERY P., LEWIS P., MEYNARD J.M., 1995 –  
3D plant characterization and modelling  
aimed at the remote control of winter wheat  
growth. Coll. on Photosynthesis and Remote  
Sensing, Montpellier, 28-30/09/1995. Actes,  
pp. 287-292.
- BOUMAN B.A.M., VAN KEULEN H.,  
VAN LAAR H.H., RABBINGE R., 1996 –  
The ' School of de Wit ' Crop growth  
simulation models : a pedigree and historical  
overview. *Agric. Syst.*, 52 : 171-198.
- CERF M., MEYNARD J.M., 1989 –  
Sur l'origine du hiatus entre les conseils  
techniques et les pratiques des agriculteurs,  
résultats d'une enquête sur la fertilisation. In :  
Dodd V. A. & Grace P.M. (éd.) : *Proc. of the  
11<sup>th</sup> Intern. Cong. on Agricultural Engineering*.  
Balkema/Rotterdam, sept. 1989,  
pp. 2925-2934.
- CHATELIN M.H., MOUSSET J., PAPY F., 1994 –  
Farmers' decision making. A description  
approach. In : B.H. Jacobsen, D.E. Pedersen,  
J. Christensen & S. Ramunsen (éd.) : *Proc.  
38<sup>th</sup> EAAE Seminar*, pp. 369-381.
- CHEVALIER-GERARD C.,  
DENIS J.B., MEYNARD J.M., 1994 –  
Perte de rendement due aux maladies  
cryptogamiques sur blé tendre d'hiver.  
Construction et validation d'un modèle de  
l'effet du système de culture. *Agronomie*,  
14 : 305-318.
- COLBACH N., DUBY C.,  
CAVELIER A., MEYNARD J.M., 1997 –  
Influence of cropping systems on foot and  
root diseases of winter wheat. Fitting a  
statistical model. *Eur. J. Agron.*, 6 : 61-77.

- COLBACH N., MEYNARD J.M., 1996 – Modelling the influence of cropping systems on gene flow from herbicide resistant rapeseed. Presentation of model structure. X<sup>e</sup> Coll. Intern. sur la Biologie des Mauvaises Herbes, Dijon, 11-13/09/1993. Actes, pp. 223-230.
- DEBAEKE P., VIAUX P., DORE T., 1996 – Production de références sur les successions de cultures. In : *Expérimenter sur les conduites de culture : un nouveau savoir-faire au service d'une agriculture en mutation*. Comité Potentiels/DERF/ACTA, Paris, pp. 87-98.
- DORE T., DULOUT A., 1996 – Le gel des terres en Europe : mesure administrative et nouvelles questions agronomiques. *Cah. Agricultures*, 5 : 450-459.
- DORE T., SEBILLOTTE M., MEYNARD J.M., 1997 – A diagnostic method for assessing regional variations in crop yield. *Agric. Syst.*, 54 : 169-188.
- FISHER R.A., 1985 – The role of crop simulation models in wheat agronomy. In : W. Day & R.V. Atkin (éd.) : *Wheat growth and Modelling*. Plenum Press, New York/London, pp. 237-253.
- JUSTES E., 1993 – *Diagnostic de la nutrition azotée du blé à partir de la teneur en nitrate de la base de la tige. Applications au raisonnement de la fertilisation*. Thèse de Doctorat. Paris, INA P-G, 234 pages + annexes.
- JUSTES E., MEYNARD J.M., MARY B., PLENET D., 1997 – Use of nitrate concentration in stem base extract of wheat and maize crops to manage nitrogen fertilization. In : Lemaire G. (éd.) : *Diagnosis of nitrogen status in crops*. Springer Verlag, Heidelberg, pp. 164-187.
- LAURENT F., JUSTES E., 1994 – Fertilisation azotée du blé d'hiver : un nouvel outil de pilotage. *Jubil. Perspec. agric.*, 190 : 62-69.
- LAURENT F., JUSTES E., GATE P., 1996 – Jubil 1996 : la méthode s'affine. *Perspec. agric.*, 214 : 63-74.
- LE BAIL M., 1994 – Crop quality management : research questions. In : M. Borin & M. Sattin (éd.) : *Proc. 3<sup>rd</sup> ESA Cong. Abano-Padova.*, pp. 560-569.
- LEMAIRE G., GASTAL F., 1997 – Nitrogen uptake and distribution in plant canopies. In : Lemaire G. (éd.) : *Diagnosis of nitrogen status in crops*. Springer Verlag, Heidelberg, pp. 3-43.
- LIMAUX F., MEYNARD J.M., 1992 – Céréaliculture : la désintensification d'ores et déjà rentable. *Aménagement et Nature*, 105 : 16-19.
- LOYCE CH., MEYNARD J.M., 1997 – Low input wheat management techniques are more efficient in ethanol production. *Ind. Crops and Products*, 6 : 271-283.
- MAKOWSKI D., 1996 – *Modélisation de l'incertitude de la réponse à l'azote et évaluation de stratégies de fertilisation. Application au blé d'hiver*. Mémoire DEA INA P-G/Paris VI/Paris XI.
- MARTIN-CLOUAIRE R., RELIER J.P., 1995 – Crop management planning as a fuzzy and uncertain Constraint Satisfaction Problem (CSP). In : *Artificial Intelligence Applications in Natural Resources, Agriculture and Environmental Science*, 9 : 71-84.
- MESSEAN A., 1994 – Colza et transgénèse : l'impact économique et social. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 1 : 49-51.
- MEYNARD J.M., 1985 – *Construction d'itinéraires techniques pour la conduite du blé d'hiver*. Thèse de Doctorat. Paris, INA P-G, 258 pages + annexes.
- MEYNARD J.M., AUBRY C., JUSTES E., LE BAIL M., 1997 – Nitrogen diagnosis and decision support. In : Lemaire G. (éd.) : *Diagnosis of nitrogen status in crops*. Springer Verlag, Heidelberg, pp. 147-161.
- MEYNARD J.M., BOIFFIN J., CANEILL J., SEBILLOTTE M., 1981 – Élaboration du rendement et fertilisation azotée du blé d'hiver en Champagne Crayeuse. II. Types de réponse à la fumure azotée et application de la méthode du bilan prévisionnel. *Agronomie*, 1 : 795-806.
- MEYNARD J.M., DAVID G., 1992 – Diagnostic sur l'élaboration du rendement des cultures. *Cah. Agricultures*, 1 : 9-19.
- MEYNARD J.M., REAU R., ROBERT D., SAULAS P., 1996 – Évaluation expérimentale des itinéraires

- techniques. In : *Expérimenter sur les conduites de culture : un nouveau savoir-faire au service d'une agriculture en mutation*. Comité Potentialités/DERF/ACTA, Paris, pp. 63-72.
- POUSSIN J.C., 1991 –  
*Déciblé : un outil d'aide à la décision pour la conduite du blé d'hiver*. Mémoire DEA, Univ. Paris-Dauphine.
- REAU R., MEYNARD J.M., ROBERT D., GIBBON C., 1990 –  
Des essais factoriels aux essais 'conduite de culture'. In : *Expérimenter sur les conduites de culture : un nouveau savoir-faire au service d'une agriculture en mutation*. Comité Potentialités/DERF/ACTA, Paris, pp. 52-62.
- REMY J.C., HEBERT J., 1997 –  
Le devenir des engrais azotés dans le sol. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 63 : 700-710.
- ROBERT N., 1996 –  
*Modulation des conduites culturales à partir des hétérogénéités intraparcélaires. Cas de la fertilisation azotée des céréales à paille dans le Bassin Parisien*. Thèse de Doctorat. Paris, INA P-G, 162 pages + annexes.
- ROGER-ESTRADE J., 1995 –  
*Modélisation de l'évolution à long terme de l'état structural des parcelles labourées. Contribution à l'analyse des effets des systèmes de culture*. Thèse de Doctorat. Paris, INA P-G, 238 pages + annexes.
- ROSSING W.A.H., DAAMEN R.A., JANSSEN M.J.W., 1994 –  
Uncertainty Analysis Applied to Supervised Control of Aphids and Brown Rust in Winter Wheat. Part 2. Relative Importance of Different Components of Uncertainty. *Agric. Syst.*, 44 : 449-460.
- ROSSING W.A.H., MEYNARD J.M., VAN IJTERRSUM M.K., 1997 –  
Model-based explorations tu support development of sustainable farming systems : case studies from France and the Netherlands. *Eur. J. Agron.* (sous presse).
- SAULAS P., MEYNARD J.M., 1997 –  
Production intégrée et extensification sont-elles compatibles ? Cas des céréales à paille. *Le Courrier de l'Environnement de l'Inra* (sous presse).
- SCHÄRLIG A., 1985. –  
*Décider sur plusieurs critères. Panorama de l'aide à la décision multicritère*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 304 pages.
- SCHUELLER J.K., 1992 –  
A review and integrating analysis of spatially-variable control of crop production. *Fert. Res.*, 33 : 1-34.
- SEBILLOTTE M., 1978 –  
La collecte des références et les progrès de la connaissance agronomique. In : J. Boiffin, P. Huet & M. Sebillotte (éd.) : *Exigences nouvelles pour l'agriculture : les systèmes de culture pourront-ils s'adapter ?* Paris., INA P-G, pp. 466-496.
- SEBILLOTTE M., 1980 –  
Rôles de la prairie dans la succession culturale. *Fourrages*, 83 : 79-124.
- SEBILLOTTE M., 1990 –  
Système de culture, un concept opératoire pour les agronomes. In : L. Combe & D. Picard (éd.) : *Les systèmes de culture*. Paris, Inra, pp. 166-196.
- DE TOURDONNET S., ROGER-ESTRADE J., 1997 –  
Prise en compte de l'hétérogénéité du milieu sous abri plastique dans la construction d'un modèle pour la gestion technique d'une culture de laitues. In : Baille A. (éd.) : *Modélisation, gestion et aide à la décision dans les systèmes de production sous abri*. Paris, Inra (sous presse).
- VANDENDRIESSCHE H.J., VAN IJTERRSUM M.K., 1995 –  
Crop models and decision support systems for yield forecasting and management of the sugar beet crop. *Eur. J. Agron.*, 4 : 269-279.
- VEREIJKEN P., 1992 –  
A methodic way to more sustainable farming systems. *Netherlands J. agric. Sci.*, 40 : 209-223.
- WHISLER F.D., ACOCK B., BAKER O.N., FYE R.E., HODGES H.F., MAUBERT J.R., LEMMON N.E., MCKINION J.M., REDDY V.R., 1986 –  
Crop simulation models in agronomic systems. *Adv. Agron.*, 40 : 141-208.

# Une pratique paysanne face aux risques de sécheresse sur l'altiplano bolivien

L'utilisation d'une biodiversité de *Solanum*

Jean Joinville Vacher

Carmen del Castillo

Jacques Dizes †

Roland Bosseno

*Ce travail est dédié à notre  
collègue et ami Jacques Dizes*

## Introduction

L'altiplano, vaste plateau de plus de 5 millions d'hectares situé à une altitude moyenne de 4000 m, est une des principales régions agricoles de Bolivie pour la production de tubercules (pomme de terre : *Solanum ssp* et oca : *Oxalis tuberosa*) et de grains andins (quinoa : *Chenopodium quinoa* et cañahua : *Chenopodium pallidicaule*). Les rendements des cultures y sont cependant très variables et en moyenne faibles. Ils sont limités par des risques élevés de sécheresse et de gelées ; une année sur trois les précipitations pendant la saison agricole sont inférieures à la moitié de la demande climatique (ETP) (Vacher et Imaña, 1987) et la probabilité d'occurrence d'une température inférieure à -2 °C pendant les mois de développement des cultures (janvier à mars) est souvent supérieure à 40 % (Le Tacon *et al.*, 1992). Face à ces fortes contraintes climatiques les paysans de l'altiplano ont développé une agriculture spécifique dont les caractéristiques principales, liées à une stratégie de réduction des risques de sécheresse et de gelées, reposent essentielle-

ment (i) sur la sélection de plantes andines très résistantes au froid et au déficit hydrique (Tapia, 1990), (ii) sur l'adéquation entre la conduite des cultures et l'hétérogénéité spatiale des risques climatiques à l'échelle de la communauté et à l'échelle de la parcelle (Du Portal, 1993 ; De Thuy, 1995), (iii) sur l'utilisation d'une grande diversité de cultures andines (Rea, 1992). Cette biodiversité, dans un contexte agroclimatique très limitant, concerne différentes espèces, variétés et écotypes d'une même culture. Pour la pomme de terre notamment, base de l'alimentation humaine sur l'altiplano, on ne dispose pas moins de six espèces de *Solanum* et plus de 200 variétés cultivées (Hawkes et Hjerting, 1989 ; Ochoa, 1990). Cette diversité de *Solanum* se retrouve à l'échelle de l'exploitation agricole et à l'échelle de la parcelle, ainsi De Thuy (1995) recense quatre espèces de pomme de terre et 35 variétés sur une parcelle de 300 m<sup>2</sup>. Malgré leur rôle primordial pour l'alimentation des paysans et leurs potentialités dans des conditions climatiques extrêmes de sécheresse et de gelées, les *Solanum* natives de l'altiplano sont restées tout à fait marginales dans les programmes de recherche et/ou de développement.

Dans le cadre d'une étude pluridisciplinaire sur les pratiques et les savoirs des paysans de l'altiplano effectuée en collaboration avec l'IBTA (Instituto boliviano de tecnologias agropecuarias) et le SENAMHI (Servicio nacional de meteorologia e hidrologia) une recherche a été réalisée sur les conséquences de l'utilisation d'une diversité de *Solanum* face à la sécheresse. De nombreux auteurs (Turner et Begg, 1978 ; Levitt, 1980 ; Martin *et al.*, 1989) ont montré que les diverses réponses des cultures à la sécheresse pouvaient être dépendantes de différentes évolutions et interrelations entre les paramètres hydriques de la plante et les échanges gazeux (transpiration et photosynthèse). Des recherches sur les *S. tuberosum* ssp *tuberosa* (Levy, 1983 ; Willcox et Ashley, 1982 ; Van Loon, 1986 ; Coleman, 1986) ont corroboré la pertinence de l'utilisation de ces paramètres pour différencier les sensibilités à la sécheresse, mais Bodlander (1986) et Vos (1986) ont souligné cependant les limites et les difficultés d'interprétation des résultats. Dans l'étude que nous présentons ici nous aborderons le rôle de la diversité des *Solanum* cultivées face à la sécheresse par l'analyse comparative de la consommation en eau, des potentiels hydriques foliaires, de la conductance stomatique, de la transpiration et de la photosynthèse de *Solanum curtilobum*, *Solanum juzepczukii* et *Solanum tuberosum* ssp *andigena*. Dans un souci de rester proche des conditions paysannes, les cultures ont été étudiées en plein champ et dans les conditions climatiques naturelles d'une saison agricole sèche. Par ces premiers résultats, nous essaierons de contribuer à la connaissance des espèces natives de pomme de terre et de valoriser leurs potentialités afin de mieux comprendre leur utilisation par les agriculteurs et d'aider ainsi à mieux gérer, mieux conserver



et mieux insérer dans des actions de développement cette biodiversité, encore très présente dans l'agriculture andine.

## Matériel et méthodes

L'étude a été réalisée à la station expérimentale de l'IBTA à Patacamaya (17 ° S, 67 ° W). Les pluies présentent une moyenne annuelle de 403 mm pour une ETP de 1271 mm (déterminée sur gazon par un lysimètre à drainage). Pendant le cycle de développement de la pomme de terre (décembre à mars) la moyenne des précipitations est de 285 mm pour une ETP de 445 mm, ces pluies sont donc en moyenne faibles et elles présentent également une très grande variabilité interannuelle (de 89 mm à 483 mm) ce qui se traduit par des risques très élevés de sécheresse (Vacher et Imaña, 1987).

Les pommes de terre étudiées, *S. curtilobum* Juz. et Buk. var. ocucuri, *S. juzepczukii* Buk. var. luki et *S. tuberosum* ssp *andigena* Juz. et Buk. var. sani-imilla, sont largement cultivées sur l'ensemble de l'altiplano. La variété ocucuri est cependant plus fréquente sur l'altiplano nord, plus pluvieux, et elle est, en général, pour l'ensemble de l'altiplano, cultivée sur des parcelles de replat au sol profond mais gélives. La variété luki prédomine dans les régions froides et sèches de l'altiplano central et sud et sur les parcelles aux sols superficiels. La variété sani-imilla est la *Solanum tuberosum* la plus cultivée sur l'ensemble de l'altiplano, on la trouve préférentiellement dans les zones peu gélives. Les variétés luki et ocucuri sont considérées comme des pommes de terre amères car leurs tubercules contiennent des glycoalcaloïdes. Elles sont transformées sous une forme déshydratée (chuño) et peuvent ainsi être conservées pendant des années, ce qui permet de tamponner les irrégularités de récolte (Vallenas, 1992). Les pommes de terre ont été semées en plein champ le 10/11/91 (36 000 plantes/ha) selon un dispositif de trois répétitions, soit neuf parcelles de 30 m<sup>2</sup> chacune ; elles ont été récoltées le 12/04/92.

La consommation en eau des cultures a été déterminée à partir de l'équation du bilan hydrique d'un volume de sol. Les variations de l'humidité du sol ont été estimées à partir des mesures neutroniques tous les dix jours environ pendant les deux derniers mois du cycle (du 24/01 au 24/03) ; neuf tubes ont été installés jusqu'à une profondeur de 80 cm (trois pour chaque espèce). Les sols sont sablo-limono-argileux sur les 60 premiers centimètres, puis ils présentent un horizon argileux très compact qui peut être considéré comme imperméable (Garcia, 1991). Les pluies ainsi que les variables météorologiques ont été mesurées par une station météorologique automatique (CIMEL,

France) installée sur le site expérimental. Des mesures de potentiel hydrique foliaire ont été effectuées chaque semaine pendant les deux mois de la campagne de mesures à l'aide d'une chambre à pression (PMS 1000, Corvalis, Oregon, USA). Pour chaque espèce, les potentiels de quinze feuilles ont été mesurés à 6 h (avant l'aube pour le potentiel de base), puis autour de 13 h (pour le potentiel minimum) le 31/01 (le 79<sup>e</sup> jour après le semis, 79 JAS), le 6/02 (85 JAS), le 13/02 (92 JAS), le 20/02 (99 JAS), le 26/02 (105 JAS), le 5/03 (112 JAS), le 12/03 (119 JAS) et le 17/03 (124 JAS). La conductance stomatique a été mesurée à l'aide d'un poromètre à diffusion (Delta T. Devices, Cambridge, GB) appliquée sur la face inférieure des feuilles en suivant les recommandations de Turner (1991). Les mesures de transpiration et de photosynthèse ont été effectuées à l'aide d'un appareil portable d'analyse des échanges gazeux selon un système ouvert et d'une chambre de mesure de 6,25 cm<sup>2</sup> dans laquelle est introduite la feuille (LCA-2, ADC, Hoddesdon, GB). Les mesures de conductance stomatique et des échanges gazeux ont été faites sur les feuilles exposées au soleil dans la strate foliaire supérieure sur les mêmes plantes et les mêmes jours que pour le potentiel hydrique foliaire ; quinze feuilles par espèces ont été mesurées pour la conductance stomatique et douze pour les échanges gazeux à 10 h et 14 h. Les difficultés d'étalonnage des appareils utilisés, les perturbations apportées par la chambre de mesure et l'hétérogénéité des cultures en champ conduisent à beaucoup de prudence pour l'interprétation des valeurs absolues mesurées, les données obtenues seront donc essentiellement interprétées par une approche comparative. A la fin de l'expérimentation les profondeurs racinaires ont été mesurées sur vingt plantes par espèces et les rendements sur l'ensemble des parcelles.



## Résultats

### *Les conditions climatiques de l'expérimentation*

Le total des pluies du semis à la récolte est faible, 283 mm avec une ETP de 672 mm. La sécheresse a été particulièrement marquée pendant les deux mois de notre campagne de mesures (du 72 au 131 JAS) avec une pluviométrie (P) de 61 mm et 186 mm d'ETP ( $P/ETP = 0,32$ ). La figure 1 représente l'évolution du déficit hydrique (DH) pendant cette période ; DH est estimé sur l'ensemble du cycle de la culture par un modèle simple de bilan hydrique journalier prenant en compte P, ETP et le compartiment sol. La pente relativement forte et régulière de DH traduit bien la constance et l'intensité de la sécheresse à laquelle ont été soumises les cultures. Les conditions climatiques des journées de mesure et les moyennes pendant l'essai sont résumées dans le

tableau 1. Les températures relativement basses associées à un rayonnement solaire (Rs) élevé correspondent bien à une région tropicale d'altitude. Les jours de mesure présentent des conditions climatiques assez homogènes, sauf le 99 JAS où une importante couverture nuageuse réduit nettement Rs.

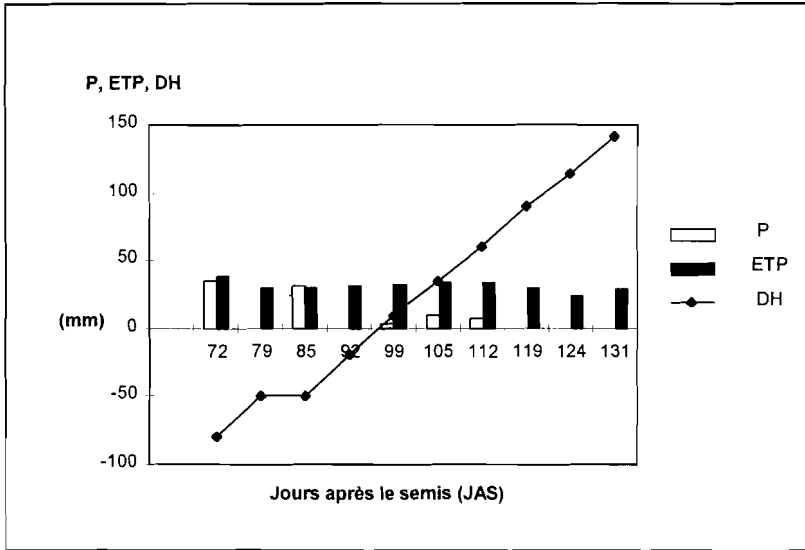


Figure 1 — Précipitations (P), Evapotranspiration potentielle (ETP) et Déficit hydrique (DH) cumulé à Patacamaya du 71 au 131 Jours après semis (JAS)

Tableau 1  
Caractéristiques climatiques pendant l'expérimentation

Tm (temp. minima), TM (temp. maxima), Rs (rayonnement solaire global), Hm (humidité relative moyenne)

	Tm (°C°)	TM (°C)	Rs (MJ/m²/j)	Hm (%)
79 JAS	2,0	19,0	26,35	42,6
85 JAS	3,2	18,1	24,30	52,2
92 JAS	3,4	16,9	22,10	48,2
99 JAS	4,2	17,3	13,70	50,1
105 JAS	5,9	19,7	24,25	44,2
112 JAS	5,1	18,6	22,85	43,3
119 JAS	2,7	15,7	22,30	60,0
124 JAS	1,2	20,6	25,10	36,0
0-131 JAS (moy)	1,0	21,1	21,40	50,3

## La consommation en eau des cultures

L'intense sécheresse se traduit très nettement sur les valeurs de l'évapotranspiration réelle (ETR) des cultures qui présentent une nette et régulière diminution, de 4 mm/j le 72 JAS à moins de 0,5 mm/j le 131 JAS (fig. 2). Des différences apparaissent néanmoins entre les diverses *Solanum*, luki présente une ETR plus élevée de 1 à 2 mm/j du 85 au 112 JAS. Pour la période de mesures du 72 au 131 JAS, l'ETR cumulée de luki est de 176 mm, soit bien supérieure à sani-imilla (148 mm) et ocucuri (131 mm). Cette différence correspond à une utilisation plus importante de l'eau du sol pour luki ; les variations du stock d'eau dans les soixante premiers cm du sol sont de 74 mm pour luki, 37 mm pour sani-imilla et de 20 mm pour ocucuri. Les évolutions des profils hydriques entre le début et la fin de la période sèche (fig. 3) indiquent une extraction plus importante et plus profonde de l'eau du sol pour luki et plus superficielle pour sani-imilla, en accord avec les profondeurs racinaires observées (42 à 50 cm pour luki et 30 à 40 cm pour sani-imilla) et confirment les résultats d'études antérieures sur ces *Solanum* (Vacher *et al.*, 1992 ; Vacher et Garcia, 1992). La profondeur racinaire d'ocucuri de 45 à 55 cm (enracinement profond bien connu des paysans) ne correspond pas dans notre expérimentation à une extraction globale plus importante de l'eau du sol.

## Les potentiels hydriques foliaires

Les mesures de potentiel hydrique foliaire ont une précision d'environ 0,1 MPa ; l'analyse de covariance des potentiels de base (pfb) et des potentiels minimum (pfmin) mesurés nous indique que le facteur espèce est significatif au seuil de 1 %. La figure 4 représente les variations du pfb et du pfmin durant l'expérimentation pour les trois *Solanum* étudiées.

Le potentiel de base correspond au potentiel hydrique foliaire mesuré en fin de nuit, il est en relation avec l'état hydrique du sol exploré par les racines (Ritchie et Hinckley, 1975 ; Katerji et Hallaire, 1984). Pour les trois *Solanum* le pfb montre une évolution générale semblable : après une certaine stabilité constatée au début de l'expérimentation, les pfb diminuent régulièrement et nettement, de -0,3 MPa à moins de -0,75 MPa. Cette variation traduit bien l'augmentation du déficit hydrique en particulier à la fin de l'essai. Des différences de potentiels existent cependant entre les espèces. Ocucuri présente pendant l'expérimentation un pfb supérieur aux deux autres espèces, cet écart s'accroissant en fin de l'essai. Sani-imilla, au contraire, se caractérise par les pfb les plus négatifs, en particulier lorsque la sécheresse s'intensifie, luki

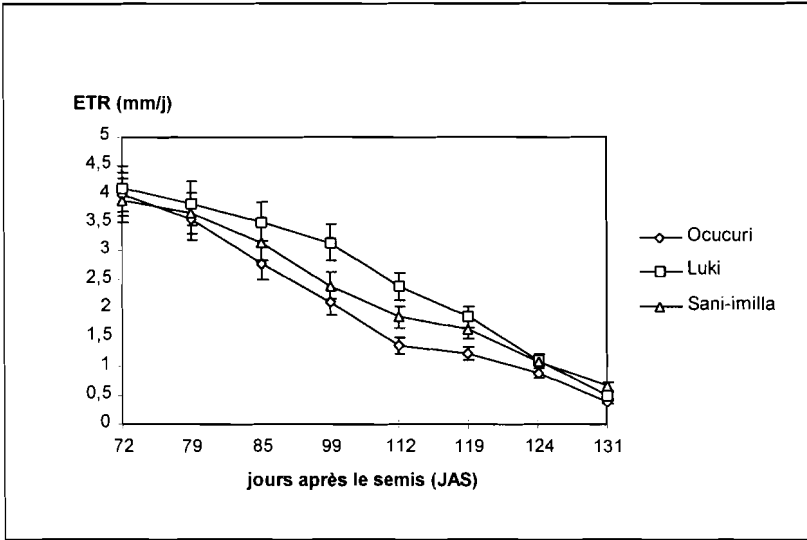


Figure 2 — Evolution (avec l'écart-type) de la consommation en eau (ETR) de trois *Solanum* lors d'une sécheresse sur l'altiplano bolivien.

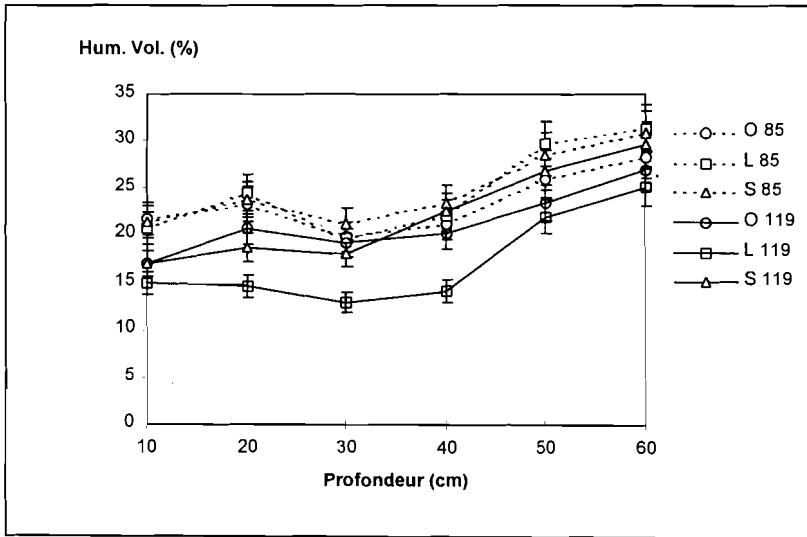


Figure 3 — Evolution des profils hydriques (avec l'écart-type) entre le 85 et le 119 jours après le semis (JAS) de trois *Solanum* (O = Ocucuri, L = Luki, S = Sani-imilla) lors d'une sécheresse sur l'altiplano bolivien.

ayant une position intermédiaire. Ces résultats sont en accord avec l'allure des profils hydriques et les profondeurs racinaires observées.

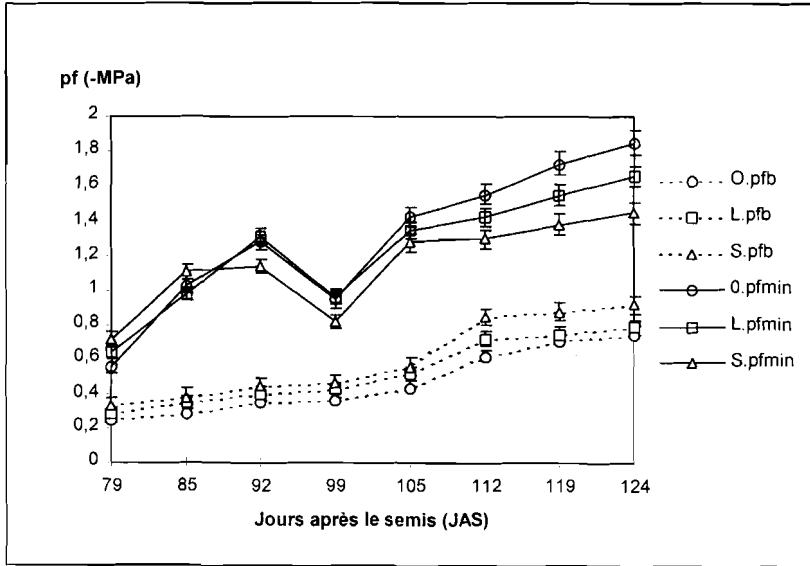


Figure 4 — Evolution (avec l'écart-type) du potentiel de base (pfb) et du potentiel minimum (pfin) de trois *Solanum* (O = Ocucuri, L = Luki, S = Sani-imilla) lors d'une sécheresse sur l'altiplano bolivien.

Les potentiels minimum (pfin) correspondent aux mesures effectuées au maximum de la demande évaporative, généralement entre 12 h et 14 h. Ils présentent pour les trois espèces une nette diminution avec la sécheresse (fig. 4) et suivent ainsi la baisse du pfb. Cette évolution générale présente cependant une importante variation. En effet, le pfin augmente nettement entre le 92 et le 99 JAS (de 0,28 à 0,35 MPa) alors que la sécheresse s'intensifie ; cet écart paraît être associé au faible rayonnement solaire le 99 JAS (tabl. 1), surtout à partir de la mi-journée avec des PAR de  $300 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ , au lieu de  $1500$  à  $2000 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  les autres jours de mesure (les valeurs des PAR sont données par l'appareil ADC lors des mesures des échanges gazeux). Lorsque la sécheresse s'accroît des différences apparaissent entre les *Solanum*. Ocucuri présente les pfin les plus négatifs ; ils deviennent rapidement inférieurs à  $-1,40$  MPa et atteignent en fin d'expérimentation une valeur minimale de  $-2,00$  MPa pour une moyenne de  $-1,85$  MPa ; la diminution moyenne totale du pfin durant l'expérimentation est de  $1,35$  MPa. Luki montre un comportement assez proche d'ocucuri avec une moyenne de pfin de  $-1,70$  MPa en fin d'essai, une valeur minimale de  $-1,90$  MPa et une

diminution moyenne de 1,15 MPa. Sani-imilla se caractérise au contraire par des  $p_{\text{fmin}}$  plus élevés avec un seuil de -1,45 MPa et une diminution moyenne durant l'essai de 0,95 MPa.

### *La conductance stomatique*

Les évolutions des conductances stomatiques moyennes ( $g_s$ ) sont représentées par la figure 5 ; les valeurs de  $g_s$  correspondent à la moyenne des mesures effectuées à 10 h et 14 h. L'analyse de covariance de  $g_s$  nous indique que le facteur espèce est significatif au seuil de 5 %. Avec la sécheresse la conductance diminue très fortement de 0,5 cm/s à 0,1 cm/s ; cette fermeture stomatique présente cependant des dynamiques différentes selon les espèces. Dès le début du dessèchement les conductances d'ocucuri et de sani-imilla montrent une importante diminution (amplifiée par les nuages) ; celle-ci se poursuit jusqu'à la fin de l'essai mais devient bien plus prononcée pour ocucuri que pour sani-imilla qui montre en fin d'essai une relative constance. Luki se différencie très nettement par des valeurs plus élevées de  $g_s$  et une stabilité de cette dernière lors des premières semaines de sécheresse ; cette moindre sensibilité au déficit hydrique lui permet de maintenir pendant plus de deux semaines une conductance très supérieure à ocucuri et sani-imilla ; puis avec l'intensification du déficit hydrique, la conductance diminue très fortement et devient égale à celle de sani-imilla. De nombreux auteurs et notamment Jones (1983), Willmer (1983) et Schultze *et al.* (1987) ont montré l'influence de la lumière, de la température, du déficit de vapeur d'eau de l'air, du potentiel hydrique foliaire et de l'état hydrique du sol sur la conductance stomatique. Dans nos conditions expérimentales d'une sécheresse marquée et d'une faible ou irrégulière variation des autres variables du climat (tabl. 1), seuls  $p_{\text{fb}}$  et  $p_{\text{fmin}}$  présentent des évolutions proches de  $g_s$  ; les coefficients de détermination sont de l'ordre de 0,60 pour  $p_{\text{fmin}}$  et de 0,85 pour  $p_{\text{fb}}$ . Les relations entre  $g_s$  et  $p_{\text{fb}}$  ont été précisées à partir de l'ajustement à des courbes de la forme  $g_s = m(p_{\text{fb}})^n$ . Des relations similaires ont été utilisées par Acherar *et al.* (1991) et par Fischer *et al.* (1981 *in* Jones (1983)) ; elles traduisent bien les seuils à partir desquels la conductance stomatique commence à diminuer très nettement. Les paramètres d'ajustement et les coefficients de détermination sont contenus dans le tableau 2.

En utilisant ces équations nous avons pu déterminer les  $p_{\text{fb}}$  qui correspondent à une réduction de 50 % de  $g_s$ . Pour ocucuri ce seuil est atteint dès que le  $p_{\text{fb}}$  devient inférieur à -0,45 MPa (soit une date proche du 97 JAS), il est de -0,55 MPa pour sani-imilla (107 JAS) et de -0,70 MPa pour luki (113 JAS).

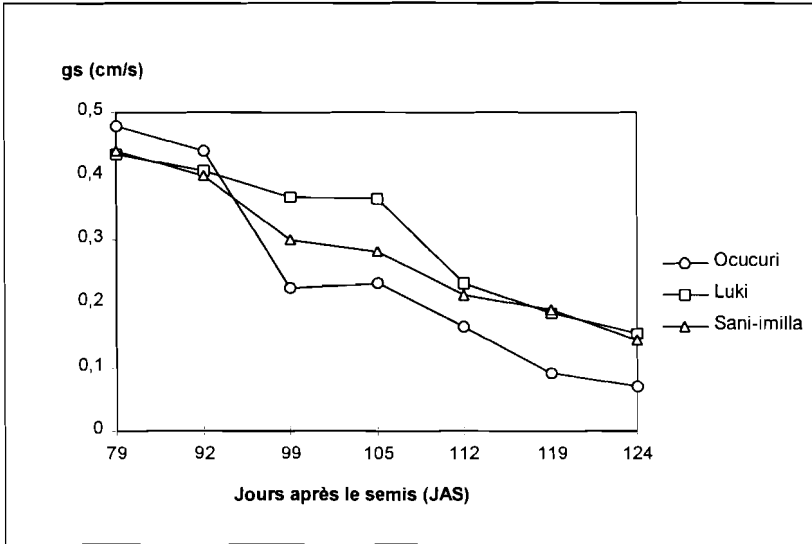


Figure 5 — Evolution de la conductance stomatique moyenne (gs) de trois *Solanum* lors d'une sécheresse sur l'altiplano bolivien.

Tableau 2  
Equations et coefficients de détermination entre la conductance stomatique moyenne (gs) et le potentiel foliaire de base (pfb) pour trois *Solanum* sur l'altiplano bolivien

Espèces	Equations	Coeff. de détermination
<i>S. curtilobum</i> var. ocucuri	$gs = 1,99 \text{ pfb}^{-1,44}$	$r^2 = 0,88$
<i>S. juzepczukii</i> var. luki	$gs = 0,43 \text{ pfb}^{-1,02}$	$r^2 = 0,83$
<i>S. tuberosum</i> var. sani-imil.	$gs = 1,2 \text{ pfb}^{-0,88}$	$r^2 = 0,86$

### Les échanges gazeux (transpiration et photosynthèse)

Les évolutions de la transpiration ( $Tr$ ) et de la photosynthèse ( $Pn$ ) foliaires sont représentées par les figures 6 et 7 ; les valeurs correspondent à la moyenne des mesures effectuées à 10 h et 14 h. En accord avec les résultats obtenus pour  $gs$ ,  $Tr$  et  $Pn$  diminuent très fortement pendant l'expérimentation ( $Tr$  et  $Pn$  sont réduits de plus des deux tiers). Pour  $Tr$ , les différences entre les *Solanum* suivent précisément celles que nous avons observées pour  $gs$ . Ocucuri et sani-imilla réduisent très rapidement et très intensément les pertes en eau, dès le début de la sécheresse. Cette forte diminution de  $Tr$  se poursuit pour ocucuri qui présente à partir du 110 JAS des  $Tr$  inférieures à



1 mmol/m<sup>2</sup>/s, alors que pour *sani-imilla* elle devient alors plus faible (*Tr* reste toujours supérieure à 2,5 mmol/m<sup>2</sup>/s). *Luki* se différencie très nettement par des valeurs de *Tr* élevées pendant les 30 premiers jours de la période sèche, les écarts avec les autres *Solanum* sont de 1 à 1,5 mmol/m<sup>2</sup>/s, puis avec l'intensification du déficit hydrique *luki* réduit alors très nettement sa transpiration (de 50 %) et rejoint les taux observés pour *sani-imilla*.

L'allure des courbes d'évolution de la photosynthèse traduit de manière comparable l'influence de la sécheresse. Cette importante diminution est en accord avec la fermeture stomatique et, par suite, la transpiration. Les différents comportements entre espèces sont du même type que ceux décrits pour la transpiration. La sensibilité de la photosynthèse d'*ocucuri* à la sécheresse se traduit par la rapidité et l'amplitude de la réduction du taux d'assimilation de CO<sub>2</sub>, de 6 à 3 μmol/m<sup>2</sup>/s les 20 premiers jours, pour atteindre les dernières semaines de l'essai des valeurs moyennes proches de 1 μmol/m<sup>2</sup>/s. *Luki*, au contraire, comme pour *Tr*, présente des taux élevés de *Pn* pendant les quatre premières semaines de l'essai ; les valeurs moyennes de *Pn* restent proches de 5 μmol/m<sup>2</sup>/s jusqu'au 105 JAS ; elles diminuent fortement après, pour atteindre 3 μmol/m<sup>2</sup>/s. *Sani-imilla*, comme *ocucuri*, réduit fortement sa photosynthèse dès le début de la sécheresse, mais ensuite cette diminution devient plus faible.

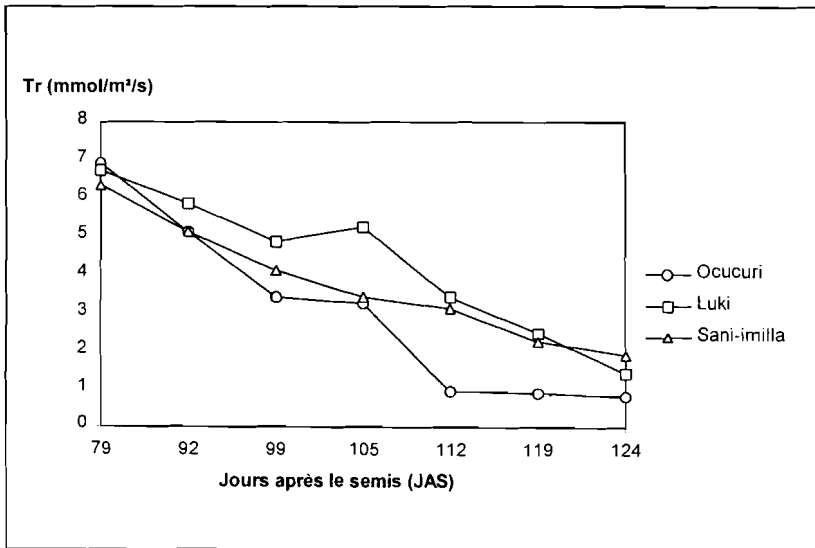


Figure 6 — Evolution de la transpiration moyenne (*Tr*) de trois *Solanum* lors d'une sécheresse sur l'altiplano bolivien.

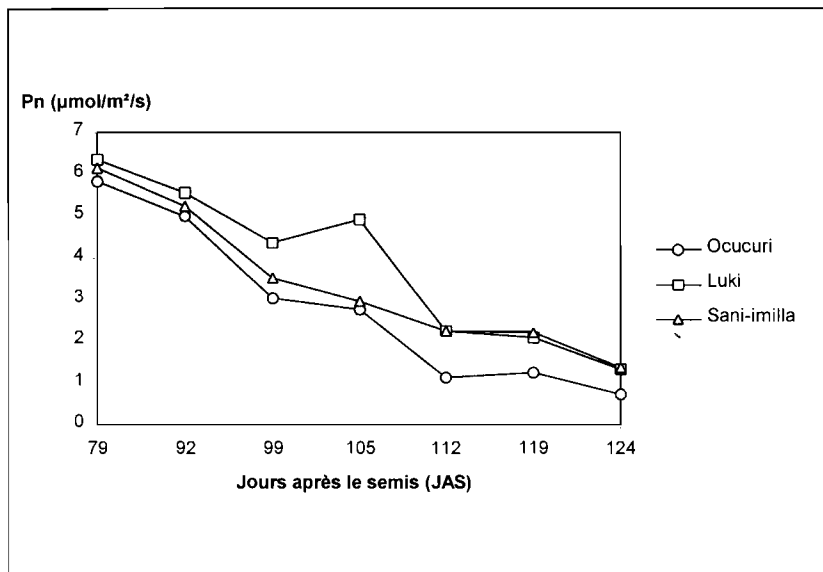


Figure 7 — Evolution de la photosynthèse moyenne (Pn) de trois *Solanum* lors d'une sécheresse sur l'altiplano bolivien.

La photosynthèse présente une relation étroite avec le potentiel de base, les coefficients de détermination ( $r^2$ ) des équations de la forme utilisée précédemment ( $Pn = m(pfb)^{-n}$ ) sont de 0,94 pour ocucuri, 0,90 pour luki et 0,81 pour sani-imilla. Les relations entre Pn et  $g_s$  sont de même hautement significatives puisque les mêmes types d'équations présentent des coefficients de détermination de 0,93 pour luki, 0,94 pour sani-imilla et 0,82 pour ocucuri.

### Les rendements agricoles

Les rendements agricoles obtenus sur les parcelles expérimentales (tabl. 3) sont faibles, ils soulignent l'intensité de la sécheresse lors des deux derniers mois de la culture. Luki présente les rendements les plus élevés et ocucuri les plus bas en accord avec les taux de Pn. Les écarts sont amplifiés pour les rendements en matière sèche ; ceci est particulièrement important pour l'agriculteur car toute la récolte de luki, d'ocucuri et une partie de sani-imilla seront transformées sous une forme déshydratée (chuño). Le nombre de tubercules pour luki est très élevé (16) ; il est très largement supérieur à celui de sani-imilla (6) et à celui d'ocucuri ; il peut correspondre à la meilleure alimentation hydrique de la culture pendant la phase tubérisation mais aussi aux caractéristiques génétiques des *S. juzepczukii*.

Tableau 3  
Rendements (kg/ha et kg MS/ha) et nombre moyen de tubercules par plante  
pour trois *Solanum* lors d'une sécheresse sur l'altiplano bolivien

Espèces	Rendements (kg/ha)	Rendements (matière sèche kg/ha)*	Nombre moyen de tubercules par plante
<i>S. curtilobum</i> , var. <i>ocucuri</i>	3 750	1 050	4
<i>S. juzepczukii</i> , var. <i>luki</i>	5 200	1 560	16
<i>S. tuberosum</i> , var. <i>sani-imilla</i>	4 450	890	6

\* établis à partir des résultats de Ortega (1992)

## Discussion et conclusion

Lors de l'expérimentation, en culture de plein champ et en conditions climatiques naturelles, les pommes de terre ont été soumises à un très important déficit hydrique en particulier pendant les deux derniers mois du cycle de la culture. Face à cette longue et intense sécheresse les trois *Solanum* ont montré des réponses hydriques et photosynthétiques différentes.

### *La consommation en eau, l'absorption racinaire et les potentiels foliaires*

L'évolution de la consommation en eau traduit clairement l'impact de la sécheresse sur la diminution des transferts hydriques par la culture. Une réduction marquée de l'ETR a été rapidement observée pour *ocucuri* et *sani-imilla*, alors qu'elle est retardée de plus de deux semaines et reste plus limitée pour *luki* ; ces évolutions sont corroborées par les taux de transpiration foliaire. Les variations du stock d'eau dans le sol, l'allure des profils hydriques, les profondeurs racinaires mesurées à la fin de l'expérimentation et l'évolution des potentiels de base indiquent une extraction hydrique plus intense et plus profonde dans le sol pour *luki* (74 mm), plus réduite (20 mm) pour *ocucuri* et plus superficielle (37 mm) pour *sani-imilla*. Ces résultats sont en accord avec des premières études sur *luki* (Vacher *et al.*, 1991) et avec les travaux sur des variétés de *S. tuberosum* soulignant le rôle essentiel du système racinaire superficiel de cette espèce dans sa sensibilité à la sécheresse (Beukena et Van Der Zaag, 1979 ; Van Loon, 1986 ; Abdur Rab *et al.*, 1990). *Ocucuri* malgré un système racinaire bien développé extrait relativement peu d'eau du sol dans les conditions de sécheresse intense et longue de l'expérimentation. L'importante profondeur racinaire de cette *Solanum* a été

observée dans d'autres zones altiplaniques plus pluvieuses (Canahua et Murillo, 1992) ; elle semble répondre plus à un caractère génétique qu'à un caractère adaptatif. Ces résultats au niveau du compartiment sol concordent avec les évolutions des potentiels de base dont les variations correspondent aux variations de l'eau dans le sol exploré par les racines ; des relations linéaires entre le pfb et l'humidité du sol sur les 60 premiers cm ont pu être établies pour les trois *Solanum* sur ce site expérimental avec des coefficients de détermination de 0,78, 0,83 et 0,75 (Del Castillo, 1995) ; des résultats semblables ont déjà été démontrés pour différentes cultures (Maertens et Blanchet, 1981 ; Brisson *et al.*, 1994). La présence, dans nos parcelles, d'un horizon argileux très compact et imperméable à faible profondeur rend plausible, selon les travaux de Tardieu *et al.* (1990), l'assimilation de notre compartiment sol à un système semi-fermé pour lequel le pfb reste très lié au potentiel moyen du sol dans la zone enracinée. L'extraction plus importante de l'eau du sol s'accompagne pour luki d'une meilleure exploration racinaire du sol mais aussi d'une importante amplitude journalière du potentiel foliaire ; cette amplitude atteint des valeurs de 0,9 MPa lorsque la sécheresse devient très intense, alors qu'elle se réduit à 0,5 MPa pour sani-imilla. Ocucuri présente, comme luki, une très importante diminution des p<sub>fin</sub> qui atteignent en fin d'expérimentation -2 MPa. Les pommes de terre amères se caractérisent donc dans notre étude par une plus grande capacité à baisser leur potentiel hydrique foliaire. Ces résultats confirment des premières données sur *S. juzepczukii* (Vacher *et al.*, 1992 ; Quadu, 1995) et sont conformes aux études réalisées sur l'évolution du potentiel hydrique foliaire pour d'autres *S. tuberosum* (Coleman, 1986 ; Katerji *et al.*, 1988 ; Levy, 1992). Les relations linéaires observées par Jeffries et Mackerron (1987) et Vos et Groewold (1989), pour différentes variétés de pomme de terre, entre le potentiel osmotique et le potentiel hydrique foliaire, lorsque ce dernier devient inférieur à -0,9 MPa, nous conduisent à la déduction d'une meilleure capacité d'ajustement osmotique sur le long terme pour *S. curtilobum* et *S. juzepczukii* que pour *S. tuberosum*.

### *Le contrôle stomatique et la réduction des échanges gazeux*

Avant d'analyser les évolutions de la conductance stomatique et des échanges gazeux nous aborderons rapidement l'influence possible de l'altitude sur le fonctionnement des plantes. La diminution de la pression atmosphérique avec l'altitude entraîne une diminution de la pression partielle de CO<sub>2</sub> et, selon la loi de Graham, une augmentation du coefficient de diffusion moléculaire des

gaz et donc de la conductance stomatique (Jones, 1983). A l'altitude de 3 800 m, celle de notre site expérimental, la pression atmosphérique est de 65 kPa et induit donc une diminution de la pression de CO<sub>2</sub> d'un tiers et une augmentation du même ordre du coefficient de diffusion. Dans le cadre de notre expérimentation nous n'avons pas observé d'augmentation sensible de la conductance stomatique ; les valeurs de conductance maximale mesurées pour la *sani-imilla*, au début de l'expérimentation sans contrainte hydrique, sont du même ordre que celles citées dans d'autres études sur les *S. tuberosum* (Klar, 1981 ; Vos et Groenwold, 1989). Pour la photosynthèse, les taux maximaux mesurés sont supérieurs pour les trois espèces à 9,5  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ , ils ne sont pas nettement inférieurs à ceux cités par Klar (1981), Bodlander (1986) et Vos et Groenwold (1989) pour *S. tuberosum* et par Martinez et Maestri (1995) pour *S. juzepczukii*. Cette absence d'effets marqués de l'altitude sur la photosynthèse est en accord avec les observations sur *Rheum nobile* à 4 000 m (Terashima *et al.*, 1993), *Thypha latifolia* à 3 000 m (Mac Naughton *et al.*, 1974) et sur *Chenopodium quinoa* à 3 800 m (Vacher *et al.*, 1994). Terashima *et al.* (1995) démontre que pour la photosynthèse les faibles pressions partielles de CO<sub>2</sub> sont compensées par l'augmentation du coefficient de diffusion moléculaire et par la faible photorespiration. Selon Jones (1983), la baisse équivalente du taux d'O<sub>2</sub> qui limite donc les effets de respiration, et une haute capacité du mésophylle à photosynthétiser des plantes d'altitude favoriseraient le fonctionnement photosynthétique. La complexité des effets de l'altitude sur les changements climatiques, anatomiques et physiologiques ainsi que l'absence de références précises sur les *Solanum* étudiées ne permettent cependant pas de conclure nettement sur l'influence apparemment faible de l'altitude sur leurs fonctionnements hydrique et photosynthétique.

Avec la sécheresse, les trois *Solanum* étudiées présentent une diminution globale très importante de la conductance stomatique et des échanges gazeux. Cette décroissance est rapide et marquée pour *ocucuri* et *sani-imilla* qui réduisent  $g_s$  et  $Tr$  de moitié dès le début de la sécheresse, la fermeture des stomates devenant ensuite presque totale pour *ocucuri* dans les dernières semaines de l'expérimentation alors que cette baisse est bien plus modérée pour *sani-imilla*. En liaison avec la fermeture stomatique, *ocucuri* diminue rapidement et intensément la photosynthèse ; la réduction des pertes en eau se fait au détriment des gains en éléments carbonés. Pour *sani-imilla*, suite à une diminution de plus de 50 % de  $P_n$  au début de l'essai, les taux d'échanges de CO<sub>2</sub> restent relativement constants. Face à la sensibilité stomatique d'*ocucuri* et de *sani-imilla*, en particulier au début de la sécheresse, *luki* se caractérise par une nette tolérance stomatique ; les valeurs de  $g_s$  et de  $P_n$  restent élevées pendant plus de la moitié de l'expérimentation et bien supérieures à celles des

deux autres *Solanum* (de  $2 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  pour Pn). Des études sur la photosynthèse d'une variété de *S. juzepczukii* lors d'un stress hydrique (Martinez et Maestri, 1995 ; Tourneux, 1995) sont en accord avec ces premiers résultats et mettent en évidence le bon fonctionnement du photosystème 2. Tourneux (1995) observe de même pour luki une capacité à garder des teneurs relatives en eau des feuilles élevées (88 % pour luki et 70 % pour les variétés de *S. tuberosum*) lors d'un stress hydrique très marqué. Les relations étroites entre gs et Pfb et entre Pn et Pfb soulignent l'influence prédominante de l'état hydrique du sol sur la réduction des pertes en eau et l'importance du pfb comme variable déterminante du comportement hydrique et photosynthétique ; elles confirment la pertinence de l'utilisation du pfb (facilement mesurable) pour le suivi des cultures pendant une sécheresse (Katerji et Hallaire, 1984 ; Itier *et al.*, 1990 ; Brisson *et al.*, 1994). Des relations semblables ont été obtenues pour d'autres plantes dans des conditions de sécheresse édaphique très marquée (Pereira *et al.*, 1987 ; Acherar *et al.*, 1991). Ces résultats vont dans le sens d'une conductance stomatique contrôlée par un message issu des racines (Tardieu *et al.*, 1992). L'effet d'une très nette diminution du rayonnement solaire avec des valeurs inférieures à  $300 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  au début de la sécheresse a pu être observé ; il correspond aux valeurs seuils de 400 à  $500 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  observées par Turner (1991) et Jones (1983).

### *Les réponses des trois Solanum face à la sécheresse*

Face à l'intense sécheresse qui a caractérisé notre essai, *S. curtilobum* var. ocucuri réduit très rapidement et amplement les pertes en eau par une diminution très marquée de la conductance stomatique et une baisse très importante du potentiel minimum. Selon les typologies de Turner (1986), Levitt (1980) et Jones (1983), le comportement hydrique et photosynthétique de l'ocucuri correspond à un évitement de la déshydratation basé sur une diminution très nette des pertes en eau par contrôle stomatique aux dépens de la photosynthèse. L'enroulement des feuilles très prononcé chez cette *Solanum* participe à la diminution importante de la transpiration. Les effets de la sécheresse, qui se sont traduits très tôt pour cette espèce, ont entraîné une baisse importante de rendement mais aussi du nombre de tubercules. La très forte sensibilité stomatique observée rend cette pomme de terre peu adaptée aux conditions de longues périodes sans pluie. Sur l'altiplano nord plus pluvieux, sur les sols profonds et plus humides de bas de versant où les *S. curtilobum* sont très cultivées, ou lors d'une année pluvieuse, les périodes sèches sont alors brèves et la fermeture stomatique réduite ; les rendements sont en moyenne élevés même en conditions très gélives. Les capacités d'abaissement

du potentiel hydrique foliaire, et en conséquence d'ajustement osmotique pourraient être associées à une résistance à des températures de  $-7^{\circ}\text{C}$ .

*S. juzepczukii* var. luki montre une faible sensibilité stomatique à la sécheresse, les stomates restent longtemps ouverts et permettent donc de maintenir des taux élevés de photosynthèse à des potentiels de base et des potentiels hydriques foliaires fortement négatifs. Les pertes en eau conséquentes sont associées à une alimentation hydrique constante liée à une extraction importante de l'eau du sol permise par un système racinaire profond et actif. Ces caractéristiques correspondent à une tolérance à la sécheresse, basée sur une alimentation hydrique soutenue et une tolérance à la déshydratation. Les rendements obtenus ont été largement supérieurs aux autres *Solanum* (ils restent assez faibles en valeur absolue) et le nombre de tubercules demeure très élevé. Ces qualités expliquent la très large répartition de cette espèce sur l'altiplano central et sud — aux risques importants de sécheresse et/ou de gelées — et, dans l'espace agricole utilisé par un paysan, sur des parcelles aux sols superficiels et aux conditions gélives ; elles sont une garantie pour le paysan de l'altiplano d'une récolte assurée lors des années sèches et de fortes gelées.

La *S. tuberosum* ssp *andigena* var. *sani-imilla* présente un comportement plus spécifique avec une forte sensibilité à la sécheresse dès les premiers déficit hydrique (sensibilité liée en partie à un faible développement racinaire). Cette sensibilité se traduit par une fermeture stomatique rapide et une diminution du gradient journalier du potentiel hydrique foliaire ce qui entraîne une réduction importante des pertes en eau et de la photosynthèse. Puis avec l'augmentation du dessèchement, *sani-imilla* offre un comportement proche de celui de luki avec des stomates qui restent partiellement ouverts et une poursuite de la photosynthèse à des taux réduits pendant la tubérisation et la croissance des tubercules. Ces caractéristiques permettent, à cette *S. tuberosum* aux rendements élevés lorsque les pluies sont plus importantes (Rea, 1992), d'offrir une large gamme de réponses face à la diversité spatiale et temporelle des conditions de pluviosité et d'humidité du sol, ce qui correspond ainsi sa grande présence sur l'ensemble de l'altiplano dans des zones peu gélives.

Quelques caractéristiques du comportement hydrique et photosynthétique face à la sécheresse de variétés de trois principales espèces de *Solanum* cultivées sur l'altiplano ont pu être déterminées et leurs conditions d'utilisation par les paysans mieux comprises. Cependant des études complémentaires, en plein champ et en conditions naturelles, sont tout à fait nécessaires, d'une part, sur le système racinaire, sur la morphologie, le développement et la croissance de ces espèces sous contrainte hydrique — éléments dont l'importance pour la

résistance à la sécheresse de la pomme de terre a été démontrée par Jefferies et Mackerron (1987 ; 1989) et Quadu (1995) —, et d'autre part, sur la diversité variétale des espèces étudiées.

### Remerciements

Les auteurs remercient l'IBTA et le département de Bioclimatologie de l'Inra pour leurs collaborations technique et scientifique.

## Références bibliographiques

- ABDUR RAB M., OLSSON K.A., WILLATT S. T., 1990 – Resistance to water uptake by irrigated potatoes on a duplex soil. *Aust. J. Soil Res.*, 28 : 487-96.
- ACHERAR M., RAMBAL S., LEPART J., 1991 – Evolution du potentiel hydrique foliaire et de la conductance stomatique de quatre chênes méditerranéens lors d'une période de dessèchement. *Ann. Sci. For.*, 48 : 561-573.
- BEUKEMA H.P., VAN DER ZAAG D.E., 1979 – *Potato Improvement. Some factors and facts.* I.A.C. Wageningen, The Netherlands, 224 pages.
- BODLAENDER K.B.A., 1986 – Effects of drought on water use, photosynthesis and transpiration of potatoes. 1. Drought resistance and water use. *In : Potato research of tomorrow.* Pudoc, Wageningen, The Netherlands, pp. 36-43.
- BODLAENDER K.B.A., Van de Waart M., Marinus J., 1986 – Effects of drought on water use, photosynthesis and transpiration of potatoes. 2. Drought, photosynthesis and transpiration. *In : Potato research of tomorrow.* Pudoc, Wageningen, The Netherlands, pp. 44-54.
- BRISSON N., OLIOSO A., LHOTEL J.C., 1994 – *Utilisation d'indicateurs d'état hydrique des plantes pour la conduite de l'irrigation. Meilleure prise en compte de l'état hydrique de la plante et de ses besoins en eau dans les modèles dynamiques de culture.* Rapport final, Projet CCE, 13 pages.
- CANAHUA A., MURILLO P.C., 1992 – Agroecología de las papas amargas en Puno. *In : Vacher et Rea (éd.)*, pp. 57-76.
- COLEMAN W.K., 1986 – Water relations of the potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars Raritan and Shepody. *American Potato Journal*, 63 : 263-275.
- DEL CASTILLO C., 1995 – *Comportamiento hidrico y fotosintesis de variedades de papa amarga y dulce en el altiplano central.* Tesis de Grado, UMSA, La Paz, Bolivia, 165 pages.
- DE THUY E., 1995 – *Stratégies paysannes face aux risques climatiques sur l'altiplano bolivien.* Document de pré-thèse de Doctorat, 255 pages.
- DU PORTAL D., 1993 – *Etudes des gelées sur l'altiplano bolivien.* Mémoire de DAA-ENSAM, Montpellier, 40 pages.
- GARCIA M., 1991 – *Análisis del comportamiento hidrico de dos variedades de quinoa frente a la sequia.* Tesis de Grado. UMSA, La Paz, Bolivia, 152 pages.



- HAWKES J.K., HJERTING J.P., 1989 – *The Potatoes of Bolivia*. Oxford Science, England, 472 pages.
- ITIER B., KATERJI N., FLURA D. et FERREIRA I., 1990 – Relative evapotranspiration in relation to soil water deficit and predawn leaf water potential. Application to tomato crop. *Acta horticulturae*, 278 : 101-111.
- JEFFERIES R.A., MACKERRON D.K.L., 1987 – Aspects of the physiological basis of cultivars differences in yield of potatoes under droughted and irrigated conditions. *Potato Research*, 30 : 201-217.
- JEFFERIES R.A. et MACKERRON D.K.L., 1989 – Radiation interception and growth of irrigated and droughted potato (*Solanum tuberosum*). *Field Crop Research*, 22 : 101-112.
- JONES H.G., 1983 – *Plants and microclimate. A quantitative approach to environmental plant physiology*. Cambridge University Press, Great Britain, 323 pages.
- KATERJI N., HALLAIRE M., 1984 – Les grandeurs de référence utilisables dans l'étude de l'alimentation en eau des cultures. *Agronomie*, 4 : 999-1008.
- KATERJI N., HALLAIRE M., MENOUX-BOYER Y., DURAND B., 1988 – Modèle dynamique de circulation de l'eau dans la plante : vérification sur une culture de pomme de terre dans la région parisienne. In : Calvet (éd.) : *Etudes sur les transferts d'eau dans le système sol-plante-atmosphère*. Inra, Paris, pp. 275-302.
- KLAR A.E., 1981 – Water and carbon dioxide flux in water-stressed potato plants. *Turrialba*, 31(4) : 323-330.
- Le TACON Ph., VACHER J.J. et IMAÑA E., 1992 – Los riesgos de heladas en el altiplano boliviano. VII Congreso internacional sobre cultivos andinos. IBTA-CIID, Bolivia. Actes, pp. 287-291.
- LEVITT J., 1980 – *Responses of plants to environmental stresses*. Volume II, Water, Radiation, Salt and Others Stresses. Academic press, Inc, London, 607 pages.
- LEVY D., 1992 – Osmotic potential of potatoes subjected to a single cycle of water deficit. *Potato Research*, 35 : 17-24.
- MAC NAUGHTON S.J., CAMPBELL R.S., FREYER R.A., MYLROIE J.E., RODLAND K.D., 1974 – Photosynthetic properties and root chilling responses of altitudinal ecotypes of *Typha latifolia* L. *Ecology*, 55 : 168-172.
- 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 de leur comportement agronomique. *Agronomie*, 1(3) : 199-206.
- MARTIN M.A., BROWN J.H. et FERGUSON H., 1989 – Leaf water potential, relative water content and diffusive resistance as screening techniques for drought resistance in barley. *Agron. J.*, 81 : 100-105.
- MARTINEZ C., MAESTRI M., 1995 – Drought and light stress tolerance in andean potato (*Solanum* spp.) species. In : *Inter Drought 95*. Proceedings, Inra, Montpellier, France, II 9.
- OCHOA C.M., 1990 – *The Potatoes of South America : Bolivia*. Cambridge University Press, England, 512 pages.
- QUADU F., 1995 – *L'étude de la tolérance à la sécheresse chez la pomme de terre*. Mémoire de fin d'étude, Faculté des Sciences agronomiques. Louvain-la-Neuve, Belgique, 166 pages.
- REA J., 1992 – Vigencia de las papas nativas en Bolivia. In : Vacher et Rea (éd.), pp. 15-24.
- RITCHIE G.A., HINCKLEY T.M., 1975 – The pressure chamber as an instrument for ecological research. *Advanced Ecological Research*, 9 : 165-254.
- SCHULTZE E.D., TURNER N.C., GOLLAN T., SHACKEL K.A. 1987 – Stomatal responses to air humidity and to soil drought. In : Zeiger, Farquhar and Cowan (éd.) : *Stomatal function*. Stanford University Press, California, pp 311-321.
- TAPIA M., 1990 – *Cultivos Andinos subexplotados*. FAO, Roma, Italia, 204 pages.

- TARDIEU N., KATERJI N.,  
et BETHENOD O., 1990 –  
Relations entre l'état hydrique du sol, le  
potentiel de base et d'autres indicateurs de la  
contrainte hydrique chez le maïs. *Agronomie*,  
10 (8) : 617-626.
- TARDIEU F., ZHANG J.,  
BETHENOD O., KATERJI N.,  
PALMER S., DAVIES W.J., 1992 –  
Xylem ABA controls the stomatal conductance  
of field-grown maize subjected to soil  
compaction or soil drying. *Plant, Cell,  
Environment*, 15 : 193-197.
- TERASHIMA I.,  
MASUZAWA T., OBHA, H., 1993 –  
Photosynthetic characteristics of a giant plant,  
*Rheum nobile* Hook. f. and some others alpine  
species measured at 4 300 m, in the Eastern  
Himalaya, Nepal. *Oecologia*, 95 : 194-201.
- TERASHIMA I., MASUZAWA T.,  
OBHA H., YOKOI Y., 1995 –  
Is photosynthesis suppressed at higher  
elevations due to low CO<sub>2</sub> pressure ? *Ecology*,  
76 (8) : 2663-2668
- TOURNEUX Ch., 1995 –  
*Résultats de physiologie de l'expérimentation  
1994/1995. Rapport interne. Orstom-Proinpa,  
Cochabamba, Bolivie. 20 pages.*
- TURNER N.C., 1986 –  
Adaptation to water deficit : A Changing  
Perspective. *Aust. Plant. Physiol.*, 13 :  
175-190.
- TURNER N.C., 1991 –  
Measurement and influence of environmental  
and plant factors on stomatal conductance in  
the field. *Agric. For. Meteorol.*, 54 : 137-144.
- TURNER J.E., BEGG J.E., 1978 –  
Responses of pasture plants to water deficits.  
*In* : Wilson J.R. (éd.) : *Plants Relations in  
Pastures*. CSIRO, Melbourne, pp. 50-66.
- Vacher J.J., Imaña E., 1987 –  
*Los riesgos climáticos en el altiplano boliviano.*  
OMM-SENAMHI-Orstom, Bolivia, 30 pages.
- VACHER J.J., FELLMAN Th.,  
MALDONADO R., MENDEZ A., 1992 –  
Estudio comparativo de la evapotranspiración  
real (ETR) de la papa dulce y de la papa  
amarga con diferentes labranzas. VII  
Congreso internacional sobre Cultivos andinos.  
IBTA-CIDD, Bolivia. Actes, pp 145-153.
- VACHER J.J., GARCIA M., 1992 –  
Uso consuntivo y comportamiento hídrico de  
la papa amarga y de la papa dulce en el  
altiplano boliviano. *In* : Vacher et Rea (éd.),  
pp. 69-76.
- VACHER J.J. et REA (éd.), 1991 –  
*La papa amarga.* Orstom, La Paz, Bolivia.
- VACHER J.J., DIZES J.  
et ESPINDOLA G., 1994 –  
Comportamiento hídrico de la quinoa frente a  
la sequía. *Agrosur*, 2 : 20-21.
- VALLENAS M., 1992 –  
Procesamiento de la papa amarga en la zona  
sur del Perú. Elaboración del Chuño y de la  
tunta. *In* : Vacher et Rea (éd.), pp. 93-104.
- VAN LOON C.D., 1986 –  
Drought a major constraint in potato production  
and possibilities for screening for drought  
resistance. *In* : *Potato research of tomorrow.*  
Pudoc, Wageningen, The Netherlands,  
pp.5-16.
- VOS J., 1986 –  
Research on water relations and stomatal  
conductance in potatoes. *In* : *Potato research of  
tomorrow.* Pudoc, Wageningen, The  
Netherlands, pp.17-35
- VOS J., GROENWOLD J., 1989 –  
Characteristics of photosynthesis and  
conductance of potato canopies and the  
effects of cultivar and transient drought. *Field  
Crops Res.*, 20 : 237-250.
- WILCOX D.A., ASHLEY R.A., 1982 –  
The potential use of plant physiological  
responses to water stress as an indication of  
varietal sensitivity to drought in four potato  
(*Solanum tuberosum*) varieties. *Am. Potato. J.*,  
59 : 533-545.
- WILLMER C.M., 1983 –  
*Stomata.* Longman, London, England,  
165 pages.

# Le rôle de la densité de plantation dans l'élaboration du rendement du manioc

Jean-Pierre Raffailac

## Introduction

Le manioc est cultivé pour ses racines qui accumulent de l'amidon dès les premières semaines de croissance, avec des durées de cycle variant de 6 à 36 mois. Il est rencontré dans différentes régions à une ou deux saisons des pluies de la zone inter-tropicale (Cock, 1985). Calculée sur une base énergétique, la production se place au quatrième rang mondial derrière le riz, le blé et le maïs (Bruijn et Fresco, 1989).

Les objectifs de production du manioc sont variés : autoconsommation dominante ou secondaire (aliment de soudure), commercialisation en frais ou après plusieurs étapes de transformation (artisanales ou mécanisées) en de nombreux produits pour l'alimentation humaine (gari, attiéké, fufou, tapioca...) ou animale (cossettes, farine...), parfois pour l'industrie (amidon, colles, dextrines...). Dans certaines zones où il constitue l'aliment de base, la qualité des tubercules reste souvent un critère déterminant de la production, primant parfois l'aspect quantitatif. Les caractéristiques prises en considération pour une variété donnée n'ont pas toujours la même importance selon les objectifs et les lieux de production. Pour une commercialisation en frais, il importe en premier lieu de disposer de gros tubercules aux dimensions régulières. Lorsqu'il s'agit de transformation, une faible teneur en eau est souvent exigée pour à la fois faciliter certaines étapes et obtenir une qualité gustative satisfaisante du produit fini. Dans le cas de l'approvisionnement d'une unité de transformation mécanisée, un poste tel que l'épluchage nécessite une grande homogénéité autour du calibre moyen défini et adapté aux machines afin de

limiter les pertes. Des petits tubercules diminuent le rendement à l'épluchage, manuel comme mécanique, tout en augmentant sa durée.

Le rendement du manioc à l'unité de surface se décompose en un nombre de plants, un nombre de racines tubérisées par plant et un poids sec moyen d'une racine. Son élaboration passe schématiquement par trois étapes après installation d'une bouture de tige :

- la mise en place des tiges principales et des racines primaires : chaque racine constitue un site potentiel pour le stockage des réserves amylacées ;
- l'initiation de la tubérisation des racines ; la fonction du cambium est modifiée sur une partie de l'axe racinaire ; cette assise va générer des cellules surnuméraires de parenchyme de stockage des grains d'amidon ; le nombre de racines concernées et le délai pour identifier la tubérisation sont modifiés par les états du milieu. Ce stade est difficile à préciser dans le temps car chaque racine primaire peut tubériser, sur un secteur de longueur variable ; il se situe généralement entre 4 et 10 semaines ;
- la phase de remplissage des sites réels de stockage après leur initiation. Elle est rythmée par de nombreux facteurs intervenant au cours de la croissance et se prolonge jusqu'à la récolte pour aboutir à des tubercules « utiles », qualificatif très subjectif. La durée du cycle dépend de la variété et des facteurs du milieu. Dans la majorité des cas, les tiges à la récolte servent de source pour constituer le matériel de plantation du cycle cultural suivant.

La phase d'installation de la culture du manioc dans un milieu donné est sous la dépendance de deux groupes de facteurs :

- les caractéristiques de la bouture ; c'est de la qualité de la bouture que dépendent à la fois l'enracinement, qui doit assurer le stockage en plus des fonctions racinaires classiques, et le nombre de tiges, dont une partie servira au bouturage du prochain cycle ;
- les techniques culturales appliquées pour installer la bouture et gérer la parcelle (Raffaillac, 1992). Parmi celles-ci, la densité de plantation a le plus de répercussions sur les caractéristiques du peuplement végétal.

En milieu paysan, les densités de plantation rencontrées varient considérablement selon les systèmes de culture, les objectifs de production et le milieu. En culture associée dans le sud-est de la Côte d'Ivoire, elles se situent entre 2 500 et 3 600 plants à l'hectare en association avec l'igname, et atteignent 6 800 plants à l'hectare avec du maïs. Au sud du Togo, une densité de 10 000 plants à l'hectare en culture associée avec du maïs est fréquente. En culture pure, avec des objectifs de commercialisation d'attiéké, la densité rencontrée se situe entre 6 000 et 14 500 plants par hectare (moyenne de

8 250) dans la grande périphérie d'Abidjan. Au sud du Togo, des densités dépassant 27 000 plants par hectare ont été mesurées en culture pure, la moyenne se situant vers 13 000.

Généraliser les effets de la densité de plantation en culture pure paraît difficile tant les résultats disponibles sont variables et parfois contradictoires. Le rendement de la culture reste souvent le seul critère retenu pour analyser les conséquences. Selon G. Cours (1951), une plantation serrée avantage la production. Une densité proche de 10 000 plants à l'hectare semble préférable pour obtenir des hauts rendements d'après M. Tardieu et Fauche (1961). Cette augmentation du rendement avec la densité est également enregistrée par B. Enyi (1972, 1973) et C. Williams (1972). J. Cock *et al.* (1977) observent que pour obtenir des rendements élevés, la densité optimale change avec l'époque de la récolte selon les variétés. Ces auteurs constatent des baisses de rendement frais avec l'augmentation de la densité : mais les pertes en matière fraîche sont parfois compensées par un accroissement du taux de matière sèche des racines. D. Wholey et R. Booth (1979) observent aussi une augmentation des teneurs en matière sèche et en amidon liées à des écartements faibles. J. Toro et C. Atlee (1985) soulignent l'importance du rôle de la variété, de la fertilité du milieu et des pratiques culturales afin de définir une densité optimale pour augmenter le rendement. Sur deux cycles culturaux en Côte d'Ivoire, J. Dizès (1978) observe soit une perte, soit un gain de rendement suivant la variété en augmentant la densité ; cependant la teneur en matière sèche des tubercules n'est jamais modifiée. W. Godfrey Sam Agrey (1978) enregistre une baisse du rendement de l'ordre de 50 % en doublant la densité.

J. Cock *et al.* (1977) détaillent les effets provoqués par des variations de densité : ils constatent une diminution du poids moyen d'un tubercule et du nombre de tubercules par plant à densité forte. La ramification secondaire devient plus abondante pour certaines variétés cultivées à densité faible. La chute des feuilles augmente avec une forte densité de plantation, réduisant ainsi l'Indice de Surface Foliaire (LAI) ; ils en concluent que la liaison recherchée pour la sélection variétale entre un LAI élevé et un rendement fort n'est pas valable.

Comparés à d'autres plantes qui tubérisent, les problèmes de culture et la phénologie du manioc se rapprochent en plusieurs points de ceux de la betterave sucrière (Caneill *et al.*, 1993) :

- il existe un important problème d'installation du peuplement à partir du matériel de plantation ;
- il n'y a pas de stade morphologique net identifiable en cours de cycle ;
- la phase de maturité des tubercules n'est pas évidente à déterminer ;

– le problème de la qualité de la récolte est prépondérant.

Un « Plan manioc ivoirien » a été défini en Côte d'Ivoire pour augmenter la production et pour fournir différents produits alimentaires ou industriels (CICE, 1983). Face à la diversité des réponses à la densité de plantation, une étude de ce facteur a été entreprise dans le sud du pays qui concentre la majeure partie de la production nationale, dans le cadre d'un programme de recherche sur l'élaboration du rendement du manioc. L'objectif était double : 1/ approfondir les connaissances de base sur le manioc, 2/ donner des éléments de référence technique pouvant contribuer à améliorer les rendements. Les répercussions de trois écartements entre plants sont examinées à travers la structuration du peuplement végétal, sa dynamique au cours du cycle cultural, la mise en place des composantes du rendement et leur évolution. Les conséquences sur la qualité de la production sont alors discutées en rapport avec les différents objectifs pouvant être assignés à la culture du manioc.



## Matériel et méthodes

L'étude est réalisée sous la forme d'une expérimentation dans le sud de la Côte d'Ivoire sur un cycle cultural de 12 mois qui débute avec la grande saison des pluies.

### *Le climat*

Le régime des pluies est bi-modal. La figure 1 présente la pluviométrie reçue au cours du cycle cultural. Sur l'année, la température minimale est de 22 °C et la température maximale de 32,5 °C.

### *Le sol*

Il est sableux à 88 %, avec 8 % d'argile et 3 % de limon. Sa préparation consiste en un labour sur 25 centimètres suivi d'un hersage. La fertilisation à l'hectare est de 50 Kg d'azote à la plantation (urée à 46 %) et 200 Kg de K<sub>2</sub>O à 2 mois (KCl à 60 %). Le désherbage est chimique en prélevée (trifuraline) puis manuel après 3 mois.

### *La plante*

La variété appelée « CB » est à port dressé. Elle a été retenue pour le « Plan manioc ivoirien » en raison de sa productivité et de sa bonne tolérance aux problèmes phytosanitaires.

En moyenne, les boutures pèsent 87 grammes, mesurent 23 centimètres et portent 7 noeuds. Elles sont prélevées (4 à 6 par tige) à la base de tiges saines de plants âgés de 17 mois. Elles sont enfoncées à l'oblique au 2/3 sur sol plat.

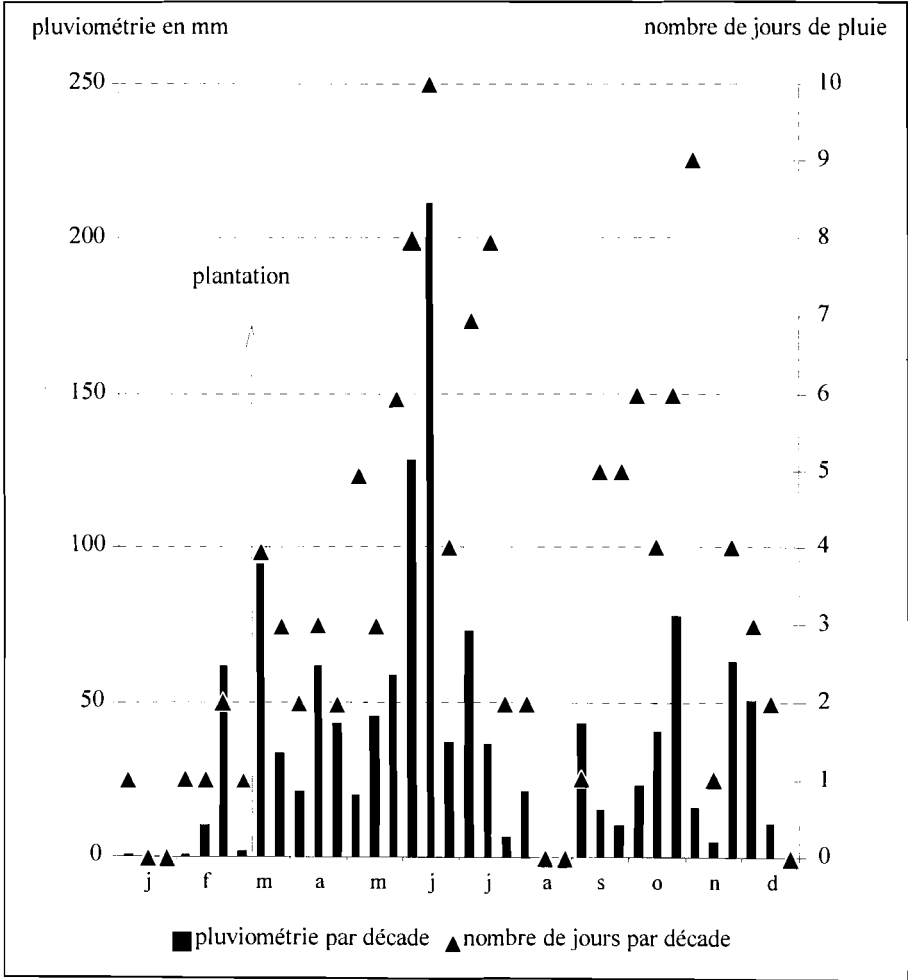


Figure 1 — Pluviométrie et nombre de jours de pluie par décennie au cours du cycle cultural.

### Dispositif expérimental et traitements

Il comporte quatre blocs de Fisher, un cinquième étant réservé à des arrachages en cours de cycle. Trois densités de plantation sont comparées (tabl. 1).

## Les contrôles

Entre 40 et 150 jours après plantation (JAP), huit (pour D2) et neuf (pour D1 et D3) contrôles de croissance et développement sont régulièrement effectués sur 12 plants arrachés par traitement. Les mesures concernent les nombres de tiges, d'apex, de ramifications secondaires, de floraisons et de racines en distinguant le raccordement sur la bouture : origines nodale (noeuds) et basale (base). La répartition de la biomasse entre les différents compartiments est contrôlée par pesées individuelles en frais ; la teneur en matière sèche est estimée sur 3 plants par traitement (72 heures à l'étuve à 105 °C).

Tableau 1  
Dispositif expérimental

Traitements	Ecartements	N plants/hectare	Dimensions parcelles
D1	1,3 x 1,3 m	5 917	7,8 x 44,2 m
D2	1,0 x 1,0 m	10 000	8,0 x 24,0 m
D3	0,8 x 0,8 m	15 625	8,0 x 16,0 m

L'évolution de la tubérisation est suivie par la mesure individuelle du diamètre maximum de chaque racine en distinguant l'origine. Une racine est considérée comme un futur tubercule lorsque son diamètre dépasse 10 millimètres. Par ailleurs, on procède :

- à une estimation de la surface foliaire de 6 plants à 2 tiges (2 répétitions) tous les 10 jours entre 1,5 et 8 mois ; la longueur du lobe médian du limbe de chaque feuille est mesurée puis convertie en surface par la relation entre  $L$  (cm) et  $S$  (cm<sup>2</sup>) :  $S = aLb$ , avec  $a = 0,0067$  et  $b = 2,042$  ( $r = + 0,97$  ;  $n = 75$ ) ; la somme des surfaces individuelles est ramenée au taux d'occupation de la surface unitaire du sol pour calculer l'Indice de surface foliaire (ISF = LAI, Leaf area index) ;
- à une appréciation de la fermeture du couvert entre 35 et 70 JAP par photos (objectif de 28 mm) exécutées à la verticale à 5 mètres au-dessus de plants à 2 tiges (5 répétitions par traitement) ; le pourcentage d'occupation d'1 m<sup>2</sup> de sol par les feuilles est calculé à partir des pesées de la découpe de la silhouette des plants sur photos 18 x 24 cm ; les rameaux secondaires sont comptés sur les plants de chaque parcelle ;
- à une récolte détaillée sur 33, 23 et 18 plants par parcelle respectivement pour D1, D2 et D3, avec mesures des poids frais des tiges + feuilles, de la



bouture et de chaque tubercule selon l'origine sur la bouture ; la teneur en matière sèche de la partie aérienne est évaluée sur 3 répétitions et celle des tubercules sur 20 répétitions par parcelle ;

– à une récolte globale sur le reste des plants observables : ces résultats ne sont pas reportés ici car ils sont en tout point similaires à ceux de la récolte détaillée.

## Résultats

### La partie aérienne

Le nombre de tiges par plant est indépendant de la densité de plantation et l'équilibre entre plants monocaules et multicaules n'est pas modifié. On dénombre 2,2 tiges par plant sur l'ensemble des traitements, avec 20 % de plants monocaules, 52 % de plants à 2 tiges, 23 % à 3 tiges et 5 % à 4 tiges ou plus.

Au 51<sup>e</sup> jour après la plantation, les trois traitements se différencient : les tiges développent plus de rameaux latéraux lorsque la densité est faible (tabl. 2). Par ailleurs à densité égale, ils sont plus nombreux sur les plants monocaules que sur les plants multicaules. Ces rameaux secondaires, appelées ramifications proleptiques (Médard *et al.*, 1992), diffèrent des axes sylleptiques qui apparaissent chaque fois que le méristème végétatif terminal de la tige se transforme en méristème floral. Ils se situent à la base des tiges principales. A densité faible, 6,9 ramifications latérales se développent sur un plant monocaule, contre 3,5 par tige sur un plant à 2 tiges et 1,5 par tige sur un plant à 3 tiges. Lorsque la densité de plantation augmente, le nombre de rameaux latéraux d'un plant à 2 tiges passe de 7,0 à 4,2 et 2,8.

Tableau 2  
Nombre de rameaux secondaires par tige (R2-t) et par plant (R2-p),  
51 jours après plantation pour trois écartements entre plants

Plants à	D1 (1,3 x 1,3 m)			D2 (1,0 x 1,0 m)			D3 (0,8 x 0,8 m)		
	(n)	R2-t	R2-p	(n)	R2-t	R2-p	(n)	R2-t	R2-p
1 tige	(33)	6,9	6,9	(9)	6,2	6,2	(21)	3,8	3,8
2 tiges	(71)	3,5	7,0	(61)	2,1	4,2	(38)	1,4	2,8
3 tiges	(29)	1,5	4,5	(26)	1,5	4,5	(20)	1,1	3,3

(n) : nombre d'observations

La variété « CB » adapte donc la morphologie générale de sa partie aérienne à l'écartement entre plants ; pour un même écartement, la réaction individuelle est fonction du nombre de tiges principales portées. Au début, la croissance de ces rameaux diffère de celle de la tige principale. Entre 42 et 70 JAP, le rythme moyen d'émission foliaire journalière pour D1 est de 0,98 sur le rameau secondaire et 0,64 sur la tige principale. La longueur moyenne entre 2 noeuds est de 5,2 centimètres sur les rameaux secondaires contre 3,3 centimètres sur la tige principale. La combinaison entre vitesse d'émission et élongation des entre-noeuds permet ainsi à l'apex de ces rameaux de se situer vers 4-5 mois à la même hauteur que l'apex de la tige. De plus, l'allongement des entre-noeuds des rameaux secondaires est amplifié lorsque la densité est forte : sur une longueur de 50 centimètres, on dénombre seulement 14,9 noeuds sur D2 et 19,4 noeuds sur D1.

Ces rameaux secondaires ne fournissent pas des boutures de bonne qualité : sur la partie la plus lignifiée, le nombre de noeuds par unité de longueur est faible et le diamètre est inférieur à celui de la tige principale. Par ailleurs, l'existence de plusieurs rameaux gêne la constitution de boutures le long de la tige principale. Une densité faible n'offre donc pas des tiges intéressantes pour produire du matériel de plantation.

Le nombre total d'apex par plant augmente au cours du temps : pour D1, il est de 9 à 2 mois, 11 à 4 mois puis 15 à 6 mois. Sept mois après plantation, on dénombre 17 apex par plant sur D1 contre 10 sur D2 et 8 sur D3. Ces valeurs prennent en compte à la fois les ramifications latérales et les tiges principales qui ont éventuellement ramifié par floraison. Cependant rapporté à la surface unitaire, le nombre d'apex est peu différent entre les 3 densités : à 7 mois, il est de 10 par m<sup>2</sup> sur D1 et D2 contre 13 sur D3.

La vitesse de couverture du sol des trois traitements diffère significativement à partir de 1,5 mois après plantation (tabl. 3). La fermeture est totale pour D3 dès le deuxième mois ; il faut un dizaine de jours supplémentaires pour que les plants à densité D1 couvrent le sol à 100 %.

Le déclenchement de la floraison du méristème terminal de la tige a toujours pour conséquence une ramification simultanée en deux ou trois branches, donnant une apparence di- ou trichotomique. La floraison varie en précocité et en fréquence au cours du cycle cultural selon de nombreux facteurs internes et externes. Ces axes sylleptiques concourent à la fermeture de la couverture du sol. La variation de densité de plantation ne modifie pas le nombre d'apex issu de ce type de ramification. La première floraison s'étale au même rythme pour les trois traitements au cours des sept premiers mois. Elle développe à 80 %

deux axes et à 20 % trois axes, là encore sans différence entre traitements. Par ailleurs, le stade foliaire des tiges n'est pas modifié.

La surface foliaire d'un plant à 2 tiges suit la même évolution pour les trois traitements. Elle augmente jusqu'à 100 JAP, diminue ensuite pendant un mois en fin de grande saison des pluies, période pendant laquelle le rayonnement global reçu est le plus faible, et présente un nouvel accroissement jusqu'à 160 JAP (fig. 2a). Elle est à son maximum au 205e jour du cycle en début de seconde saison des pluies, pour ensuite diminuer rapidement. Les plants à faible densité ont la surface foliaire la plus élevée, liée au développement des rameaux latéraux. Le traitement D2 se situe en position intermédiaire dès que la couverture du sol est assurée à 100 %.

Tableau 3

Evolution du pourcentage de fermeture du couvert estimé par photos à la verticale de plants à 2 tiges pour trois écartements

JAP	D1 (1,3 x 1,3 m)		D2 (1,0 x 1,0 m)		D3 (0,8 x 0,8 m)	
35	34 %	a	37 %	a	43 %	a
44	52 %	b	60 %	bc	69 %	c
58	77 %	c	92 %	d	100 %	d
70	100 %	d	100 %	d	100 %	d

Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes entre elles.

La densité D3 présente le LAI le plus élevé pendant les sept premiers mois, excepté entre 114 et 143 JAP où les trois traitements possèdent le même indice en fin de grande saison des pluies (fig. 2b). La forte diminution observée pour D3 entre 98 et 129 JAP est à mettre en relation avec un taux de défoliation accéléré : à 114 JAP, il est de 78 % contre 70 % pour D1 et D2.

### Le système racinaire

La potentialité d'émission racinaire a été évaluée sur 20 boutures plantées à l'oblique, au 2/3, en sacs de végétation de 25 dm<sup>3</sup> contenant le même type de sol, arrosés quotidiennement. Cinq semaines après plantation, on dénombre en moyenne 6,8 racines nodales et 20,2 racines basales. Ce potentiel n'est modifié ni par les bonnes conditions édapho-climatiques de l'essai, ni par la densité de plantation.

Le nombre total de racines tend à diminuer au-delà de 86 JAP (fig. 3). Les premières racines en tubérisation sont visibles entre 49 et 60 JAP pour les

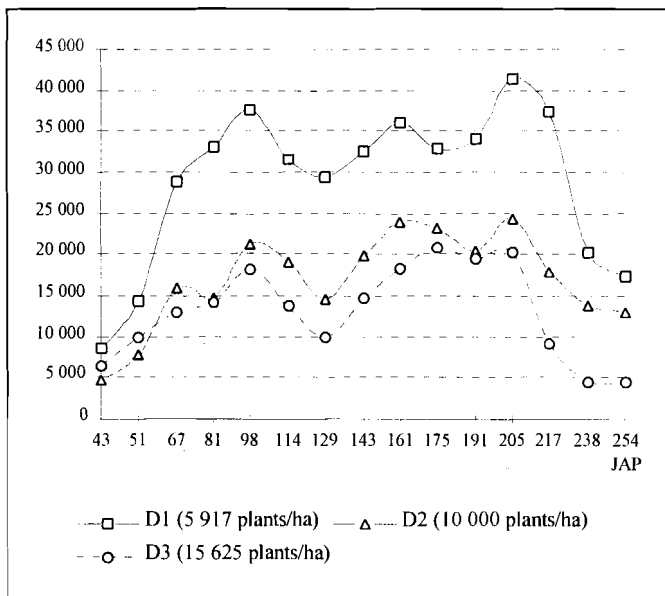


Figure 2a.

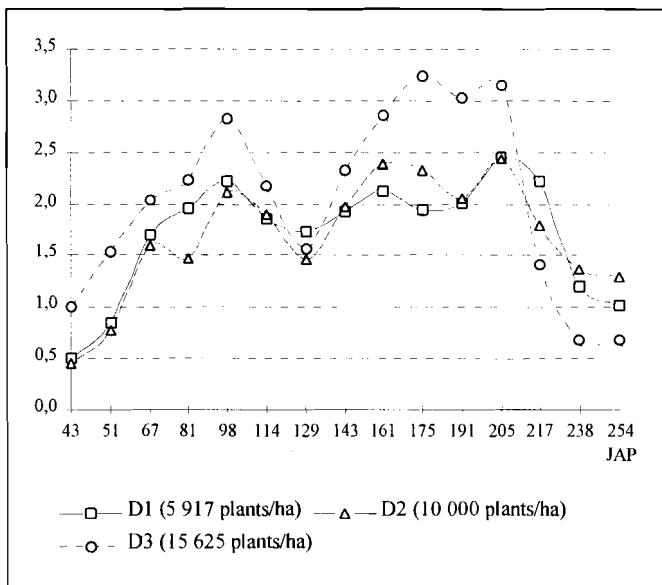


Figure 2b.

Figures 2 — Evolution de la surface totale des feuilles (en  $\text{cm}^2$ ) d'un plant à 2 tiges pour trois densités de plantation (a) et de l'Indice de surface foliaire (LAI) correspondant (b), entre 43 et 254 jours après plantation.

trois traitements ; leur nombre se stabilise dès 71 JAP sur densité élevée tandis qu'il continue d'évoluer sur trois à quatre semaines supplémentaires pour les deux autres traitements.

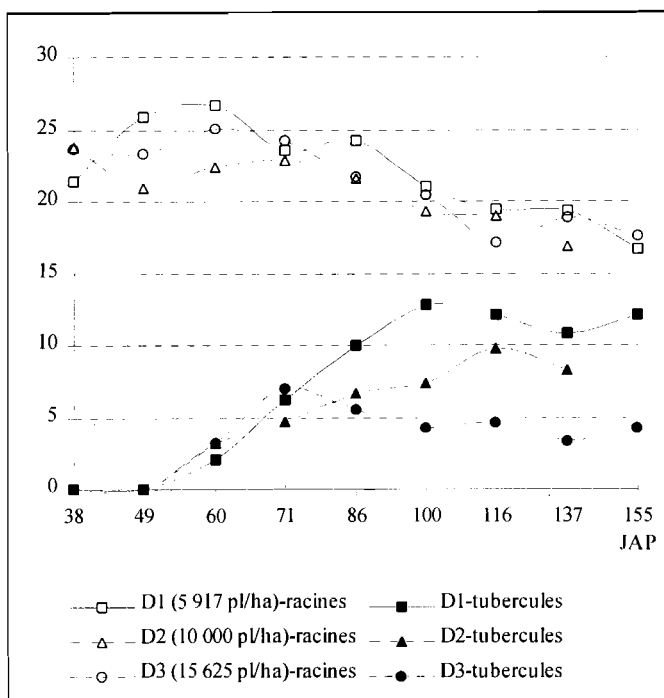


Figure 3 — Evolution du nombre total de racines et du nombre de tubercules (racines de diamètre > 10 mm) d'un plant de manioc pour trois densités de plantation.

La densité de plantation modifie la proportion de racines en tubérisation selon l'origine sur la bouture. En regroupant les données des contrôles au-delà de 116 JAP, 48 % des racines nodales tubérisent, contre 71 % des racines basales pour le traitement D1. Ces proportions diminuent lorsque la densité de plantation augmente : les racines nodales tubérisent à 29 % et 16 % et les racines basales à 59 % et 26 % respectivement pour D2 et D3.

A densité égale, les racines basales augmentent leur diamètre proportionnellement plus vite que les racines nodales (tabl. 4). Ainsi pour D1 à 100 JAP, 11 % des racines basales ont dépassé 30 millimètres contre 1 % des racines nodales. Pour une même origine, le passage dans la classe de diamètre supérieure est en proportion plus élevée si la densité est faible : à 137 JAP, 20 % des racines basales ont un diamètre supérieur à 30 millimètres, contre 5 % et 2 %

respectivement pour D2 et D3. Pour les racines nodales, ces proportions sont de 16 %, 2 % et 0 % respectivement sur D1, D2 et D3.

Une forte densité diminue donc à la fois la proportion de racines qui tubérisent et la vitesse de tubérisation d'un plant. Les racines basales sont plus aptes au remplissage à la fois en proportion et en quantité, et ceci, bien que les racines des deux origines possèdent la même anatomie et qu'elles soient toutes susceptibles de tubériser (Lowe *et al.*, 1982).

Tableau 4  
Pourcentage de racines par classe de diamètre à deux dates de contrôle selon l'origine sur la bouture pour trois densités de plantation

Racines basales

Classes		0-10 mm	11-20 mm	21-30 mm	31-40 mm	> 41 mm
D1	100 JAP	35 %	23 %	31 %	10 %	1 %
	137 JAP	36 %	17 %	27 %	18 %	2 %
D2	100 JAP	56 %	25 %	16 %	2 %	1 %
	137 JAP	45 %	24 %	26 %	5 %	-
D3	100 JAP	75 %	13 %	12 %	-	-
	137 JAP	80 %	10 %	8 %	2 %	-

Racines nodales

Classes		0-10 mm	11-20 mm	21-30 mm	31-40 mm	> 41 mm
D1	100 JAP	51 %	29 %	19 %	1 %	-
	137 JAP	54 %	14 %	16 %	15 %	1 %
D2	100 JAP	76 %	10 %	12 %	2 %	-
	137 JAP	66 %	20 %	12 %	2 %	-
D3	100 JAP	86 %	9 %	5 %	-	-
	137 JAP	87 %	7 %	6 %	-	-

### Evolution pondérale

Le poids sec des différents organes d'un plant de manioc n'est pas modifié par la densité de peuplement au cours des deux premiers mois (fig. 4). Au-delà, les plants développent plus de rameaux secondaires sur D1, entraînant une augmentation du poids sec de la partie aérienne. Corrélativement, le plant accumule une plus grande quantité de matière sèche dans les racines.

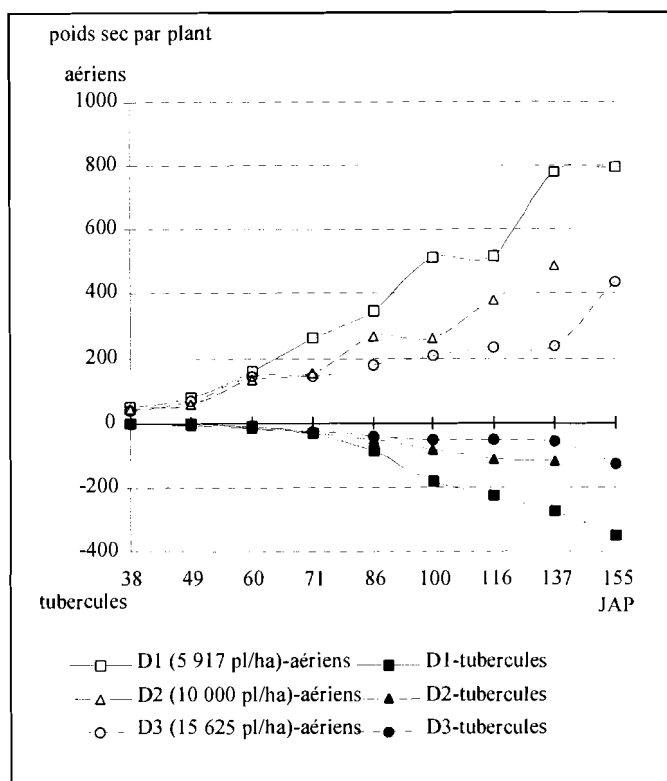


Figure 4 — Evolution des poids secs (en grammes) de la partie aérienne et des tubercules pour un plant de manioc cultivé selon trois densités de plantation.

Du point de vue de la production utile, le plant à faible densité de plantation valorise mieux et plus rapidement les facteurs naturels de production du milieu : à quatre mois, l'indice de récolte (rapport entre la biomasse utile et la biomasse totale) est de 0,30 pour D1 contre 0,23 et 0,18 pour D2 et D3 (tabl. 5).

### Récolte : la partie aérienne

A 12 mois, un plant situé en conditions de faible densité de peuplement présente 23 apex sur une tige, contre 12 pour D2 et 10 pour D3. Rapportées à la surface, ces valeurs donnent 29 apex par  $m^2$  pour D1, 28 pour D2 et 31 pour D3. La différence de comportement entre les plants monocaules et les plants multicaules pour une même densité établie en cours de cycle se retrouve : les

tiges sur des plants monocaules ont plus d'apex. Cependant, ces valeurs rapportées au plant entier sont les mêmes (tabl. 6).

Tableau 5  
Evolution de l'indice de récolte (rapport entre poids sec des tubercules et poids sec total du plant) en début de cycle pour trois densités de plantation

JAP	D1 (1,3 x 1,3 m)	D2 (1,0 x 1,0 m)	D3 (0,8 x 0,8 m)
86	0,20	0,16	0,19
100	0,26	0,24	0,21
116	0,30	0,23	0,18
137	0,26	0,19	0,19
155	0,31	-	0,23

Les teneurs en matière sèche ne sont pas modifiées par la densité : elles sont de 32 % pour la bouture et 25 % pour les tiges + feuilles sur l'ensemble de l'essai. Pour chacun des trois traitements, le poids sec en fin de cycle de la bouture d'origine est bien corrélé à celui de la partie aérienne : la relation est linéaire avec un coefficient de corrélation de +0,76 pour D3. La bouture constitue un puits pour accumuler des réserves au même titre que les racines.

Tableau 6  
Nombre d'apex sur une tige de manioc à 12 mois pour la densité D3 (écartements 1,3 x 1,3 m)

Plants à	Nbre d'apex / tige	Nbre d'apex / plant	Nbre de plants observés
1 tige	37,8	37,8	14
2 tiges	21,8	43,6	29
3 tiges	14,5	43,5	21

### *Récolte : les racines tubérisées*

La teneur en matière sèche des racines tubérisées n'est pas modifiée par la densité de plantation : elle est en moyenne de 33,7 % (tabl. 7). L'indice de récolte est plus élevé à densité faible : 0,41 pour D1 contre 0,35 pour D3. Ces valeurs diminuent en éliminant les petits tubercules. Un plant cultivé à densité faible valorise mieux la biomasse produite à la récolte.

La distribution du nombre et du poids de tubercules sur un plant dans des classes de poids frais est modifiée par la densité de plantation (tabl. 8). Pour le



nombre, 11 % des tubercules produits pèsent plus de 1 000 grammes à densité faible D1, contre 5 % pour D2 et 3 % pour D3. En poids frais par plant, cela représente 28 % pour D1, 16 % pour D2 et 9 % pour D3. A l'inverse, l'élimination des petits tubercules de poids inférieur à 200 grammes correspond à 29 % du nombre sur un plant pour D1, contre 42 % pour D2 et 43 % pour D3. En poids frais par plant, cela représente 7, 11 et 13 % respectivement pour D1, D2 et D3.

Tableau 7  
Caractéristiques des différents compartiments d'un plant à la récolte pour trois densités de plantation et rendements correspondants

	PF des aériens	PF de la bouture	N tubercules par plant	PF tuber par plant	%MS d'1 tubercule
D1	7 982 a	718 a	9,7 a	4 836 a	33,5 a
D2	4 584 b	525 b	6,3 b	2 241 b	34,2 a
D3	3 578 c	422 b	4,9 c	1 710 b	33,4 a
Moyenne	5 381	555	6,9	2 920	33,7
ETr	507,7	74,7	0,6	397,1	1,5

	IR	RS (t/ha)	% N (-200)	% P (-200)	RS utile
D1	0,41 a	9,6 a	30 b	7 b	8,9 a
D2	0,36 b	7,6 a	42 a	11 a	6,8 b
D3	0,35 b	8,9 a	43 a	13 a	7,8 ab
moyenne	0,37	8,7	38	10	7,8
ETr	0,02	1,1	5,1	1,6	0,9

PF : Poids frais (en grammes), RS : Rendement sec, % MS : teneur en Matière sèche, IR : Indice de récolte, % N (-200) : % du Nombre de tubercules de moins de 200 g., % P (-200) : % du Poids frais des tubercules représenté par les moins de 200 g. Les valeurs suivies d'une lettre différente sont significativement différentes au seuil de 5 % (test de Newman et Keuls). ETr : Ecart-type résiduel.

Le nombre et le poids de tubercules par plant ont été rapportés à l'unité de surface (tabl. 9) : sur la base d'un poids minimum de 200 grammes, on rejette deux fois plus de tubercules sur densité élevée D3 que sur densité faible D1. La prise en compte du refus pour le calcul du rendement sec à l'hectare entraîne alors une différence significative entre les traitements D1 et D2 (tabl. 7).

**Tableau 8**  
Distribution (en %) du nombre et du poids frais de tubercules  
par classe de poids (en grammes) sur un plant moyen cultivé  
selon trois densités de plantation

Classes de poids		0 à 200 g	201 à 400	401 à 600	601 à 800	801 à 1000	1001 à 1200	1201 et +
D1	Nombre	29	27	15	10	8	4	7
	Poids	7	18	17	15	15	9	19
D2	Nombre	42	26	14	8	5	2	3
	Poids	11	22	22	15	14	6	10
D3	Nombre	43	24	16	7	6	2	1
	Poids	13	24	23	16	15	4	5

**Tableau 9**  
Production à l'hectare du nombre et du poids sec de tubercules  
de manioc cultivé avec 3 densités de plantation

Densités de plantation	Nbre total tuber/ha	Nbre tuber. éliminés	Nbre tuber. utiles	Poids Sec éliminé (t/ha)
D1 : 5 917 pl/ha	57 395	16 645	40 750	2,0
D2 : 10 000 pl/ha	63 000	26 460	36 540	2,4
D3 : 15 625 pl/ha	76 563	33 687	42 875	3,5

## Discussion et conclusions

Les trois densités de plantation déterminent une structure du peuplement très différente : une parcelle d'un hectare avec 5 917 plants dispose de 12 425 tiges principales, contre 22 300 tiges avec 10 000 plants et 33 750 tiges avec 15 625 plants. Ces tiges se comportent différemment et la couverture du sol devient totale vers deux mois quelle que soit la densité, avec cependant un retard d'une dizaine de jours pour D1. Ce délai supplémentaire peut favoriser l'enherbement de la parcelle, impliquant alors une intervention supplémentaire, ou faciliter l'érosion du sol par les pluies. C'est le développement de rameaux latéraux plus nombreux sur les tiges à faible densité qui assure la fermeture du couvert : la dominance apicale sur des bourgeons éloignés de l'apex a pu être levée grâce à une meilleure pénétration de la lumière.

Un plant monocaule ne se comporte pas comme un plant multicaule : à densité égale, il développe plus de rameaux secondaires. Une seule tige permet un meilleur éclairage des couches inférieures de la couverture aérienne et favorise ainsi le débouillage de bourgeons ; un plant à plusieurs tiges crée un auto-ombrage plus intense qui limite ce type de ramifications. Cette différence de comportement entre plants monocauls et multicaules au sein d'un peuplement n'est pas évoquée dans la littérature. B. Enyi (1972) rapporte que des parcelles homogènes de plants monocauls ont des rendements supérieurs à des parcelles de plants multicaules à densités faibles ; cependant, J. Dizès (1978) obtient le contraire.

La densité de plantation ne modifie pas le nombre de racines émises par la bouture : le potentiel de sites de stockage d'un plant est au départ le même. La concurrence entre plants à densité élevée va limiter le nombre de sites réels. Les conditions hydriques et nutritionnelles de l'essai n'étant pas limitantes, la cause en reviendrait au facteur rayonnement. Le quart des racines évolue en tubercules pour 15 625 plants/hectare ; la moitié des racines sont concernées à 10 000 plants/ha et près de trois sur quatre à 5 917 plants/ha : pour cette densité de plantation, la totalité des racines de certains plants multicaules dépassait 20 millimètres de diamètre vers cinq mois.

Chez la patate douce, un mouvement préférentiel des hydrates de carbone vers un puits plutôt qu'un autre a été décrit (Chva *et al.*, 1981). Ces auteurs évoquent quatre causes : l'ordre chronologique de création du puits, l'amplification du déplacement des réserves une fois qu'un gradient de concentration est établi, la position du puits par rapport à la source et la qualité des liaisons vasculaires. Nos observations montrent que chez le manioc, les racines basales sont privilégiées par la tubérisation, en proportion comme en quantité. Les racines nodales, issues de proméristèmes néoformés au niveau des noeuds, apparaissent pourtant cinq à huit jours avant les racines basales (Cours, 1951). Elles sont cependant plus superficielles et une température élevée dans les premiers centimètres du sol pourrait gêner l'accumulation de réserves (Menzel, 1985). Mais la supériorité des racines basales peut s'expliquer surtout par la meilleure qualité des connexions des vaisseaux libéro-ligneux entre racines et bouture, facilitant le transport des réserves amylacées. Le cal cicatriciel qui se forme après la coupe de la bouture et d'où sortent les racines basales se constitue en effet autour de la zone cambiale (Médard, 1973).

Les rendements bruts à l'hectare des trois densités ne sont pas statistiquement différents. La teneur en matière sèche des tubercules n'est pas modifiée. La

décomposition au niveau du plant fait apparaître un écart dans les deux composantes Nombre de tubercules et Poids moyen d'un tubercule :

- D1 (5 917 plants/hectare) : 9,6 tubercules x 498 grammes ;
- D2 (10 000 plants/hectare) : 6,3 tubercules x 355 grammes ;
- D3 (15 625 plants/hectare) : 4,9 tubercules x 349 grammes.

Sur un plan pratique, les résultats de cette expérimentation sont importants à considérer. Selon la finalité de la culture du manioc, la densité de plantation apparait en effet comme un bon moyen d'ajuster pour partie la qualité du rendement utile en jouant sur ces composantes du rendement.

La densité faible est la mieux adaptée à une production destinée à l'approvisionnement d'un marché où la préférence va à la commercialisation de gros tubercules. Ainsi sur un hectare, 6 313 tubercules de poids supérieur à 1 kilogramme sont produits avec un écartement entre plants de 1,3 mètre, ce qui représente un total de 8,0 tonnes. Dans les mêmes conditions, on dispose seulement de 3 150 tubercules, soit 3,5 tonnes, avec un écartement de 1,0 mètre et 2 297 tubercules, soit 2,4 tonnes, avec un écartement de 0,8 mètre.

Avec des objectifs de production impliquant une transformation mécanisée, la dispersion plus grande des poids frais des tubercules utiles supérieurs à 200 grammes à faible densité de plantation peut constituer un inconvénient pour des postes tel que l'épluchage mécanique : en effet, des appareils conçus pour une taille moyenne standard et avec de faibles écarts autour de cette moyenne pourront constituer une part élevée de tubercules rejetés.

Une autre conséquence de la densité de plantation sur le manioc touche la qualité et la quantité du matériel de plantation pour un cycle suivant si, cas le plus fréquent, le système de culture dans lequel est insérée la parcelle productrice de tubercules n'inclut pas spécifiquement une parcelle strictement destinée à la production de boutures. Pour la variété CB cultivée à faible densité de plantation, le développement de plusieurs rameaux secondaires diminue la qualité de la partie la plus lignifiée des tiges principales qui sert à constituer les boutures, qui de plus sont moins nombreuses. Dans les conditions de l'essai, la densité de plantation élevée convient mieux pour créer des parcelles à vocation de parc à bois tout en assurant un rendement satisfaisant.

## Références bibliographiques

- BRUIJN G. H. DE, FRESCO L. O., 1989 – The importance of cassava in world food production. *Netherl. JI Agric. Sci.*, 37 : 21-34.
- CANEILL J., FLEURY A., FERRE F., 1993 – L'élaboration du rendement de la betterave sucrière. In : L. Combes et Picard D. (Coord) : *Elaboration du rendement des principales cultures annuelles*. Paris, éditions Inra, pp. 143-167.
- CHVA L. K., GOESCHL J. D., KAYS S. J., MAGNUSON C. E., FARES Y., 1981 – Les modes d'assimilation du carbone des patates douces en formation avec utilisation de  $^{11}\text{C}$  et  $^{14}\text{C}$ . In : *Actes du 1er symposium international sur la patate douce*. Taiwan, ACCT and CTA (eds), pp. 105-128.
- CICE, 1983 – Le Plan manioc ivoirien. *L'Exportateur Ivoirien* (revue du Centre ivoirien du commerce extérieur), 34 : 11-29.
- COCK J. H., 1985 – Cassava. *New potential for a neglected crop*. Boulder and London, IADS serie, Westview Press, 191 pages.
- COCK J. H., WHOLEY D., DE LAS CASAS O. G., 1977 – Effects on spacing on cassava (*Manihot esculenta*). *Expl Agric.*, 13 : 289-299.
- COURS G., 1951 – Le manioc à Madagascar. *Mémoire de l'institut scientifique de Madagascar*, B, III, 2 : 203-400.
- DIZES J., 1978 – Influence de la densité de plantation et de la taille des plants à une tige sur le rendement de deux variétés de manioc. Rapport Orstom, Adiopodoumé, Côte-d'Ivoire, 12 pages.
- ENYI B. A. C., 1972 – The effects of spacing on growth, development and yield of single and multi-shoot plants of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). 1/ Root tuber yield and attributes. 2/ Physiological factors. *East Afr. Agric. and Forest. JI*, (7-8) : 23-34.
- ENYI B. A. C., 1973 – Growth rates of three cassava varieties (*Manihot esculenta* Crantz) under varying population densities. *Jl agric. Sci., Camb.*, 81 : 15-28.
- GODFREY SAM AGREY W., 1978 – Effects of plant population on sole-crop cassava in Sierra Leone. *Expl. Agric.*, 14 : 239-244.
- LOWE S. B., MAHON J. D., HUNT L. A., 1982 – Early development of cassava (*Manihot esculenta*). *Can. JI. Bot.*, 60 : 3040-3048.
- MEDARD R., 1973 – Morphogénèse du manioc, *Manihot esculenta* Crantz : étude descriptive. *Adansonia*, 2, 13 (4) : 483-494.
- MEDARD R., SELL Y., BARNOLA P., 1992 – Le développement du bourgeon axillaire du *Manihot esculenta*. *Can. JI. Bot.*, 70 : 2041-2052.
- MENZEL C. M., 1985 – The control of storage organ formation in potato and other species : a review. Part I & II. *Field Crop Abstracts*, 38, 9 : 527-537 et 38, 10 : 581-606.
- RAFFAILLAC J.-P., 1992 – Enracinement de la bouture de manioc (*Manihot esculenta* Crantz) au cours des première semaines de croissance. *L'Agronomie Tropicale*, 46, (4) : 273-281.
- TARDIEU M., FAUCHE J., 1961 – Contribution à l'étude des techniques culturales chez le manioc. *L'Agronomie Tropicale*, 16, (4) : 375-386.
- TORO J. C., ATLEE C. B., 1985 – Agronomic practices for cassava production : a literature review. In : Cock J. H. and Reyes (éd.) : *Cassava : research, production and utilization, Cassava Program*. CIAT, Colombia, pp. 207-237.
- WHOLEY D. W., BOOTH R. H., 1979 – Influence of variety and planting density on starch accumulation in cassava roots. *J. Sci. Food Agric.*, 30 : 165-170.
- WILLIAMS C. N., 1972 – Growth and productivity of tapioca (*Manihot utilisima*). III. Crop ratio, spacing and yield. *Expl Agric.*, 8 : 15-23.



# Effets de l'apport de bouses de zébus sur les composantes du rendement du mil, sur les mauvaises herbes et sur l'encroûtement superficiel du sol au Niger

Anneke de Rouw

Jean-Louis Rajot

Gaby Schmelzer

## Introduction

La mise en culture épuise à la longue le sol. Pour compenser les exportations et maintenir la productivité, deux pratiques sont utilisées : la mise en jachère et la fumure. Lorsque l'agriculture dispose de surfaces suffisantes, les deux pratiques demeurent possibles. Pour que la fumure soit alors adoptée, il est nécessaire que le surcroît de travail qu'elle occasionne se trouve compensé par des avantages supérieurs à ceux de la jachère. Il y a deux possibilités : soit l'augmentation du rendement obtenue avec la fumure permet une réduction de la surface cultivée, c'est à dire une diminution du travail de sarclage, soit la fumure permet d'allonger la durée d'utilisation du champ, ce qui entraîne une réduction du travail de défrichage.

Par ailleurs, dans les régions où se fait sentir une pénurie de terres cultivables, les jachères sont mises en culture avant que les propriétés des sols aient été

régénérées. Il en résulte une baisse de rendement et une diminution de la productivité du travail. Dans de telles situations, le recours à la jachère devient difficile et l'emploi de la fumure sous ses formes variables constitue une solution pour l'amélioration de la culture du mil bien plus réaliste que l'application d'engrais minéral. En effet, les engrais minéraux entraînent à long terme une dégradation de la structure du sol due à une perte en matière organique, un encroûtement superficiel, et un appauvrissement du sol en éléments nutritifs autres que ceux apportés (Pichot *et al.*, 1981).

Ces vingt-cinq dernières années au Niger, la surface cultivée en mil a doublé, tandis que les rendements ont décliné (Klajj et Hoogmoed, 1989). Cela signifie que des terres de plus en plus marginales sont utilisées. Dans notre zone d'étude, la forte croissance démographique 3,3 % entre 1980 et 1992 (World Bank, 1994) permet de prévoir, pour un avenir proche, un manque de terre cultivable ne permettant plus de conserver les pratiques de mise en jachère. Or actuellement, les deux types de systèmes de culture coexistent. La zone d'étude constitue un bon site pour étudier dans quelle mesure la fumure peut pallier la diminution de la mise en jachère. Pour cela, une étude détaillée de l'apport du fumier sur les composantes du rendement, l'évolution du milieu a été entreprise en tenant compte des sarclages, seule forme de travail du sol.

### *Les systèmes de culture de la zone d'étude*

La principale culture pluviale dans la zone d'étude (Banizoumbou, 65 km à l'est de Niamey), est de loin le mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.), souvent associé au niébé. Le mil est semé après creusement de trous (poquets) et rebouchage juste après. Des grandes surfaces d'une faible densité (moy. 7 000 poquets/ha) sont ainsi semées au cours des trois premiers jours qui suivent une grosse pluie. La taille moyenne des champs s'élève à 11 ha (min. 4, max. 30, n = 17, (Seybou, 1993)).

Le travail du sarclage constitue le seul travail du sol effectué. Il est réalisé à l'aide d'une lame courbe (iler) travaillant à très faible profondeur. Il entraîne non seulement la coupe des mauvaises herbes, mais aussi la destruction des croûtes superficielles. Le travail de sarclage constitue le travail le plus lourd qui occupe les paysans continuellement de 15 à 80 jours après semis.

Le mil est cultivé, soit pendant quatre à huit ans en alternance avec une période de jachère d'au moins quatre ans, soit sur des champs permanents avec fumure animale (parcage). Le plus ancien champ parcagé sur le terroir de Banizoumbou avait 16 ans en 1994.



## Types de fumure

La fumure peut être préparée et appliquée sous trois formes.

1. Par la stabulation des animaux dans la concession, on obtient de la poudrette. Cette pratique ne concerne que des surfaces très réduites (d'une dizaine de m<sup>2</sup>) parce que le nombre d'animaux concerné est faible, et le coût du transport au champ (charrette, ou sur la tête) élevé.

2. La fumure produite par la stabulation nocturne au champ consiste en un apport de déjections et d'urine déposées et mélangées avec du sable, là où les animaux sont attachés. Cette pratique, peu courante, exige beaucoup de travail (couper, poser, déplacer les piquets) et ne concerne que quelques centaines de m<sup>2</sup>.

3. Le parage extensif des animaux est de loin la forme de fumure la plus pratiquée. Les troupeaux passent la nuit dans les champs, soit en liberté, soit près d'un enclos où sont attachés les veaux, autour desquels se regroupent la plupart du bétail. En déplaçant les veaux, on assure la rotation du parc. Dans l'auréole où ont été concentrés les animaux, de 0,5 à 5 t/ha de bouses sont déposées. Généralement, la surface de cette auréole n'excède pas un hectare. Les bouses sèchent sur place, en restant entières (c'est par hasard que les animaux les piétinent), sans mélange d'urine. Cette urine, en l'absence de piétinement par les animaux, forme avec le sable des croûtes superficielles où la levée du mil est mauvaise. Ces croûtes disparaissent un mois après les premières pluies.

C'est la troisième forme de préparation et d'application de la fumure, très généralisée dans la région, que nous avons testée.

Le parage extensif est pratiqué par 50 % des exploitations du terroir de Banizoumbou (n = 60, dont 51 exploitations Zarma, huit Peulh, une Haoussa, (Seybou, 1993)). Il est pratiqué, d'une part, par les Peulh sédentarisés et les Zarma, tous les deux disposant de leur propre bétail pour assurer le parage, d'autre part, par les Zarma avec peu de bétail, mais relativement aisés, qui peuvent conclure un contrat de parage avec un éleveur Peulh nomade.

## Site et méthodes

Le climat au Niger est chaud et semi-aride. La saison des pluies se caractérise par des pluies intenses souvent accompagnées de vents violents. Dans notre zone d'étude, la pluviosité moyenne annuelle est d'environ 500 mm.

Le champ expérimental (7 ha) se situe à 5 km du village de Banizoumbou (13°31' N, 2°38' E). Le site appartient à un piémont sableux (« jupe »), unité géomorphologique consacré à la culture du mil. Le parage extensif est pratiqué sur environ 1 ha chaque année. L'essai a été implanté sur une partie du champ qui n'a pas été fumé en 1991 (l'année antérieure à l'essai). L'année 1992 correspondait à la 6e année consécutive de culture et les observations portent sur trois ans (1992, 1993, 1994).

L'essai comporte deux facteurs : apport en saison sèche de bouses à raison de 5t/ha, ce qui correspond au maximum effectivement mesuré dans les zones de parage, et absence d'apport. En 1993, nous avons recherché un éventuel effet résiduel. Nous avons procédé à un deuxième apport sur les mêmes parcelles avant le cycle de culture en 1994. Le deuxième facteur concerne le sarclage : 0 sarclage, 2 sarclages (2 et 6 semaines après le semis), ce qui correspond à la pratique habituelle des paysans, et 4 sarclages (2, 4, 6 et 8 semaines après le semis).

Il s'agit d'un dispositif en split-plot à six répétitions avec, comme facteur principal le parage (parcelle élémentaire 12x6 m), et comme facteur secondaire le sarclage (parcelle élémentaire 4x6 m<sup>2</sup>). Le mil (variété CIVT) est semé à raison de 10 000 poquets/ha puis démarqué à 3 plantes/poquet 22 jours après semis. Le protocole prévoit le recueil, la pesée et l'apport de bouses, deux mois avant le semis, puis le relevé, cinq fois au cours du cycle, des états de surface (34 points de relevé par parcelle élémentaire), des mauvaises herbes (nombre, espèces sur 0,25 m<sup>2</sup>, biomasse lors des sarclages sur 1 m<sup>2</sup>) et de l'état du mil (lors des sarclages et à la récolte), enfin la mesure du rendement et de ses composantes.

Le modèle d'élaboration du rendement retenu est le suivant :

Rendement = Nombre d'épis total \* % épis fertiles \* Poids de grains par épi fertile.

La densité de poquets est donnée par la mise en place de l'essai. Le Nombre total d'épis total par poquet est la composante qui reflète la phase végétative, le Pourcentage d'épis fertiles est une composante liée aux compétitions et attaques de ravageurs lors de la phase florale, le Poids de grains par épi fertile rend compte de la phase générative et de la compétition entre épis.



## Résultats

### *Bouses*

L'analyse des bouses sèches montre qu'il s'agit surtout d'un amas de cellulose, pauvre en éléments fertilisants, particulièrement en zone sahélienne (tabl. 1).

La faible quantité de phosphore souligne la carence générale en cet élément dans les sols sableux du Niger (Bationo et Mokwunue, 1986), ainsi qu'au Burkina (Quilfen et Milleville, 1983). Les teneurs en éléments nutritifs des bouses d'Oursi, encore plus faibles que celles de Banizoumbou, se trouvent compensées par des quantités plus importantes de déjections déposées, de l'ordre de 1,2 à 1,8 t/ha pour des parcelles faiblement fumées. On retrouve d'ailleurs, à Oursi, le même système extensif de parage (Quilfen et Milleville, 1983).

Tableau 1  
Analyse des bouses de vaches à l'état sec (%)

	Mat. org.	N total	P total	K total	Ca total	Mg total	Na total
Zone sahéenne							
Banizoumbou, Niger *	47	1,42	0,174	0,717	1,09	0,26	0,065
ICRISAT, Niger £		1,32	0,16				
Oursi, Burkina Faso §		1,28	0,11	0,46			
Zone soudanienne							
Nord du Nigéria ¶		1,4	0,26	1,78			
Saria, Burkina Faso }	48	2,1	0,22	3,47	1,27	0,61	0,23
Korhogo, Côte d'Ivoire µ	48	1,5	0,26	0,9	0,5		

\*1994, pâturage dans les jachères à *Guiera senegalensis* et sur les plateau (brousses tigrées).  
£ 1990, pâturage dans les jachères à *Guiera senegalensis* du Centre sahéenne Icrisat (Brouwer et Powell, 1993).

§ Quilfen et Milleville, 1983.

¶ Sandford, 1989.

} station agronomique Irat, Pichot *et al.*, 1981.

µ Schleich, 1986.

## Etats de surface

A la fin de la saison sèche, les champs présentent en surface un horizon de sable meuble d'épaisseur variable (quelques mm à 10 cm). C'est l'horizon concerné par le travail du sol (sarclage). Il repose sur les horizons sous-jacents compacts. Sous l'effet des pluies, c'est cet horizon qui s'encroûte, d'abord en croûtes structurales (Casenave et Valentin 1989), puis, sous l'effet du vent ou du ruissellement en croûtes d'érosion. Ces croûtes d'érosion induisent une forte péjoration de l'infiltration. A l'inverse, les dépôts de sables éoliens constituent des zones très perméables. Les pourcentages respectifs de croûtes d'érosion et de dépôts éoliens à la surface des parcelles traduisent donc leur aptitude à l'infiltration. C'est pourquoi ce sont ces deux types d'état de surface qui sont pris en compte dans la suite de l'étude.

## 1992

La période entre l'apport des bouses (11 mai) et le semis du mil (30 juin) a été marquée par des vents violents, sans pluie. Dans ces conditions, le sable meuble à la surface du sol se trouve balayé, découvrant d'anciennes croûtes d'érosion. Le sable s'accumule là où subsistent des obstacles comme des résidus de mil, des adventices sèches et les bouses. Les bouses piègent ainsi le sable éolien (fig. 1). Sous l'effet des sarclages, les surfaces encroûtées diminuent (fig. 1, 45 j). Entre 59 et 89 j, le mil, les bouses et les adventices piègent de nouveau le sable, ce qui limite le ruissellement et l'érosion hydrique. Tout au long du cycle, les parcelles avec les bouses sont moins encroûtées, et plus couvertes de sables éoliens. Elles permettent donc une meilleure infiltration.

## 1993

En début d'hivernage il ne reste plus en surface de bouses de l'année précédente. La saison des pluies, (semis le 2 juin) n'a pas été précédée par des vents violents. Peu de croûtes d'érosion et d'accumulation de sable fin ont apparus (fig. 2). La petite sécheresse qui a succédé a favorisé, en revanche, une légère accumulation de sable éolien (fig. 2, 39-55 j). L'encroûtement vers la fin du cycle de mil (10-20 %) a atteint le même niveau qu'en 1992. On n'a pas observé d'effet résiduel net des bouses sur les états de surface.

## 1994

Après le dépôt des bouses (28 mars), des vents violents accompagnés de petites pluies (7, 15, 4,5 et 4,6 mm) ont précédé le semis du mil (13 juin). Comme en 1992, les parcelles dépourvues de bouses ont présenté un pourcentage élevé d'encroûtement (30 %, fig. 3), mais les dépôts de sable éolien ont été moins importants. Ensuite, sous l'effet des sarclages, il y a une déstructuration des croûtes d'érosion (30-55 j). Les dépôts éoliens disparaissent complètement sous l'effet du ruissellement provoqué par les grosses pluies, ainsi que la majorité des bouses.

## *Mauvaises herbes*

### 1992, 1993, 1994

Dans les deux années d'application des bouses, 1992 et 1994, la biomasse produite par des mauvaises herbes et prélevée lors du premier sarclage, s'élève à 3,5 g/m<sup>2</sup> dans les parcelles avec bouses, et 2,6 g/m<sup>2</sup> sans bouses (fig. 4). Quoique les surfaces fumées produisent environ un tiers plus de biomasse,

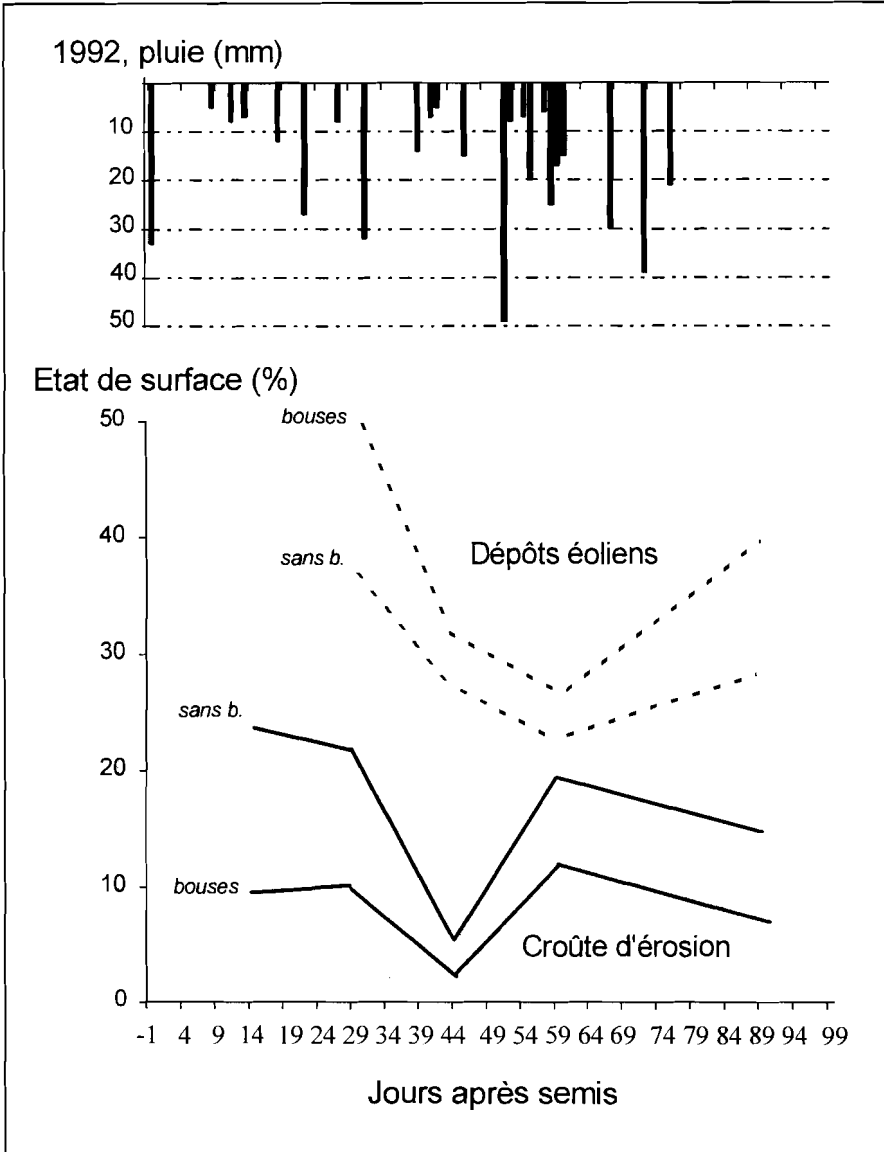


Figure 1 — Pluviométrie pendant la période de culture du mil 30 juin - 7 octobre 1992 et évolution saisonnière des croûtes d'érosion et des dépôts éoliens dans les parcelles avec apport de bouses sèches (5 t/ha) et sans apport de bouse.

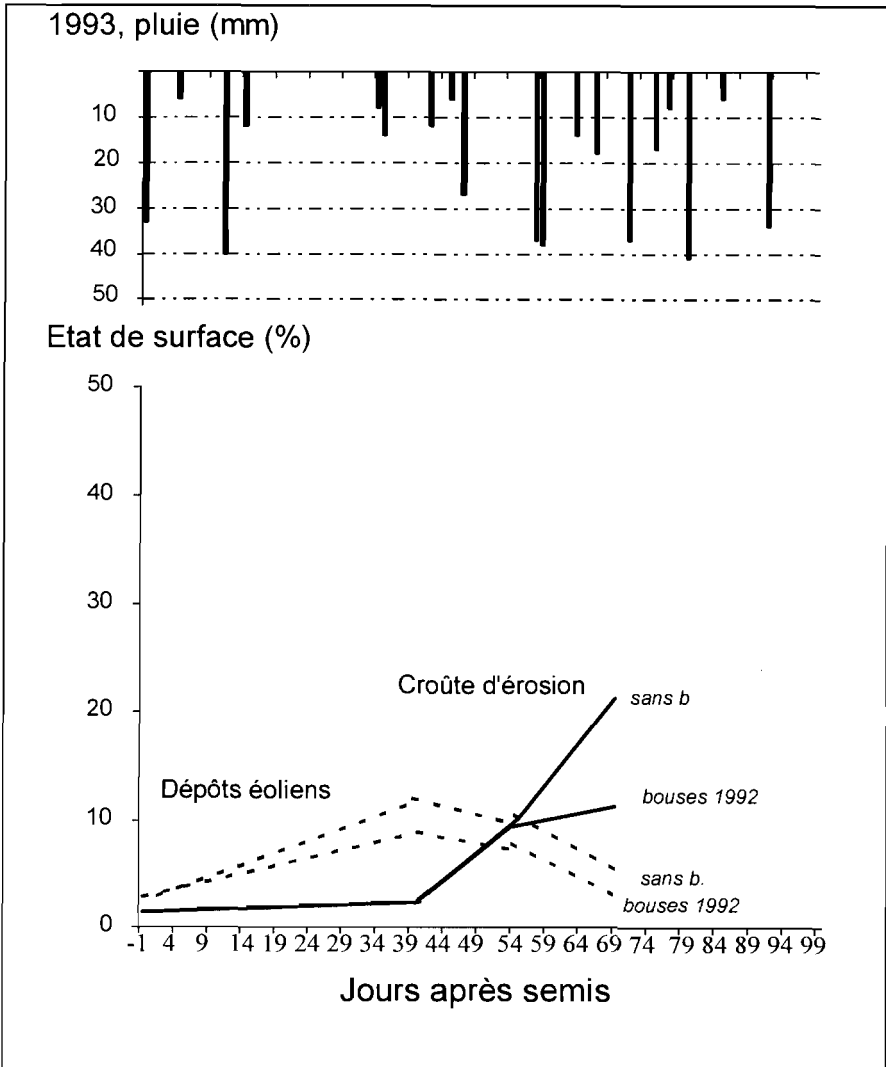


Figure 2 — Pluviométrie pendant la période de culture du mil du 1 juin au 9 septembre 1993 et évolution saisonnière des croûtes d'érosion et des dépôts éoliens dans les parcelles ayant reçu des bouses sèches (5 t/ha) en 1992 et sans apport de bouse.

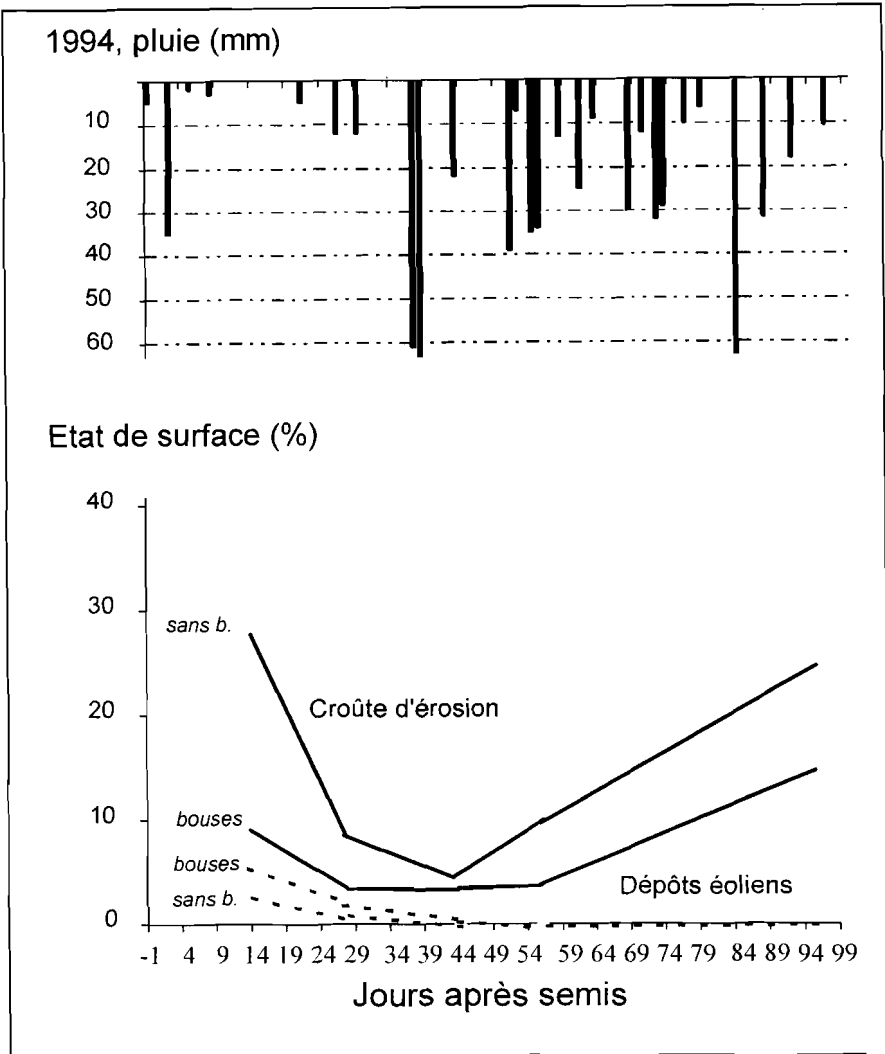


Figure 3 — Pluviométrie pendant la période de culture du mil du 12 juin au 19 septembre 1994 et évolution saisonnière des croûtes d'érosion et des dépôts éoliens dans les parcelles avec apport de bouses sèches (5 t/ha 1992 et 1994) et sans apport de bouse.

cette différence n'est pas significative (cv, coefficient de variation toujours supérieur à 55 %). En 1993, l'année sans apport de bouses, il y a peu de différences entre les parcelles ayant reçu les 5 t/ha de bouses l'année précédente, ou non. La biomasse produite, autour de 5 g/m<sup>2</sup>, est élevée du fait de la plus grande disponibilité en eau en 1993 (90 mm, avant le premier sarclage).

Le nombre de plantes coupées lors du premier sarclage varie entre 280 et 340 plantes/m<sup>2</sup> (fig. 4), avec un cv compris entre 49 et 78 %. Le poids supérieur des mauvaises herbes dans les parcelles avec bouses n'est donc pas le résultat d'une densité plus grande. On ne peut pas conclure que l'apport de bouses transportent des graines d'adventices, ni que les bouses piègent les graines, comme elles piègent le sable, qui envahissent le champ. L'aspect toujours plus enherbés des zones parquées serait plutôt le résultat des meilleures conditions de croissance en début d'hivernage. Ce résultat a été confirmé dans un essai similaire à Sama Dey, village situé à 5 km de Banizoumbou sur un sol identique : la biomasse des adventices prélevée lors du premier sarclage s'élevait à 4,2 g/m<sup>2</sup> (n = 16, cv 63 %) dans les parcelles avec bouses, et 2,4 g/m<sup>2</sup> pour celles sans bouse (n = 16, cv 66 %). La densité est 2 300 plantes/m<sup>2</sup> dans les parcelles sans bouses (cv 75 %), et 1600 plantes/m<sup>2</sup> avec bouses (cv 4 %). Cette même production à Sama Dey qu'à Banizoumbou en biomasse par m<sup>2</sup> dans les deux champs reflète la même disponibilité en eau et éléments nutritifs. Le nombre d'adventices six fois supérieur dans le champ de Sama Dey est probablement le résultat de l'accumulation des graines d'adventices dans le sol pendant plus de 20 années consécutives de culture.

Nous n'avons pas observé de différence floristique entre les parcelles avec ou sans bouses, *Jacquemontia tannifolia* (L.) Griseb. et *Mitracarpus scaber* Zucc. dominent toutes les parcelles pendant les trois saisons de culture (essai Banizoumbou).

## Mil

### Phase d'émergence et d'installation

Le taux de levée n'a pas été influencé par les bouses (1992, 1994). En revanche, les deux années avec apport de bouses, les pousses de mil (lors du démarrage à 22 JAS, jours après semis) ont tendance à être plus vigoureuses dans les parcelles avec bouses (22 cm, cv 7,4 ; 25 cm, cv 7,6, n = 216). Une croissance juvénile plus forte a été démontré (P < 5 %) dans le champ de Sama Dey au niveau de la surface foliaire à 26 JAS (40 cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> pour le mil sans bouse, 70 cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> avec bouses, (Rockström et de Rouw, 1997)).



Ainsi, comme les adventices, le jeune mil profite des bouses en début d'hivernage (fig. 4).

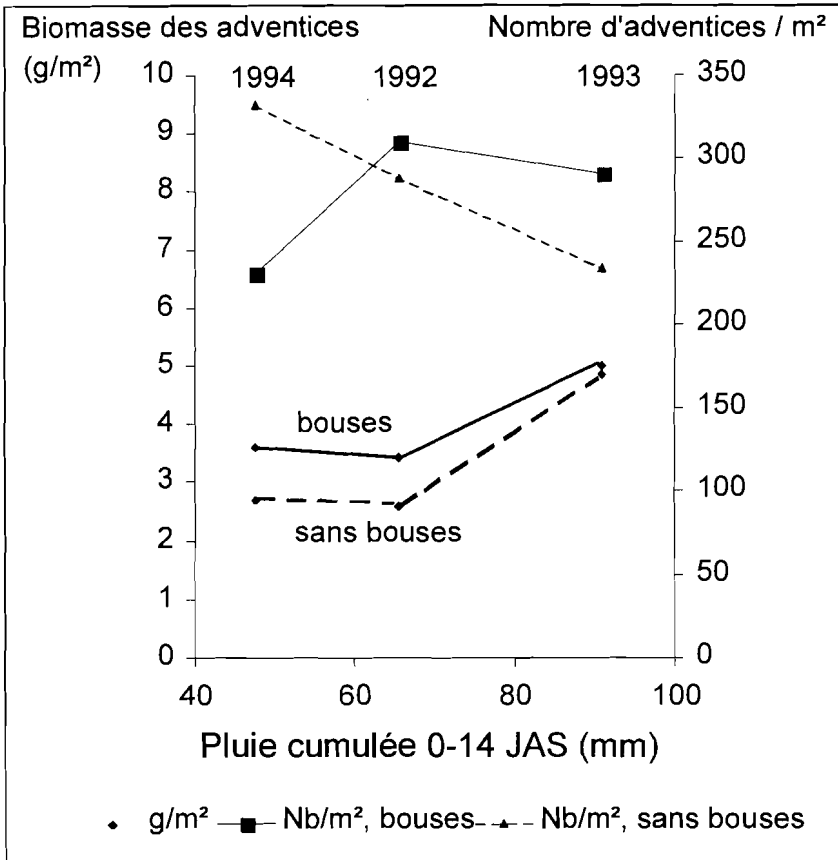


Figure 4 — Relation entre les adventices (densité et biomasse) et la pluie cumulée (mm) dans la période comprise entre le semis et le premier sarclage (14 j.), pour les parcelles avec apport de bouses sèches (5 t/ha 1992 et 1994) et sans apport de bouse.

### Rendement et composantes du rendement

Les rendements de l'année 1992 ont été relativement élevés (700-1 000 kg/ha) grâce à une répartition satisfaisante des pluies et aux faibles dégâts provoqués par les ravageurs (tabl. 2). En 1993, une sécheresse en début de cycle (fig. 2) et les attaques d'insectes ravageurs dans les parcelles ont provoqué une chute des rendements (200-300 kg/ha). Le faible niveau de rendement en 1994, par rapport à 1992, a été semblable à celui observé sur les champs paysans de la

région (250-450 kg/ha). Il est dû à la sécheresse du début du cycle, puis à l'érosion hydrique causée par les pluies intenses qui ont suivi (fig. 3). Dans le tableau 2 sont présentés les effets d'apport de bouses et des différents niveaux de sarclages sur les composantes du rendement. L'année 1993 n'a pas été représentée, car un éventuel effet favorable résiduel des bouses ne s'est pas manifesté, et le faible niveau des rendements a limité les possibilités d'analyses.

Au cours des deux années, l'effet bouses est resté faible sur le rendement, et nul sur le Poids de grains/épi. Les composantes corrélées aux apports de bouses (effet statistiquement significatif  $2,5 < P < 1 \%$ ) ont été le Nombre d'épis et le Poids de 1 000 grains. La première reflète les conditions de développement durant la phase végétative, plus favorable en présence de bouses pour l'initiation des épis. La deuxième, étant corrélée aux conditions du stade génératif, phase où il n'y a pas de stress hydrique, suggère que les bouses libèrent quand même une quantité d'éléments nutritifs dont le mil sait profiter lors du stade de remplissage des grains.

L'effet sarclage a été très marqué ( $P < 0,5 \%$ ), du fait du traitement « 0 sarclage » dans lequel seules des plantes de mil chétives se sont développées. En 1994, dans les parcelles non sarclées et sans bouses, une grande partie des adventices a été emportée par l'érosion hydrique. Le mil a pu se développer sous une faible pression d'enherbement (108 kg/ha). En revanche, dans les parcelles non sarclées et protégées par les bouses, les mauvaises herbes se sont maintenues et ont fortement concurrencé le mil (10 kg/ha).

Dans l'analyse de l'interaction bouses et nombre de sarclages, seuls les traitements deux sarclages (pratique paysanne) et quatre sarclages sont pris en compte. En général, les parcelles « quatre sarclages » produisent moins de grains et moins d'épis que les parcelles « deux sarclages » en l'absence de bouses. Avec l'apport de bouses, la production est maintenue au même niveau, dans les parcelles au sarclage intensif et à deux sarclages. La composante qui répond aux sarclages excessifs est le Nombre d'épis total (effet statistiquement non significatif en 1992 et statistiquement significatif ( $2,5 < P < 1 \%$ ) en 1994). Le Poids de 1 000 grains et le Poids de grains/épi ne sont pas affectés. Ceci paraît logique : seule est touchée la composante qui rend compte de la phase végétative, la période au cours de laquelle les sarclages ont eu lieu (avant 55 JAS, 50 % floraison). Concernant le rendement, l'apport de bouses limite l'effet négatif des sarclages répétés, grâce à un Nombre d'épis utiles/poquet identique à la pratique paysanne (deux sarclages).

Tableau 2

Rendement et composantes du mil, avec ou sans apport de bouses (5 t/ha) en 1992 et 1994, et trois niveaux de sarclage

	0 sarclage				2 sarclages				4 sarclages			
	1992		1994		1992		1994		1992		1994	
	Sans	Avec	Sans	Avec	Sans	Avec	Sans	Avec	Sans	Avec	Sans	Avec
Rendement (kg/ha)	9	63	174	17	901	918	434	461	761	1063	314	463
Nb d'épis total (/poq.)	1,3	1,8	1,6	1,2	4,0	3,9	2,8	3,3	3,2	3,7	2,1	2,9
Nb d'épis utiles (/poq.)	0,5	1,1	1,2	0,3	3,4	3,4	2,5	2,8	2,7	3,4	1,8	2,8
Poids grains (g/épi utile)	1	6	12	6	27	27	17	16	28	32	16	15
Poids 1 000 grains (g)	4,5	6,0	6,4	5,1	9,2	9,5	9,6	10,2	9,2	9,4	9,4	9,6
Indice de récolte (%)	4	9	25	6	26	24	24	24	26	26	24	21

Sans = Sans bouse

Avec = Avec bouses

Tableau 3

Effet de l'apport de bouses sèches (5 t/ha en 1992 et 1994) et du sarclage sur le sol (5-15 cm, fin du cycle 1993, 1994)

	0 sarclage				2 sarclages				4 sarclages			
	Sans bouse		Avec bouse		Sans bouse		Avec bouse		Sans bouse		Avec bouse	
	1993	1994	1993	1994	1993	1994	1993	1994	1993	1994	1993	1994
pH-H <sub>2</sub> O	5,98	5,63	5,94	5,80	5,85	5,41	5,84	5,73	5,60	5,46	5,65	5,52
Al <sup>3+</sup> (meq/100 g)	0,00	0,05	0,00	0,00	0,02	0,10	0,00	0,01	0,07	0,11	0,06	0,08
Mat. Org. (%)	0,46	0,33	0,43	0,49	0,40	0,32	0,43	0,46	0,34	0,32	0,43	0,32
N ppm	228	194	218	283	201	194	208	245	171	178	211	184
P ppm	54	53	50	56	48	51	51	53	56	53	53	52
CEC effec. (meq/100g)	1,08	0,84	1,25	1,14	1,12	0,84	1,22	1,02	0,95	0,84	1,10	0,80

## Sol

Le tableau 3 montre l'évolution de la fertilité chimique du sol (5 - 15 cm) sous l'effet d'apport des bouses en 1992 et en 1994, et sous les différents régimes de sarclages. Dans la pratique paysanne (deux sarclages), l'apport de bouses permet de maintenir à peu près le niveau de fertilité : baisse du pH du sol moins importante ainsi qu'une toxicité d'aluminique moins marquée que sans apport de bouses. On constate une légère augmentation de matière organique, et une baisse moins importante de CEC que dans les parcelles sans apport de bouse. Les éléments nutritifs apportés par les bouses parviennent à entraîner les faibles différences de fertilité dans le sol entre les traitements (tabl. 3), qui ne sont pas sensibles dans l'analyse chimique des grains de mil : on retrouve les mêmes taux de N, P, K, Ca et Mg dans les grains de mil cultivés avec ou sans bouses, 2 ou 4 sarclages au sein de la même année.

Un sarclage intensif (quatre sarclages) laisse le sol nu au cours de la quasi-totalité du cycle. Ceci simule sur une courte période les processus qui interviennent lors d'une mise en culture prolongée sans intrant. Lors des sarclages et après, les éléments fins du sol, déjà en très faibles quantités (2 à 3 % d'argile), subissent une érosion éolienne et hydrique. Il en résulte une baisse de pH et une diminution de la capacité d'échange, de la matière organique et de l'azote. Ces pertes, consécutives aux sarclages répétés, ne se trouvent que faiblement compensées par des apports de bouses. Ainsi, un sarclage intensif réduit sensiblement la production du mil, surtout dans les parcelles non-protégées par les bouses. Il montre aussi la très faible capacité des bouses à maintenir la fertilité chimique du sol.

A l'inverse, le sol non sarclé profite d'un apport annuel de biomasse sèche d'adventices d'environ 200-400 g/m<sup>2</sup>, soit 2 t/ha. Un fort recouvrement protège de l'érosion. Cette situation fournit une indication sur la biomasse que peut produire une année de jachère. Le traitement 0 sarclage sans bouses a apporté une légère amélioration de la fertilité du sol en 1993, effet anéanti en 1994 par des fortes averses qui ont dénudé le sol presque autant que les sols sarclés. La seule situation vraiment améliorante est l'apport de bouses sans sarclage. On retrouve dans ce cas une autre pratique culturale effectuée par des paysans de la région qui disposent à la fois de terres en réserve et des troupeaux. La dernière année de la jachère, le futur champ est fumé par un parcage nocturne des animaux. Lors du défrichage les bouses vont protéger le sol de l'érosion éolienne, réduire l'encroûtement superficiel, tout en fournissant une faible quantité d'éléments nutritifs.



## Discussion et conclusion

Malgré la faible quantité de bouses déposées (5 t/ha) comparée aux quantités citées dans la littérature (Quilfen et Milleville, 1983 ; Schleich, 1986 ; Landais et Lhoste, 1993 ; Brouwer et Powell, 1996) et malgré leur très faible valeur nutritive, des effets positifs ont été observés sur la structure superficielle du sol, le développement du mil et l'enherbement. L'application des bouses, par un effet mécanique, augmente la résistance à l'érosion éolienne, le piégeage de sables éoliens et favorise ainsi l'infiltration. En revanche, dans les parcelles dépourvues de bouses, des croûtes d'érosion se développent sous l'effet conjugué des vents violents et des pluies irrégulières du début de saison. Sur les parcelles ayant reçu les bouses, on observe des pousses de mil plus vigoureuses. La biomasse, et non le nombre d'individus, de mauvaises herbes y est plus élevée. Au cours des 30 premiers jours après le semis, les bouses provoquent une meilleure croissance du mil et des mauvaises herbes.

Le pratique du parcase extensif n'améliore pas (cette étude) ou peu (Rockström et de Rouw, 1997) le rendement du mil. En revanche, grâce à la faible quantité d'intrants fournie annuellement par les bouses, la dégradation du sol est stoppée ou ralentie. Pour un champ cultivé continuellement, l'apport de bouses semble donc présenter un certain intérêt, au moins pour limiter la poursuite de la dégradation physique et chimique du sol, particulièrement sous forme d'érosion. Ainsi le parcase permet aux cultivateurs d'allonger la durée de culture dans certains champs.

Le type de fumure pratiquée dans la région — 0,5 - 5 t/ha de bouses déposées ici et là une année sur quatre sur la surface cultivée — constitue l'une des versions les plus extensives du système de parcase. Elle correspond bien à un système de culture, fondé sur la mise en jachère, en train de subir les premières transformations vers un système plus intensif. Parmi l'ensemble des systèmes africains de gestion de la fumure, Landais et Lhoste (1993) désignent ce système comme celui qui nécessite le moins de travail et qui correspond au début d'un processus d'intensification. Il est typique d'une région où subsistent des jachères mais où la saturation foncière menace (Loireau et d'Herbes, 1995 ; Batterbury et Longbottom, 1996).

L'actuelle poussée démographique entraîne l'abandon progressif de la jachère. Corrélativement à cette pratique, il est nécessaire d'augmenter le rendement du mil qui est actuellement de l'ordre de 400 kg/ha. Les sols sableux où l'on cultive le mil sont non seulement pauvres en matière organique mais celle-ci se dégrade rapidement. Une voie possible pour parvenir à maintenir la fertilité

consiste à utiliser les bouses de zébu, qui représentent une masse importante de matière organique (un zébu de 250 kg rejette environ 10 kg de fèces par jour, soit 3 kg de bouses sèches, Landais et Lhoste, (1993)).

Le développement agricole du Sahel repose dès lors sur les bienfaits de l'agropastoralisme, ces deux pratiques devant être intégrées. Les quantités appliquées et la forme de fumure, sans mélange d'urine ni résidus de la culture, sont juste suffisantes pour stopper la dégradation. La culture permanente sans recours à la jachère demanderait une gestion de la fumure plus élaborée.

## Références bibliographiques

- BATIONO A., MOKWUNYE A.U., 1991 – Role of manures and crop residue in alleviating soil fertility constraints to crop production with special reference to the Sahelian and Sudanian zones of West Africa. *Fertilizer Research*, 29, 217-225.
- BATTERBURY S., LONGBOTTOM J., soumis – Social and environmental change in a village in South West Niger, 1900-1996. *Sussex University Geography Research Papers*.
- BROUWER J., POWELL J.M., 1996 – Soil aspects of nutrient cycling in a manure application experiment in Niger. In : J. M. Powell, S. Fernandez-Riviera, T. O. Williams et C. Renard (éd.) : *Livestock and sustainable nutrient cycling in mixed farming systems of sub-saharan Africa*. Proceedings of the international conference ILCA, Addis Abeba, 22- 26 nov. 1993, vol 2, pp 211-226.
- CASENAVE A., VALENTIN C., 1989 – *Les états de surface de la zone Sahélienne. Influence sur l'infiltration*. Editions Orstom, Coll. *Didactiques*, Paris, 229 pages.
- KLAIJ M.C., HOOGMOED W.B., 1989 – Crop response to tillage practices in a sahelian soil. In : C. Renard, R. J. Vanderbeldt et J. F. Parr (éd.) : *Soil, crop, and water management systems for rainfed agriculture in the Sudano-Sahelian Zone*. Proceedings of an international workshop, 11-16 jan. 1987, Niamey, Niger. ICRIAT, Patancheru, India, pp. 265-275.
- LANDAIS E., LHOSTE P., 1993 – Systèmes d'élevage et transferts de fertilité dans la zone des savanes africaines. *Cahiers Agriculture*, 2, 9-25.
- LOIREAU M., D'HERBES J.-M., 1993 – Mapping of land features of the HAPEX-Sahel east central super site. Poster, American geophysical union, Annual meeting, 6-10 déc. 1993, San Francisco.
- PICHOT J., SEDOGO M.P., POULAIN J.F., ARRIVETS J., 1981 – Evolution de la fertilité d'un sol ferrugineux tropical sous l'influence de fumures minérales et organiques. *Agronomie Tropicale*, 26 (2), 122-133.
- QUILFEN J.-P., MILLEVILLE P., 1983 – Résidus de culture et fumure animale : un aspect des relations agriculture-élevage dans le nord de la Haute-Volta. *L'Agronomie Tropicale*, 38 (3), 206-212.
- ROCKSTRÖM J., DE ROUW A., 1997 – Water, nutrients and slope position in on-farm pearl millet cultivation in the sahel. *Plant and Soil*, sous presse.
- SANDFORD S.G., 1989 – Crop residue / Livestock relationships. In : C. Renard, R. J. Vanderbeldt et J. F. Parr (éd.) *Soil, crop, and water management systems for*

*rainfed agriculture in the Sudano-Sahelian Zone*. Proceedings of an international workshop, 11-16 jan. 1987, Niamey, Niger. ICRISAT, Patancheru, India, pp. 169-182.

SEYBOU H., 1993 –  
*Enquête sur les systèmes de culture, cas du terroir de Banizoumbou*. Mémoire de fin d'étude, Faculté d'agronomie, Université de Niamey, Niger, 51 pages.

SCHLEICH K., 1986 –  
Le fumier peut-il remplacer la jachère?  
Possibilité d'utilisation du fumier : exemple de la savane d'Afrique occidentale.  
*Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*,  
39 : 97-102.

WORLD BANK, 1994 –  
*World Tables 1994*, Washington, D. C.



# Stratégies d'arrosage et fonctionnement global d'un système irrigué

Le cas d'Urququi (Equateur)

Luc Gilot

Roger Calvez

## Introduction

L'irrigation suppose une mobilisation de l'eau qui peut rarement être menée par un agriculteur isolé. Le plus souvent, les parcelles irriguées sont alimentées à partir d'une source unique, captée collectivement. L'eau doit ensuite être répartie entre ces parcelles, via les infrastructures : les règles de la distribution fixent les volumes alloués à chacune et précisent les modalités des apports (dates, débits, durées). On peut donc définir un système irrigué comme l'ensemble d'une infrastructure hydraulique (de la source aux parcelles), de règles de partage de la ressource, des usagers eux-mêmes (leurs stratégies, leurs pratiques, les relations entre eux), et des interactions entre ces trois éléments (Gilot, 1994). Les règles définissent le cadre de la distribution de l'eau, les infrastructures influencent la disponibilité globale de l'eau. Les pratiques des agriculteurs eux-mêmes, dans le cadre de leurs systèmes de production, peuvent jouer sur la disponibilité en eau.

On présente ici une analyse du fonctionnement d'un système irrigué particulier : celui d'Urququi (Andes d'Equateur). Ce travail fait partie du programme de recherche de l'Orstom en collaboration avec l'Inerhi (Instituto ecuatoriano de recursos hidraulicos) en Equateur. On se focalise ici plus

spécialement sur les aspects liés aux décisions agricoles en cours de cycle, en début de cycle et sur le long terme. On cherche à quantifier et à interpréter les décisions individuelles (emplantements, dates de semis, dates et doses d'arrosage) ou collectives (dimensions des infrastructures, règles de la distribution), à évaluer leurs conséquences sur la satisfaction des besoins en eau des cultures, et à comprendre comment les décisions agricoles influencent la disponibilité en eau dans le périmètre.

Du point de vue scientifique, on contribuera ainsi à la compréhension des processus de décision agricole dans un cadre contraignant, et de l'élaboration du cadre collectif sous l'influence des pressions des usagers. Du point de vue pratique de l'aide au développement, on dégagera les facteurs qui limitent la productivité du système, pour proposer à la collectivité des irriguants une refonte des modalités de la distribution de l'eau.

## Matériel et méthodes

### *Le périmètre irrigué d'Urcuqui*

Ce périmètre est localisé dans le nord des Andes d'Equateur, près de la ville d'Ibarra. Il totalise 170 hectares, pour 300 parcelles (environ 250 usagers), dont la taille moyenne est 0,6 ha avec une forte hétérogénéité (fig. 1 et 3), dans un contexte de saturation foncière. En effet, aucune terre n'est disponible pour l'achat ou la location puisque le village est entouré de zones d'haciendas et l'évolution de la population fait que les parcelles libérées par décès ou émigration de l'exploitant sont très rares.

L'altitude est de 2 300 m en moyenne, ce qui place Urcuqui dans l'étage tempéré (Ruf *et al.*, 1994). L'évapotranspiration potentielle est relativement constante au cours de l'année (3,4 mm/j). La pluviométrie est caractérisée par une saison pluvieuse d'octobre à avril, coupée d'une période plus sèche très variable selon les années, autour du mois de janvier. La variabilité est importante (moyenne : 760 mm ; sécheresse décennale : 550 mm ; année pluvieuse décennale : 985 mm). Le bilan hydrique est déficitaire y compris au cours de la saison des pluies (fig. 2).

Les sols sont peu profonds (moins de 60 cm), de texture sablo-limoneuse. Leur réserve utile (RU) est faible : de l'ordre de 70 mm pour 60 cm. Les cultures annuelles (presque exclusivement maïs suivi de haricot sur une saison) représentent 78 % de la superficie irriguée. Leur enracinement est peu profond : 40 cm (soit une RU de 50 mm). Le maïs a un cycle de 160 jours. En culture sèche, il est semé en octobre et profite au mieux de la saison

pluvieuse. L'irrigation permet un semis plus précoce (juillet), une meilleure valorisation de la récolte (les prix sont plus favorables), et la pratique d'une culture de haricot en succession. C'est une logique d'intensification, qui s'accompagne souvent d'apports d'intrants supérieurs. Certaines parcelles comportent aussi une partie de prairie (15 % de la superficie du périmètre) ou de luzerne (5 %). L'irrigation est gravitaire, à la raie. Le débit reçu (module : théoriquement 52 l/s et en pratique autour de 41 l/s) est très supérieur à celui que peut manipuler facilement une personne (main d'eau) et impose la présence de trois à quatre travailleurs sur la parcelle pour l'épandage lorsqu'on veut obtenir une bonne efficacité (de l'ordre de 95 % : Gilot, non publié). Les travailleurs journaliers sont embauchés pour la journée complète.

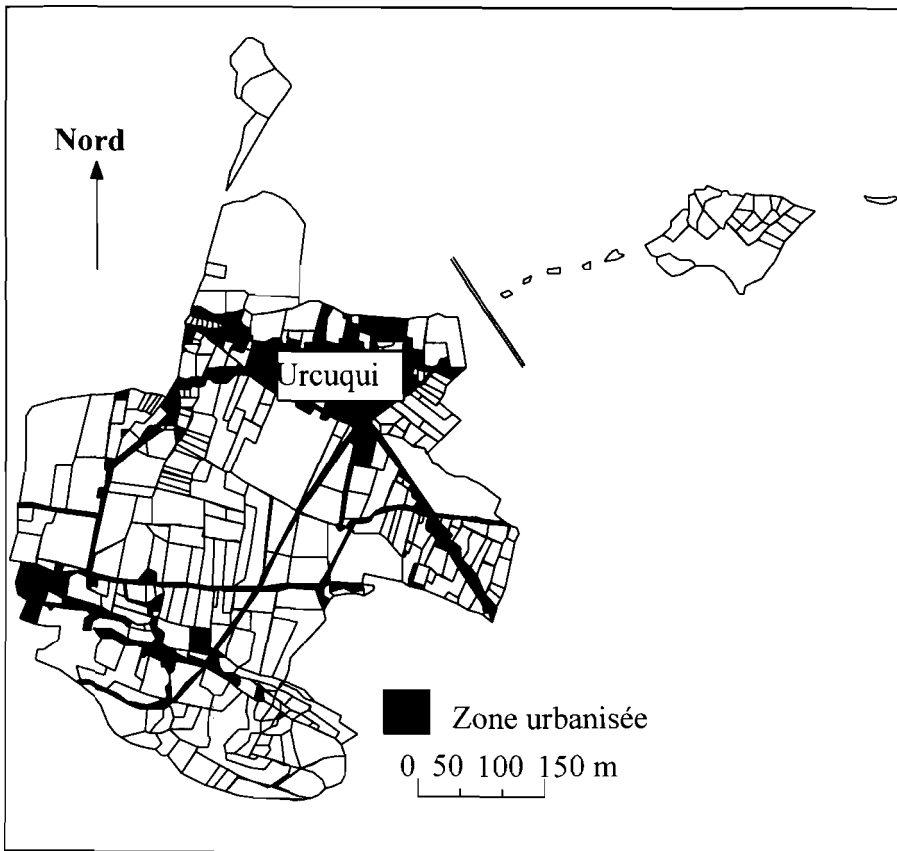


Figure 1 – Cadastre de la zone irriguée d'Urcuqui.

Le périmètre reçoit l'eau du canal « Grande o de Caciques », dont la concession légale est de 200 l/s (le débit disponible est relativement constant au cours de l'année, du fait des caractéristiques du bassin versant). Ce débit

théorique permanent n'est pas entièrement à la disposition du village : 1/3 du débit, soit 70 l/s vont à la commune voisine, San Blas ; trois jours toutes les deux semaines sont réservés pour d'autres usagers : les « caciques » et les « terceros ». Finalement, Urcuqui a droit à 130 l/s, 11 jours sur 14. Dans la pratique, le débit fourni au village est double de celui reçu en tête de périmètre (soit 260 l/s), puisqu'un réservoir stocke l'eau la nuit, pour la restituer de jour en plus du débit capté.

### *Distribution de l'eau entre les parcelles*

Le périmètre est subdivisé en cinq secteurs, chacun recevant 1/5 du débit en permanence, soit environ 52 l/s en théorie (= 260/5). Pour chaque secteur, le règlement de l'assemblée des usagers définit une distribution par rotation souple (Gilot, 1994 ; Gilot et Ruf, sous presse). C'est une rotation (ou tour d'eau) puisqu'on sert les parcelles dans un ordre prédéfini : ici de l'amont vers l'aval. La rotation est souple par plusieurs aspects : 1) à la suite d'une interruption de fonctionnement, le service reprend à la première parcelle qui n'a pas pu être servie du fait de l'interruption ; 2) chaque usager a la possibilité de passer son tour : s'il estime ne pas avoir besoin de l'eau, il se désiste et l'eau est directement proposée à l'usager suivant ; 3) l'ordre de service des parcelles laisse une liberté de un ou deux jours dans le choix de la date d'arrosage.

Dans le cadre du tour d'eau, chaque usager a le droit d'utiliser le débit quand vient son tour, pour une durée déterminée. Cette durée est appelée le droit d'eau, elle s'exprime en heures et correspond en réalité à un volume (débit x durée). A Urcuqui, les droits ont été définis en 1945, par achat, sur la base théorique de trois heures par hectare, mais sans prendre en compte la superficie réelle (Ruf et Nuñez, 1991). Chaque heure d'arrosage achetée en 1945 représente à la fois un investissement important (l'équivalent d'une année de salaire d'un travailleur journalier), mais qui reste valable pour des générations, et un gage de position sociale. On ne peut s'en servir que sur la parcelle pour laquelle il a été attribué ; on ne peut le transmettre qu'avec la terre concernée.

Connaître ce droit d'eau et la superficie de la parcelle à laquelle il se rapporte permet de calculer la *dotation* de la parcelle : le rapport du droit à la superficie, exprimé en heures par hectare. La moyenne est de six heures par hectare (le double de la base prévue en 1945), soit une dose théorique de 110 mm par arrosage, très variable selon les parcelles (plus la parcelle est plus petite, plus sa dotation est forte (fig. 3)). Du fait du règlement des usagers qui impose une distribution par demi-heures, les petites parcelles sont nécessairement

surdotées (fig. 3). Réciproquement, le maximum de quinze heures par parcelle fait que les grosses parcelles sont sous-dotées. La dotation forte d'une parcelle n'est donc pas forcément le signe d'une stratégie d'accumulation des droits d'eau de la part de son propriétaire, même si l'étude historique (Ruf et Nuñez, 1991) montre que les dotations ont presque systématiquement augmenté depuis l'inscription de 1945, notamment par le biais de surinscriptions illégales.

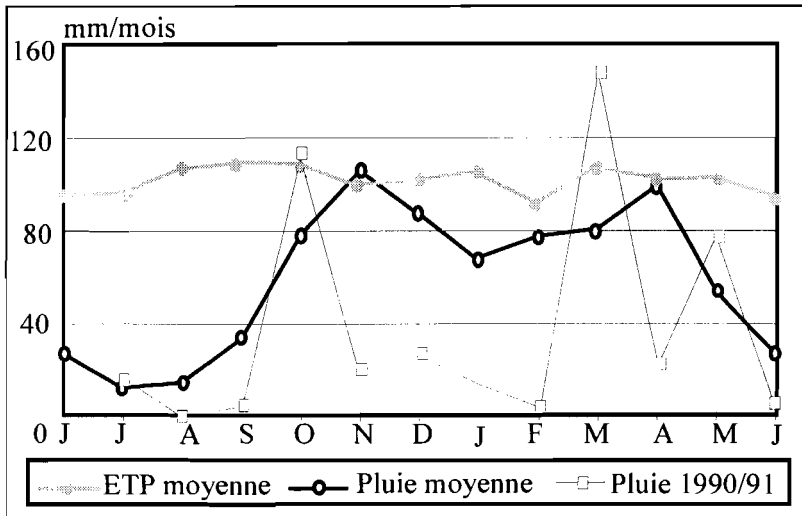


Figure 2 — Climat à Urcuqui (d'après Le Goulven et Alemán, 1992).

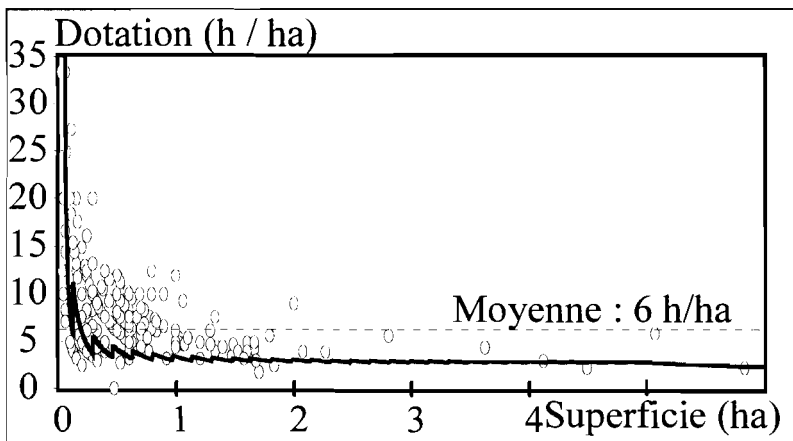


Figure 3 — Relation entre la dotation des parcelles et leur superficie.

Chaque point représente une parcelle. La ligne pleine représente la dotation théorique d'une parcelle, compte tenu des règles théoriques d'allocation (3 h/ha, par demi-heures, avec un maximum de 15 heures).

On peut calculer la durée des tours d'eau comme la somme de tous les droits d'eau (21 jours pour servir les 1 040 heures, avec 10 heures d'arrosage par jour et par secteur), augmentée de la durée des interruptions pour servir les autres usagers du canal (trois jours toutes les deux semaines, soit en moyenne quatre jours par tour). La durée théorique des tours d'eau en l'absence d'interruptions de fonctionnement du canal et si tous les usagers sont servis est donc de 25 jours environ.

Dans le cadre des règles actuelles, les parcelles peuvent donc théoriquement recevoir une dose moyenne de 110 mm tous les 25 jours. Ce calendrier théorique suggère deux remarques : 1) la dose moyenne est plus forte que la réserve utile des cultures annuelles (50 mm), et laisse supposer des excès d'eau lors des arrosages ; 2) l'écart théorique entre deux arrosages dépasse largement les 14 jours qui suffisent à vider la réserve utile aux périodes de forts besoins des cultures. Les irrigations ne suffiront pas à satisfaire ces besoins. De plus la longueur des tours d'eau est *a priori* variable : éventuellement allongée par les interruptions de fonctionnement, elle peut aussi être raccourcie par les désistements. *A fortiori*, l'écart entre deux arrosages pour une parcelle ne peut pas être connu à l'avance, puisqu'il est soumis à la durée des tours d'eau, mais aussi à la décision de l'utilisateur d'arroser ou non pendant une rotation, d'avancer ou de retarder un arrosage.

### *Dispositif de suivi et de calcul*

Pour évaluer la satisfaction des besoins en eau des cultures, il faut connaître les actes d'arrosage réels. Pour resituer ceux-ci dans le cadre du tour d'eau et par rapport à une décision agricole, il est indispensable de connaître tous les arrosages de toutes les parcelles, sur une saison agricole (par exemple, pour savoir si un écart important entre deux arrosages est dû à une interruption de fonctionnement, à un désistement, ou simplement au fonctionnement normal du tour). Trois suivis ont donc été menés, des premiers semis du maïs aux dernières récoltes du haricot (du 01/06/90 au 12/06/91) : 1) suivi des cultures en place ; 2) suivi des arrosages (parcelles servies chaque jour, durée de chaque arrosage, par l'intermédiaire de l'aigadier) ; 3) suivi des débits par réglettes limnimétriques lues trois fois par jour et étalonnées plusieurs fois au cours de la saison. Il faut noter que ces données s'acquièrent relativement facilement, dans le cadre du travail quotidien de l'aigadier (arrosages et cultures), ou peuvent être menés par des écoliers locaux (débits), sous réserve de quelques contrôles.

Après avoir évalué les déficits hydriques à la parcelle par simulation du bilan hydrique (par un modèle classique à réservoir, avec un pas de temps journalier), on a cherché à déterminer l'origine de chaque déficit hydrique. Les déficits hydriques peuvent en effet avoir des origines variées : ils peuvent être dus aux décisions des agriculteurs, au fonctionnement hydraulique des infrastructures, ou aux règles de la distribution elles-mêmes. Nous avons élaboré une méthode d'analyse nouvelle qui permet de quantifier chaque part d'explication : elle est intégrée dans un logiciel appelé Tourdo, présenté par ailleurs (Gilot, 1994 ; Gilot, 1997)<sup>1</sup>. Les causes possibles de déficits hydriques retenues sont : désistements, avance ou report d'arrosage (effets de décisions tactiques individuelles), dotation faible (effet de décisions stratégiques individuelles), débits reçus faibles (effets du fonctionnement hydraulique), longueur des tours d'eau (effets des règles de la distribution), retards dus aux interruptions du canal.

On interprète cette dernière cause possible comme une décision collective. Quand le service s'interrompt à la suite d'une rupture accidentelle du canal, on peut parler de décision collective stratégique, puisque le choix de payer l'eau peu cher a conduit à la mise en place d'ouvrages fragiles. Quand tous les ayant-droit consultés décident de se désister, on choisit d'interrompre les tours d'eau jusqu'à ce que suffisamment d'usagers fassent la demande (décision tactique qui évite des surcharges du canal, dangereuses puisque le canal est fragile). De même, le choix de la date de l'interruption annuelle pour le curage du canal se fait collectivement. La durée du curage est potentiellement de quelques jours seulement, et dépend de la volonté des usagers de disposer rapidement de l'eau.

Les données de sortie du modèle sont : pourcentage de satisfaction des besoins en eau de la culture en place (Evapotranspiration réelle/Evapotranspiration maximale : ETR/ETM), déficit hydrique ou stress hydrique ( $1 - \text{ETR/ETM}$ ) et pourcentage du stress expliqué par chaque cause possible. Ces données sont regroupées pour chaque parcelle pour le cycle entier, à l'exclusion du stade de maturation, qui n'est pas considéré (le sevrage en eau à ce stade permet un bon séchage du grain). Le stade de floraison mâle est présenté en plus, de façon séparée : il représente la période critique au cours de laquelle une mauvaise alimentation en eau a le plus de conséquences sur le rendement en grains (Rouanet, 1982). Ces données obtenues pour chaque champ sont ensuite regroupées pour représenter le périmètre entier ou des groupes de parcelles.

---

<sup>1</sup> La version actuelle de ce logiciel permet l'interprétation des actes d'arrosage observés, et non la simulation de la prise de décision elle-même.

## *Simulations particulières*

L'année d'étude est caractérisée par une sécheresse importante au cours des mois habituellement pluvieux (novembre à février). Une telle sécheresse a une fréquence théorique de retour de 50 ans (d'après Le Goulven et Alemán, 1992). Nous avons évalué les conséquences d'une situation pluviométrique plus « habituelle » en substituant aux pluies réelles des mois de novembre à février celles mesurées pour les mêmes mois durant la saison 1988-1989. La pluviométrie fictive obtenue (légèrement plus pluvieuse que la moyenne) a une fréquence de retour d'environ une année sur trois (d'après Le Goulven et Alemán, 1992). Pour une parcelle, la différence entre les résultats de cette simulation et ceux de la simulation pour les pluies réelles montrera quelle part du déficit hydrique est imputable à la sécheresse elle-même.

Enfin, pour tester l'influence globale des désistements, nous avons fait tourner le modèle Tourdo pour des rotations fictives, calculées selon les règles de la distribution (droit d'eau et rang dans le tour) et avec les emblavements et débits réels, mais dans lesquelles aucun usager ne se désiste alors qu'une culture est pratiquée.

## *Analyse de données*

La typologie des parcelles est réalisée par classification automatique, par l'intermédiaire du logiciel MacDendro (Thioulouse, 1993), sur le critère des moments d'ordre 2 (Roux, 1985). Les liens entre les groupes obtenus ont été décrits par une analyse en composantes principale normée (ACP), à l'aide du logiciel ADE (Chessel et Doledec, 1993). Les données de base sont les pratiques culturales (dates de semis et arrosages pratiqués) et les paramètres de satisfaction des besoins en eau des cultures (déficits hydriques et leurs raisons, pour les deux scénarios climatiques). Les corrélations entre variables sont testées par régression linéaire, le seuil de signification choisi est 5 %. Enfin, la corrélation entre l'ordre théorique des parcelles (cadastre) et l'ordre réel a été testée par l'analyse du coefficient de corrélation sur rangs de Spearman (Spearman, 1904).



## **Résultats**

### *Déroulement de la distribution*

Les règles sont globalement très bien respectées. L'ordre de service des parcelles est en accord avec l'ordre théorique ( $p < 0,01$ ), les droits d'eau sont



respectés. Les visites de terrain montrent que les irrigations non gérées par l'aigadier (vols d'eau, utilisation d'un droit d'eau d'une parcelle abusivement sur une autre parcelle) sont rares. En revanche, la dose reçue à la parcelle est souvent inférieure à la dose théorique. En effet, le débit moyen capté est inférieur à la concession (183 l/s mesurés contre 200 l/s concédés), et les débits servis sont variables au cours de la saison, mais plus encore d'un jour à l'autre et au cours de la journée (Gilot 1994).

Le service de tous les usagers (usagers normaux, caciques et terceros) ne prend en moyenne que 19 jours au lieu des 25 jours théoriques. Même si de nombreuses interruptions de fonctionnement les allongent, les rotations restent en moyenne bien plus courtes que prévu (21 jours). En effet, les taux de service (droits servis / tot. des droits) sont faibles (fig. 4). Même quand une culture est pratiquée, de nombreux usagers « passent leur tour » (exemple en fig. 5). Durant le cycle du maïs, le tour d'une parcelle revient sept fois en moyenne pour l'année d'étude. Cinq seulement sont utilisés. Les désistements se produisent tout au long de la saison. Ils sont plus rares en début de cycle, et plus nombreux au début de la saison des pluies (qui a été interrompue brutalement cette année).

### *Satisfaction des besoins hydriques des plantes et effet de la sécheresse*

Nous ne discuterons que du cas de la culture du maïs, la plus importante à Urcuqui. Les résultats résumés pour l'ensemble du périmètre sont présentés dans le tableau 1. La figure 5 montre un exemple de résultat individuel.

La satisfaction des besoins en eau pour l'ensemble du cycle cultural est faible :  $ETR/ETM = 84\%$ . Les déficits hydriques sont particulièrement marqués à la période de floraison ( $ETR/ETM = 78\%$ ). On peut donc prévoir des rendements très affectés par le manque d'eau au champ.

La distribution des déficits selon leur origine est *a priori* surprenante, elle est la même pour l'ensemble du cycle que pour la phase de floraison. La durée totale des tours d'eau (service des usagers normaux, caciques et terceros) n'explique que 25 % des déficits hydriques. La majorité des déficits hydriques (60 %) dépendent des décisions des usagers : les désistements, avances et retards d'arrosage et les interruptions de fonctionnement expliquent respectivement 45 % et 15 % des déficits. Enfin, bien que le risque de recevoir un débit plus faible que prévu soit élevé à chaque arrosage, la réception de doses insuffisantes n'explique que 5 % des déficits hydriques en moyenne.

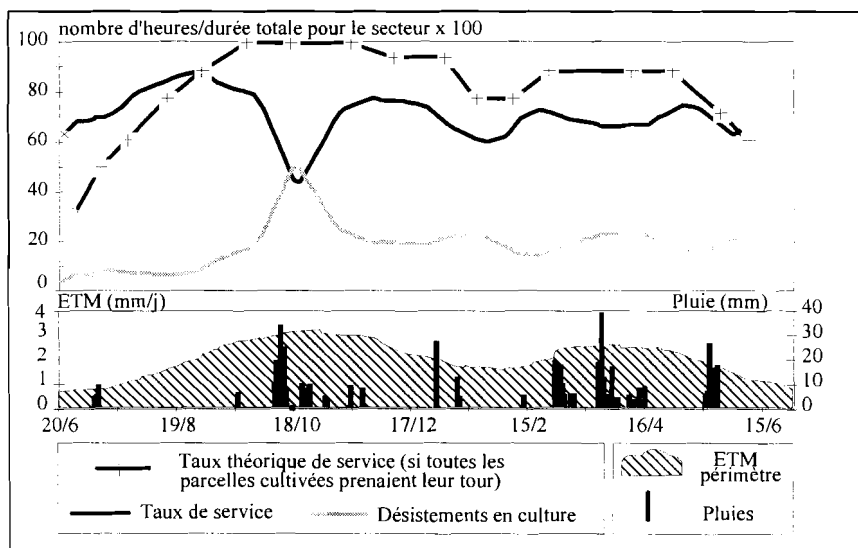


Figure 4 — Evolution des taux de service (pourcentage des droits servis par rapport aux droits totaux) théoriques (chaque parcelle cultivée est servie) et réels, et des taux de désistement en culture, durant la période d'étude. On représente aussi chaque pluie, et la demande globale des cultures du périmètre.

Tableau 1  
Déficits hydriques et leurs causes : comparaison entre les situations pluviométriques réelle et « habituelle »

Période	Situation pluviométrique	Satisfaction des besoins en eau (ETR / ETM)	Part des déficits hydriques dus aux décisions de non-arrosage	Part des déficits hydriques dus aux règles de la distribution (service de tous les ayant-droit)
Cycle global	Pluie réelle	84 %	60 %	26 %
	Pluie « habituelle »	95 %	19 %	33 %
Floraison	Pluie réelle	78 %	57 %	27 %
	Pluie « habituelle »	94 %	28 %	41 %

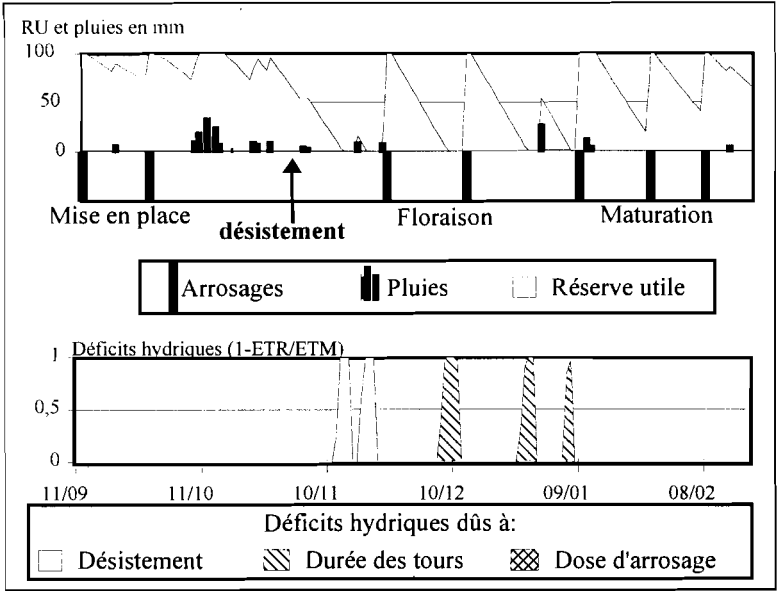


Figure 5 — Résultats du bilan hydrique sur la parcelle A75a.

Sur le graphique supérieur sont représentés les arrosages, les pluies et l'évolution de la réserve utile. Une flèche indique la date où aurait dû avoir lieu un arrosage, pour lequel l'utilisateur s'est désisté. On se trouve à une période habituellement pluvieuse, mais particulièrement sèche lors de l'année d'étude (fig. 2). On peut penser que la décision de ne pas arroser a été prise dans l'attente des pluies, qui n'ont pas eu lieu cette année. A partir de la date du désistement, les pluies attendues ne viennent pas, la réserve utile décroît et des déficits hydriques apparaissent (graphique du bas). Ces déficits hydriques sont exclusivement dus au fait que l'utilisateur s'est désisté : ils ne seraient pas apparus si l'arrosage avait été réalisé. Par la suite, tous les arrosages sont réalisés, mais des déficits hydriques continuent d'apparaître : ils sont alors dus exclusivement à la trop grande durée des tours d'eau.

Le bilan est défavorable : des déficits hydriques sensibles pour tout le cycle ( $ETR/ETM = 83\%$ ), notamment au stade critique de la floraison ( $ETR/ETM_{\text{floraison}} = 86\%$ ).

Les déficits hydriques auraient été moindres en présence d'une pluie « habituelle », mais surtout, leur explication aurait été l'inverse de ce qu'on a décrit pour la pluviométrie réelle : premièrement l'influence relative des désistements et interruptions de fonctionnement du canal aurait été largement moindre et deuxièmement l'influence relative de la durée des tours d'eau aurait été plus forte (tabl. 1).

### Variabilité des stratégies et des résultats

Les résultats moyens présentés ci-dessus occultent une grande variété de comportements. L'écart inter-quartile pour la variable  $ETR/ETM$  (en % sur le

cycle complet) est de 12. Deux parcelles ont une ETR/ETM égale à 100 % ; quatre dépassent 40 % de déficit.

Les deux premiers axes de l'ACP prennent en compte une inertie de 5,4 sur un total de 14 (soit 39 %). Le cercle des corrélations sur ces deux axes (fig. 6B) montre deux groupes indépendants de variables (faisceaux presque perpendiculaires) :

- celles qui relatent les déficits « réels » (global et à la floraison) et dans une moindre mesure les décisions en cours de cycle (désistements) ;
- celles qui relatent les déficits « habituels » (global et à la floraison) et les choix en début de cycle (date de semis).

Les autres axes rendent compte de corrélations ponctuelles difficilement exploitables.

La typologie fait apparaître cinq groupes de parcelles (fig. 6A, 6C et 7), et montre l'opposition entre parcelles sur lesquelles la sécheresse a eu une forte influence (déficits hydriques plus forts avec la pluie réelle qu'avec la pluie « habituelle ») et parcelles dont les résultats sont les mêmes dans les deux scénarios. Les premières sont caractérisées par des semis tardifs (octobre, avec récolte en avril-mai) et des désistements nombreux : le cycle est calé sur la saison des pluies et demande *a priori* moins d'apports d'eau. Les résultats sont bons dans le cas des pluies « habituelles », mauvais dans le cas des pluies réelles (jusqu'à l'échec de la culture dans certains cas). Les secondes ont un semis précoce (à partir de juin) et peu de désistements : leurs résultats sont peu affectés par la sécheresse (meilleurs que ceux des premières dans le cas des pluies réelles, moins bons dans le cas des pluies « habituelles »).

Les régressions linéaires montrent de fortes relations entre superficie de la parcelle, stratégies et résultats (seuil de 5 %). Schématiquement, les petites parcelles sont plus souvent emblavées en maïs sans haricot de succession (intensification faible). Elles ont un semis d'autant plus tardif et des désistements d'autant plus fréquents que la parcelle est plus petite. Finalement, les déficits hydriques sont d'autant plus forts avec la pluie réelle et d'autant plus sensibles à la sécheresse que la parcelle est plus petite (fig. 8).

En revanche les relations entre dotation de la parcelle, stratégies et résultats sont bien moins nettes, bien que la dotation soit fortement liée à la taille de la parcelle (données non présentées). Seules les parcelles très peu dotées (souvent, les plus grosses parcelles) montrent une proportion plus forte de prairie. On constate aussi qu'elles souffrent plus que les autres de doses trop faibles, même si, le plus souvent, ce manque est dû à la faiblesse du débit d'arrosage réel, et non pas à l'insuffisance de la dotation : fournir un débit conforme aux prévisions supprimerait ce problème.

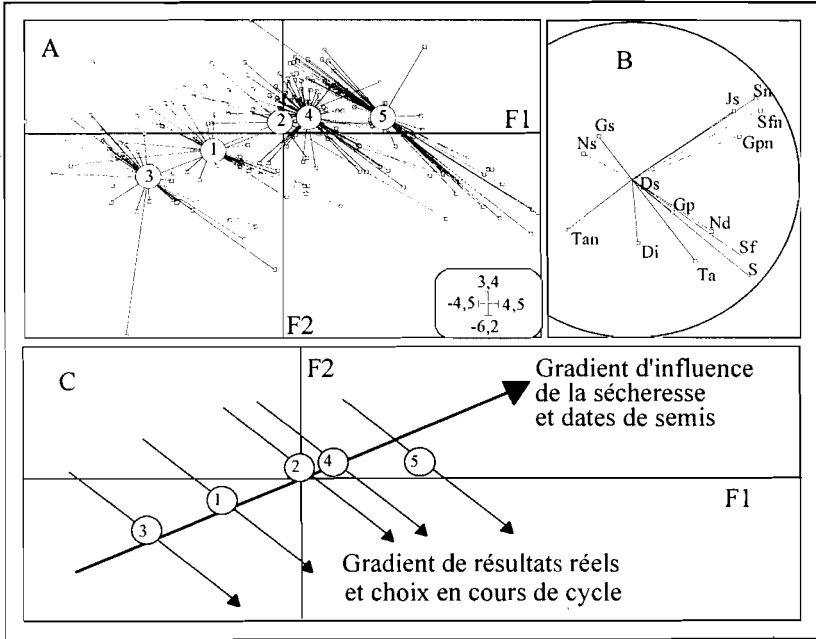


Figure 6 — Typologie des parcelles de maïs sur les deux premiers axes factoriels (F1 et F2) de l'ACP (graphe A), cercle de corrélation pour ces axes (B), schéma d'interprétation (C).

Dans le graphe A, les points représentant une parcelle sont reliés au centre de gravité du groupe dont elle fait partie. Dans le graphe B les variables sont les suivantes : Js, date de semis ; Sn, différence relative entre les stress hydriques dans le cas des pluies « habituelles » et dans le cas de l'année réelle ; Sfn, Sn pour le cas du stade floraison pris isolément ; Gp, gains dus aux pluies l'année d'étude ; Gpn, gains dus aux pluies en année « habituelle » ; S, stress hydrique « réel » ; Sf, stress « réel » à la floraison ; Nd, nombre de désistements ; Ta, déficit moyen occasionné par chaque désistement ; Tan, déficit moyen occasionné par chaque désistement dans le cas de l'année « habituelle » ; Ns, nombre d'arrosages non prévus dans le tour normal (surnuméraires) ; Gs, gains moyens par irrigation surnuméraire ; Ds, part du stress expliqué par une dose trop faible (faible dotation ou durée d'arrosage inférieure au droit d'eau) ; Di, part du stress expliqué par une dose trop faible (débit reçu faible).

### *Influence globale des désistements*

Les parcelles qui n'ont pas pratiqué de désistement durant la période d'étude auraient eu des déficits hydriques plus forts si aucun usager ne s'était désisté par ailleurs, alors que les parcelles qui se sont désistées souffrent de déficits hydriques plus forts dans la réalité que dans le tour simulé sans désistements (tabl. 2). Pour toutes les parcelles prises conjointement, les déficits hydriques sur tout le cycle auraient été globalement moindres si aucun usager ne s'était

désisté (12 % contre 16 %). La différence est encore plus marquée pour le stade de floraison pris isolément (14 % contre 22 %).

Tableau 2

Comparaison des déficits hydriques sur le maïs pour le tour d'eau réel et le tour d'eau simulé sans désistements quand une culture est cultivée (les chiffres entre parenthèse indiquent les déficits du stade de floraison)

Simulation	Toutes parcelles	Parcelles ne s'étant pas désistées	Parcelles s'étant désistées
Normale (arrosages réels)	16 % (22 %)	11 % (14 %)	18 % (24 %)
Sans désistement	12 % (14 %)	13 % (15 %)	12 % (14 %)

## Discussion

### *Collecte et interprétation des données*

La valeur des données d'arrosage utilisées dépend de la conformité du rapport de l'aigadier avec la réalité. A Urcuqui on peut penser que ce rapport reproduit correctement la réalité : 1) il est extrêmement cohérent (ordre des parcelles, nombre d'heures servies par jour) ; 2) nous n'avons que rarement observé d'arrosages informels au cours de nos visites sur le terrain, et toujours pour de très faibles volumes ; 3) les parcelles où l'arrosage officiel reprend après de nombreux désistements sont très rares : on a soit arrosage formel, soit échec de la culture et abandon définitif des arrosages.

Par ailleurs, la validation du modèle et des tests de sensibilité ont été menés dans le cas d'Urcuqui. Seules les erreurs sur l'estimation de l'ETP peuvent altérer sensiblement les résultats de simulation. Une marge d'erreur systématique de +10 % sur ce paramètre entraîne une marge d'erreur de -5 % sur l'évaluation du rapport ETR/ETM, et de +15 % sur les déficits hydriques dus à la longueur des tours d'eau, mais n'affecte pas le stress expliqué par les désistements (Gilot, 1994 ; Gilot, sous presse).

### *Interprétation et conséquences des pratiques d'arrosage*

L'étude des stratégies et des résultats moyens montre que les pratiques sont globalement extensives : les désistements sont nombreux même lorsqu'une culture est pratiquée ; les semis sont très souvent proches de ceux des cultures pluviales.

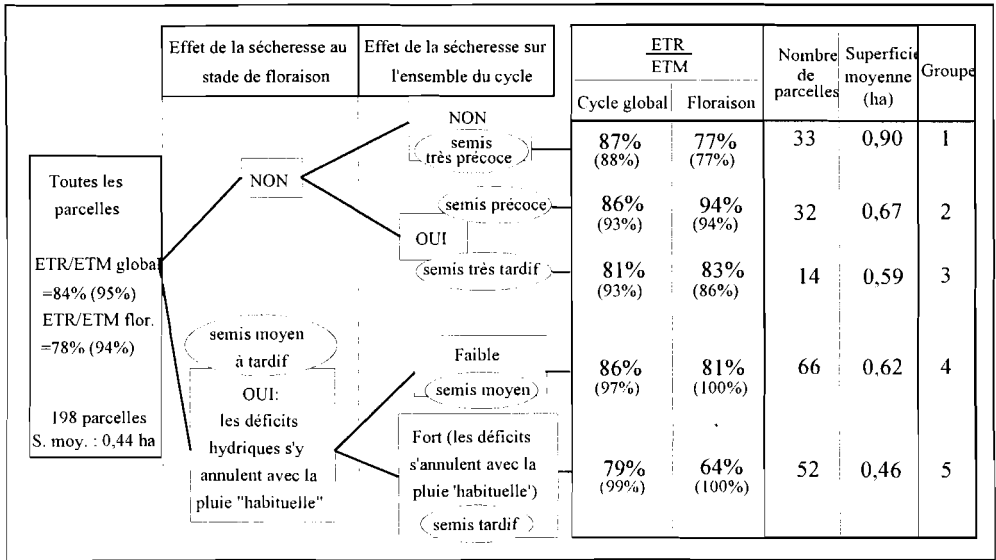


Figure 7 — Résultats de la typologie des stratégies culturales et d'arrosage et des satisfactions des besoins en eau des parcelles de maïs. On présente aussi les principales caractéristiques moyennes des différents groupes (les chiffres entre parenthèse indiquent les résultats pour les pluies « habituelles »).

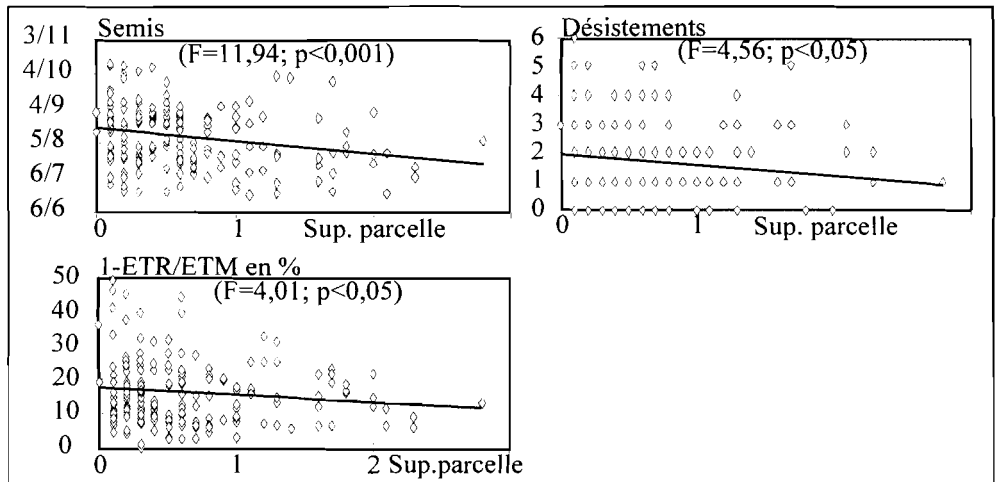


Figure 8 — Relations entre date de semis, nombre de désistements, déficits hydriques sur le cycle, et superficie de la parcelle.

On peut interpréter les désistements comme des paris sur la pluie à venir, qui permettent à l'exploitant de faire l'économie de l'arrosage. En effet, chaque irrigation mobilise une main d'oeuvre nombreuse dont le coût est important, et peut entrer en concurrence avec des activités extra-agricoles ou agricole en culture pluviale. Le caractère exceptionnellement sec de l'année d'étude a mené à l'échec de ce type de pari : on a montré que, dans le cas d'une pluviométrie plus « habituelle », les désistements n'auraient eu que très peu de conséquences, et que les parcelles cultivées de la façon la plus extensive sont aussi les plus touchées par la sécheresse. Si certains désistements semblent plus faire partie d'une stratégie que d'une adaptation à la situation en cours (beaucoup des désistements en début de période pluvieuse par exemple), il est très difficile de les resituer tous de cette façon. On est donc amené à étudier en bloc les désistements « tactiques » et les désistements « stratégiques ».

Les désistements sont d'autant plus abondants que les parcelles sont petites et donc d'autant plus que les exploitations sont plus petites (la taille des parcelles reflète significativement celle de l'exploitation). Deux hypothèses explicatives principales peuvent être proposées ; la première : le coût de l'arrosage par hectare est plus fort pour les petites exploitations que pour les grandes, puisque pour une heure d'arrosage, on mobilise autant de main-d'oeuvre que pour dix (les travailleurs sont embauchés à la journée uniquement)<sup>2</sup> ; la deuxième : les exploitants des petites parcelles ne peuvent tirer un revenu suffisant des assolements maïs précocé suivi de haricot. Ils ne peuvent pas intensifier plus puisque les rotations sont trop longues. Ils ne peuvent pas non plus augmenter la surface de leur exploitation puisqu'aucune terre n'est disponible<sup>3</sup>. Ils sont contraints à des activités extra-irriguées, qui limitent à leur tour leurs possibilités d'intervention dans la parcelle.

Les exploitants de petites parcelles cherchent donc à limiter les coûts de production, en comptant plus sur la pluie que sur les arrosages, au risque de devoir se contenter d'une récolte médiocre durant les années sèches. Dans tous les cas, ce risque est moindre pour les semis tardifs, qui utilisent mieux la saison des pluies : les petites parcelles manifestent une tendance à la production extensive d'autosubsistance, les liquidités familiales étant obtenues par le travail extérieur. On aboutit à des stratégies extensives, et à une

---

<sup>2</sup> Le prix payé pour l'eau elle-même n'a que peu d'influence : il s'agit d'un forfait à l'année, indépendant des arrosages réels, dont le montant, presque symbolique, n'est fonction que du droit d'eau.

<sup>3</sup> De plus, l'objectif d'assurer la sécurité alimentaire familiale ne permet pas que les petites parcelles soient exploitées en groupe par un métayer. L'individualisme qui règne à Urcuqui ne crée pas non plus une ambiance propice au regroupement des exploitations.



sous-consommation de l'eau. Réciproquement, disposer d'une parcelle suffisamment grande rend plus facile et plus viable la pratique d'une agriculture plus intensive. Celle-ci est d'autant plus intéressante que les tours d'eau sont fortement raccourcis du fait des désistements des usagers « extensifs », et que le risque d'attendre l'arrosage trop longtemps à une période peu pluvieuse (début de cycle) est réduit (fig. 4). Le bilan est cependant négatif : seuls 30 % des usagers se permettent une intensification relative. Le gain de plus-value qu'ils réalisent reste inférieur au manque à gagner collectif des autres usagers.

Les effets des stratégies extensives des petites parcelles (les plus nombreuses et donc les plus représentées dans l'assemblée générale) se manifestent aussi sur le long terme. Le choix de payer l'eau peu cher conduit à construire des infrastructures fragiles. Les interruptions de fonctionnement qui en découlent (soit par rupture réelle, soit par prévention) allongent sensiblement les tours d'eau. Elles peuvent induire des stress importants puisqu'une pluie forte sur le bassin versant, qui induit une surcharge du canal et donc des risques de rupture ne se répercute pas toujours sur les terres irriguées. De façon moins apparente, les infrastructures rustiques autorisent une grande variation des débits fournis aux parcelles, et donc des doses reçues, qui peuvent être insuffisantes lorsque la dotation n'est pas très supérieure au minimum théorique de 3 h/ha. C'est un des facteurs qui expliquent que beaucoup d'usagers aient choisi des dotations très fortes. Enfin, le désir de pouvoir arroser à moindre coût explique aussi ces surinscriptions. Une forte dotation diminue le coût des arrosages puisqu'on peut se permettre une moins bonne efficacité, en réduisant le nombre de personnes travaillant sur la parcelle. Les efforts consentis pour l'acquisition d'une dotation forte sont donc rémunérés par une réduction des risques de recevoir une dose insuffisante et une diminution des coûts d'arrosage.

Finalement, les stratégies extensives ont induit sur le long terme des règles de distribution qui ne permettent pas de réelle intensification (maraîchage par exemple, qui attire pourtant de nombreux agriculteurs d'Urcuqui), et qui limitent fortement les possibilités de rattraper les conséquences des paris malheureux sur la pluie à venir. Sur le court terme par contre, les agriculteurs adoptent alors des stratégies basées sur l'ensemble de leur système de production, ou, mieux, de leur système d'activités (Bory et Paul, 1993). A Urcuqui, la plupart mettent en place des pratiques extensives d'arrosage qui augmentent la disponibilité globale de l'eau, et sont le garant de la (relative) réussite des stratégies intensives des autres.

Du point de vue du gestionnaire de projet, le fonctionnement actuel est loin d'être satisfaisant. Malgré une concession suffisante, les règles de la

distribution ne permettent pas d'obtenir la sécurité de l'alimentation des cultures : des déficits sévères apparaissent nécessairement lors des années sèches. De plus, même avec les règles de distribution actuelles, la satisfaction des besoins hydriques des cultures pourrait être bien meilleure si les usagers ne se désistaient pas (tabl. 2). Enfin, les excès d'eau sont très importants, et s'ajoutent aux pertes nécessaires lors de l'application (Gilot, 1994 ; Gilot *et al.*, 1997). Du point de vue des usagers, le tour d'eau actuel n'est pas non plus satisfaisant, puisque l'eau devrait, selon eux, revenir tous les 15 jours. Les règles actuelles de la distribution s'expliquent cependant par le choix que font les usagers de réduire les coûts d'arrosage.



## Conclusion

Le fait de disposer d'un réseau d'irrigation n'exclut pas des stratégies de pari sur la pluie de la part de nombreux usagers, qui peuvent se solder par la mise en échec des cultures, comme à Urcuqui dans le cas de l'année d'étude. La réalité de la distribution de l'eau peut s'éloigner de façon significative des prédictions qu'on peut en faire. Les trois constituants d'un système d'irrigation (infrastructures, règles de la distribution, et usagers) sont en constante interaction, et le système lui-même interagit avec le contexte socio-économique local. A Urcuqui, on a mis en évidence des facteurs limitants internes au système (accès à l'eau : variabilité des débits servis et durée des rotations), et d'autres qui dépendent du contexte local : accès à la terre et à la main d'oeuvre. Le désintérêt de la majorité des usagers vis-à-vis de l'agriculture irriguée intensive qui en découle débouche à son tour sur le long terme sur un système d'irrigation inadapté à l'intensification. Sur le court terme, il est le garant de la relative réussite de la minorité d'agriculteurs qui recherchent une agriculture intensive. Le système actuel ne peut supporter qu'une intensification relative, et seulement dans la mesure où elle n'est pas généralisée.

La méthode utilisée à Urcuqui est applicable dans de nombreux contextes. Son inconvénient principal n'est pas le coût de l'acquisition des données (relativement réduit en réalité), mais le temps requis, puisqu'il faut mener le suivi pendant une année entière. Cet inconvénient est cependant mineur puisque la méthode aboutit à des propositions touchant la collectivité dans son ensemble, et des plans d'action sur plusieurs années.

## Références bibliographiques

- BORY A., PAUL J-L., 1993 –  
Approche systémique et fonctionnement de l'exploitation agricole : questions théoriques et méthodologiques pour une mise en oeuvre dans la zone Caraïbe. In : Navarro Garza H. et al. (éd.) : *Sistemas de producción y desarrollo agrícola*. Mexico, Orstom-Conacyt-CP, pp. 199-205.
- CHESEL D., DOLEDEC S. 1993 –  
*ADE version 3.6 : hypercard stacks and programme library for the analysis of environmental data*. User's manual. Villeurbanne, URA-CNRS 1451, Univ. Lyon I, 750 pages.
- GILOT L. 1994 –  
*L'eau des livres et l'eau des champs. Des règles de la distribution à leur mise en pratique. Principes généraux et étude du cas d'Urcuqui*. Thèse de Doctorat en Sciences agronomiques. Montpellier, Orstom-Ensam, 355 pages.
- GILOT L., 1997 –  
Evaluating water delivery in tertiary units. Part 1 : methodology. *Agric. Water Manage*, 32 : 147-162.
- Gilot L., Ruf T., 1997 –  
*Théorie et pratique de la distribution de l'eau en zone irriguée*. Montpellier, Engref, Coll. Tech. & Doc.
- GILOT L., CALVEZ R.,  
LE GOULVEN P., RUF T., sous presse –  
Evaluating water delivery in tertiary units. Part 2 : a case study, Urcuqui, a farmermanaged irrigation system in the Andes. *Agric. Water Manage*.
- LE GOULVEN P., ALEMAN M. 1992 –  
Régionalisation climatique (pluies et ETP) dans les Andes équatoriennes. VIIIèmes journées hydrologiques «Régionalisation en hydrologie. Application au développement». Orstom, Montpellier, 22-23/09/92, 16 pages.
- ROUANET G. 1982 –  
*Le maïs*. Paris, Maisonneuve et Larose, Coll. *Le technicien de l'agronomie tropicale*, 142 pages.
- ROUX M. 1985 –  
*Algorithmes de classification*. Paris, Masson, 144 pages.
- RUF T., NUÑEZ P. 1991 –  
Enfoque histórico del riego tradicional en los Andes ecuatorianos. *Memoria (Marka, Quito)*, 2 : 185-282.
- RUF T., PROAÑO M., CARRION Y. 1994 –  
*Définition des étages agroclimatiques et des modèles de production*. Quito, Inerhi, Coll. *Irri-gation traditionnelle dans les Andes d'Equateur*, série E1, vol. Mira, 184 pages.
- SPEARMAN C. 1905 –  
The proof and measurement of association between two things. *Am. J. Psy.*, 15 : 72-107.
- THIOULOUSE J. 1993 –  
*MacDendro cluster analysis. User's manual*. Villeurbanne, URA-CNRS 243, Université Lyon I.



# Diagnostic sur les systèmes de riziculture irriguée dans la moyenne vallée aval du fleuve Sénégal

Jean-Christophe Poussin

## Introduction

Dans la vallée du Sénégal, la création d'aménagements hydro-agricoles associée à la régulation du débit du fleuve a permis le développement de l'agriculture irriguée. Avec des rendements potentiels de 8 à 12 tonnes/hectare et la possibilité de réaliser deux récoltes par an, la riziculture irriguée figure en bonne place dans la stratégie d'autosuffisance alimentaire des pays riverains, et constitue actuellement la principale culture pour les paysans de la vallée.

Malheureusement, les performances de la riziculture restent en deçà des espérances : les rendements, en moyenne inférieurs à 5 t/ha, sont variables et instables, et la double riziculture est loin d'être systématique. Les coûts de production, par contre, correspondent à ceux d'une culture intensive, et demeurent élevés (l'équivalent de 2,5 à 4 tonnes de paddy par hectare) du fait de l'irrigation par pompage, de l'utilisation d'engrais et d'herbicides, et du recours assez généralisé à la motorisation pour le travail du sol ou, moins fréquemment, la récolte. La dévaluation du franc CFA, même si elle atténue la concurrence entre la production locale et les importations, ne peut qu'aggraver ce constat puisque la presque totalité des intrants agricoles est importée.

Ce constat d'échec, au moins partiel, de la riziculture irriguée dans la vallée du fleuve n'est pas nouveau. Les analyses de l'élaboration des rendements rizicoles effectuées par le passé (Bonfond *et al.*, 1981 ; Jamin & Caneill, 1983) ont permis d'identifier les principales contraintes agronomiques, toutes liées au manque de maîtrise technique : irrigation, enherbement, fertilisation,

etc. Depuis, la Saed, société d'état chargée du développement et de l'encadrement de la riziculture sur le fleuve, s'est progressivement « désengagée », et actuellement tous les périmètres irrigués ont une gestion paysanne.

Au travers d'une étude réalisée dans une micro-région (zone de Nianga - Podor) située en moyenne vallée aval du fleuve Sénégal, nous nous proposons de caractériser les divers systèmes de riziculture irriguée présents, en vérifiant l'actualité du diagnostic agronomique émis dans le passé. Cette caractérisation a pour objectif de révéler les contraintes, et leurs interactions, qui pèsent sur le fonctionnement de ces systèmes de culture, à différentes échelles : parcelle, aménagement, filière de production. Nous discuterons alors des possibilités d'améliorer les performances de ces systèmes de cultures.

## ■ Critères de distinction des systèmes de riziculture irriguée

La riziculture irriguée sur le fleuve Sénégal est fortement influencée par une organisation structurelle des surfaces cultivées et une organisation sociale des producteurs (Baretteau, 1994 ; Le Gal, 1995). En effet, les parcelles héritent de propriétés hydrauliques liées à l'aménagement hydro-agricole dont elles font partie, et les paysans qui les cultivent sont regroupés en organisation paysanne (OP) non seulement pour la gestion de l'aménagement, mais aussi pour celle des intrants agricoles et de la mécanisation des travaux.

Ceci conduit à distinguer *a priori* les systèmes de riziculture irriguée selon les critères suivants :

- le type d'aménagement, qui tient compte non seulement de ses propriétés hydrauliques mais aussi de son mode de gestion par les OP ;
- la saison et l'intensité culturales ;
- les techniques culturales.

### *Types d'aménagement*

On distingue les aménagements selon leur taille, leur degré de maîtrise de l'eau, et leur mode de gestion (tabl. 1).

- Les « grands aménagements » de plusieurs centaines au millier d'hectares, disposent d'un réseau hydraulique complet (irrigateurs et drains) alimenté par une station de pompage de grosse dimension. Ils sont gérés chacun par plusieurs OP, structurées selon leurs fonctions (gestion du tour d'eau, de la

mécanisation des travaux, de la station de pompage, du crédit...) et hiérarchisées selon leur échelle d'intervention (maille hydraulique, périmètre, village). A l'inverse du delta, ce type d'aménagement est faiblement représenté dans la zone étudiée.

– Les « petits aménagements », d'une surface inférieure à 50 ha, sont plus sommaires (absence de drains) et ne sont gérés chacun que par une seule OP. Ils sont exploités par des paysans issus du même village (périmètres irrigués villageois, noté PIV), voire du même groupe familial (périmètre irrigué privé, noté PIP). A l'intérieur des PIV, deux familles d'aménagements sont particulières : les PIV FED et les IT. Les premiers font partie d'un projet, financé par le Fond européen de développement (FED), préconisant la traction bovine pour la réalisation des travaux de préparation du sol. Les seconds, issus d'un projet italien, permettent l'irrigation des parcelles par siphonage depuis un canal surélevé, et ne nécessitent pas de tour d'eau entre parcelles.

Tableau 1  
Les aménagements du département de Podor

	Grands aménagements	Petits aménagements				
		Total	PIV	PIV FED	IT	PIP
Nombre d'aménagements	7	565	280	40	10	235
Nombre d'OP	72	567	280	40	10	237
Surface exploitable en 1994 (ha)	3905	11 395	7 115	1 048	500	2 732
Nombre de paysans attributaires	6411	47 991	33 002	4 822	500	9 667

Sources : base de données Saed

### Saisons et intensité culturales

On distingue trois saisons culturales : la saison sèche chaude (ou contre-saison chaude, notée CSC), de février à juin-juillet, l'hivernage (HIV), de juillet à novembre-décembre, et saison sèche fraîche (ou contre-saison fraîche, notée CSF), d'octobre à avril-mai. Le riz constitue la principale culture ; il est cultivé surtout en hivernage et moins souvent en saison chaude (tabl. 2).

Dans le département de Podor, le riz d'hivernage est implanté entre début juillet et début septembre, et récolté entre mi-novembre et début janvier ; le riz de saison chaude est implanté entre mi-février et début avril, et récolté en juillet-août. Compte-tenu de fréquents retards, on observe également une culture dite « d'intersaison », implantée entre fin avril et début juin, et récoltée de fin août à début octobre (les surfaces sont alors comptabilisées comme du riz de saison chaude).

**Tableau 2**  
**Pourcentage de mise en valeur des différents aménagements,**  
**entre 1991 et 1995, selon la saison et la culture**  
**(les surfaces sont exprimées en % de la surface exploitable)**

		91	92	93	94	95
GP	CSC riz	16,3	0,0	32,7	43,7	0,0
	CSC autre	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	HIV riz	36,5	34,3	38,9	36,6	
	HIV autre	2,5	3,2	1,7	6,7	
	CSF	1,2	3,0	8,0	5,5	
	Total	56,5	40,5	81,3	92,5	
IT	CSC riz	33,6	63,4	45,8	31,6	11,6
	CSC autre	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	HIV riz	51,6	17,4	36,2	71,7	
	HIV autre	8,4	3,2	1,0	0,0	
	CSF	17,4	17,0	27,6	13,4	
	Total	111,0	101,0	110,6	116,7	
PIP	CSC riz	1,9	7,2	4,4	2,6	2,6
	CSC autre	0,0	0,0	0,0	0,4	0,5
	HIV riz	13,0	15,7	18,6	22,6	
	HIV autre	1,4	5,2	3,1	5,5	
	CSF	24,2	18,6	21,9	13,1	
	Total	40,5	46,5	48,0	44,2	
PIV	CSC riz	6,1	5,7	4,8	5,3	2,9
	CSC autre	0,0	0,0	0,0	0,6	0,2
	HIV riz	32,5	29,1	25,8	21,7	
	HIV autre	3,3	5,2	5,1	8,4	
	CSF	14,4	13,8	11	10,8	
	Total	56,3	53,8	46,7	46,8	
PIV FED	CSC riz	43,8	51,0	51,9	76,0	16,8
	CSC autre	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0
	HIV riz	84,3	44,1	64,2	33,3	
	HIV autre	0,8	4,0	8,3	1,7	
	CSF	0,0	3,4	6,7	2,0	
	Total	128,9	102,5	131,1	113,2	

Sources : base de données Saed



La grande majorité des parcelles n'est exploitée annuellement que durant une saison (la surface cultivée est inférieure à la surface exploitable). La double riziculture, qui correspond à la succession annuelle riz de saison chaude - riz d'hivernage sur la même parcelle, est beaucoup moins fréquente : on l'observe sur une partie des surfaces du périmètre de Nianga (70 % en 1993, 50 % en 1994 et 0 % en 1995), ou bien sur quelques PIV FED et IT .

Les différences entre campagne de saison chaude et campagne d'hivernage portent essentiellement sur les risques parasitaires liés aux insectes, qui sont plus élevés en hivernage du fait de la forte humidité en août et septembre, et sur les conséquences du choix du couple variété x date de semis. En effet, en saison chaude, un semis précoce se heurte aux faibles températures qui ralentissent la croissance en début de cycle, alors qu'un semis tardif (intersaison) ou le choix d'une variété relativement tardive empêche la succession par une culture d'hivernage, et présente le risque d'une récolte sous la pluie. De plus, les températures élevées en mai-juin provoquent une stérilité des épillets lorsqu'elles coïncident avec la méiose (Dingkuhn *et al.*, 1994). Pour l'hivernage, les faibles températures n'apparaissent qu'à partir de fin octobre et peuvent provoquer une stérilité des épillets. L'utilisation du logiciel Ridev, qui simule le développement du riz irrigué selon différents scénarios climatiques (Dingkuhn *et al.*, 1995), avec les températures mesurées à Podor, indique un risque de taux stérilité des épillets supérieur à 50 % pour un semis réalisé après le 20 août avec la variété Jaya, variété de cycle moyen généralement implantée en hivernage.

### *Techniques culturales*

On distingue deux grands modèles techniques prédominants, qui diffèrent essentiellement par le mode d'implantation : semis à la volée directement dans la parcelle (semis direct), ou semis en pépinière et repiquage dans la parcelle. Cette dernière technique permet de contrôler l'enherbement en implantant des plantes qui supportent déjà une épaisse lame d'eau. Dans le premier cas, l'installation d'une forte densité de plantes (450 à 600 pieds/m<sup>2</sup>) constitue également un moyen pour limiter l'enherbement.

Dans les deux cas, la préparation du sol se limite à un travail superficiel à l'aide d'un passage de pulvérisateur lourd (offset) en motorisation, ou d'un labour en culture attelée suivi éventuellement d'une reprise par un cultivateur. Les sols étant dans leur grande majorité assez lourds (Boivin *et al.*, 1995), la pré-irrigation facilite la pénétration des outils.

L'apport de phosphore (100 à 200 kg de 18-46-0), s'effectue avant le travail du sol, ou bien en couverture. Pour la fertilisation azotée, il est conseillé deux

apports de 100 kg d'urée, environ 30 et 60 jours après semis (ces dates correspondent au tallage et à l'initiation paniculaire pour la variété Jaya cultivée en hivernage).

Le désherbage chimique constitue la principale technique utilisée pour lutter contre l'enherbement, surtout dans les parcelles semées directement. Selon le produit utilisé, il est effectué avant semis ou repiquage (pré-émergence), ou bien en post-levée après évacuation de la lame d'eau (assec). Le maintien d'une lame d'eau importante permet également de contrôler l'enherbement, mais nécessite que le riz ait atteint une taille suffisante.

L'irrigation démarre avec la mise en eau de la parcelle et doit être maintenue jusqu'à deux à trois semaines avant la récolte. La présence de drains facilite l'évacuation de l'eau nécessaire aux interventions, sinon l'assec est obtenu par évaporation de la lame d'eau.



## Dispositif et méthodes

### *Dispositif*

L'itinéraire technique mis en oeuvre sur une parcelle est la résultante d'un processus de décision qui dépasse l'échelle de la parcelle. Ainsi, le fonctionnement de l'unité de production d'une part, et d'autre part, celui du périmètre géré par des OP, influent sur le choix et la mise en oeuvre des techniques (Poussin, 1995-a). Le dispositif s'appuie donc sur le choix de quelques paysans cultivant plusieurs parcelles de riz dans différents types d'aménagement. Ce choix est guidé par la volonté d'une part d'observer une large gamme de situations, et d'autre part, de se situer chez des acteurs pour lesquels l'agriculture irriguée constitue une activité majeure (notre échantillon « biaisé » ne rend effectivement pas compte des systèmes de riziculture pratiqués certains paysans, notamment agro-pasteurs peuls). Le suivi de toutes les parcelles cultivées par chaque paysan, rizicoles ou non, nous permet de replacer la parcelle (et le système de culture) dans l'ensemble de ses activités agricoles. De même, le suivi des décisions prises par les OP chargées de gérer les aménagements permet d'identifier certains déterminants des pratiques observées à l'échelle de la parcelle. Les caractéristiques des situations suivies en 1994 sont présentés dans le tableau 3.

Pour les six paysans suivis en 1994, sept parcelles sont conduites en double riziculture et douze en simple culture, dont deux en saison chaude et dix en hivernage (la lettre 'C' ou 'H' suivra le code de la parcelle afin d'indiquer la saison de culture).

Tableau 3  
Situations suivies en 1994

Périmètre		Parcel.	Surface (ha)	Paysan	Succession	Implantation (csc - hiv)
Grand Périmètre de Nianga	SUMA Guia 3	SG1	0,23	A	D.C.	D - D
		SG2	0,21	A	D.C.	D - D
		SG3	0,43	A	D.C.	D - D
	SUMA Ndiawara	SN2	0,55	B	D.C.	D - D
	Maille commune du casier pilote	CP1	0,70	C	D.C.	D - R
CP2		0,70	D	S.C. hiv	D	
PIV Ndiawara		PN8	0,11	B	S.C. hiv	D
PIV FED Guia 4		G4C	0,55	A	S.C. csc	D
		G4H	1,50	A	S.C. hiv	D
Donaye IT1 (irrigation par siphon, pas de drains)		DJL	0,33	E	D.C.	D - D
		IO1	0,25	E	S.C. hiv	R
		IO2	0,25	E	D.C.	R - D
Donaye IT2 (idem IT1)		IAC	0,16	F	S.C. csc	D
		IAH	0,84	F	S.C. hiv	R
PIP Béké Wéké		BK1	0,10	F	S.C. hiv	R
		BK2	0,26	F	S.C. hiv	D
PIV Donaye 1		DO1	0,10	E	S.C. hiv	D
PIP Betowo (GIE Familial)		GB1	1,40	C	S.C. hiv	R
		GB2	0,80	C	S.C. hiv	R

S.C. : simple culture ; D.C. : double culture ; csc : contre-saison chaude ; hiv : hivernage ; D : semis direct ; R : repiquage

Les sols, tous hydromorphes, sont de texture limono-argileuse à argileuse (vertisols). Ils sont riches en calcium, magnésium et potassium, mais relativement pauvres en phosphore. On remarque des quantités décroissantes de phosphore assimilable avec la profondeur, résultant de la fertilisation et indiquant un lessivage des éléments. Les conductivités électriques mesurées (dans les parcelles et dans les stations) n'indiquent aucun problème important de salinité dans les parcelles suivies.

Un suivi de l'élaboration du rendement du riz a été effectué dans 21 parcelles (quatre en saison chaude et dix-sept en hivernage). Ce suivi est réalisé par l'enregistrement des pratiques culturales, l'observation régulière de l'état de la parcelle, et la mesure de composantes de rendement. Ces composantes sont mesurées dans des « stations de suivi », installées en début de culture dans chaque parcelle (une à quatre stations par parcelle selon sa dimension). Les

composantes sont mesurées (quatre répétitions, ou « placettes », par station) à deux stades de la culture :

- à l'initiation paniculaire (IP), qui correspond au début de la montaison, on mesure les densités de plantes, éventuellement de poquets (repiquage), et de talles, ainsi que la biomasse aérienne ;
- à maturité, on mesure la densité d'épis, d'épillets et de grains, ainsi que le poids de paille et le poids de grains.

Les comptages et prélèvements sont effectués dans des anneaux de 61 cm de diamètre (soit 0,3 m<sup>2</sup>). En cas de repiquage, une mesure de la densité de poquets après récolte (deux à quatre répétitions sur 6 m<sup>2</sup>) permet de corriger l'éventuelle sur-évaluation de la densité mesurée dans les anneaux.

## Méthodes

### Schéma d'élaboration du rendement du riz

Le diagnostic agronomique à l'échelle de la parcelle se fonde sur une décomposition du rendement en composantes élaborées durant les différentes phases de développement du riz (Durr, 1984) :

- rendement = nombre de grains/u.s. x poids d'un grain,  
avec u.s. = unité de surface ;
- nombre de grain/u.s. = nombre d'épillets/u.s. x taux de fertilité des épillets.

Le poids d'un grain (PG) est borné supérieurement (caractéristique variétale) et dépend des conditions de remplissage. Ce remplissage est favorisé par une bonne croissance des épis (translocation de matières sèche des tiges vers les grains) et la prolongation de la photosynthèse liée à l'état de la dernière feuille après floraison (Dingkuhn *et al.*, 1992-b). Lorsque la densité de grains augmente, PG diminue (phénomène de compensation). L'état de croissance des épis est évalué par le poids de paille (PP) à maturité.

Le taux de fertilité des épillets (TF) traduit à la fois le non-remplissage d'une partie des grains et la stérilité physiologique des épillets induite par des températures extrêmes pendant la méiose. L'emploi du simulateur Ridev nous permettra d'évaluer pour chaque parcelle cette stérilité physiologique.

Le nombre d'épillets, ou fleurs (NF), est lié à la croissance de la culture jusqu'à floraison. Le nombre d'épis (NE), également lié à la croissance jusqu'à floraison, est un bon indicateur du nombre d'épillets.

La croissance de la culture en début de cycle (jusqu'à l'IP), mesuré par la biomasse aérienne (BA), détermine le niveau potentiel du nombre d'épis et

d'épillets. Si les conditions de croissance après IP sont défavorables, les sites initiés régressent.

$$NF_{\text{pot}} = f(\text{BA}) ; NE_{\text{pot}} = g(\text{BA})$$

L'état de la culture à l'IP est évalué par le nombre de plantes (NP), de talles (NT) et la biomasse aérienne (BA).

### **Analyse des situations**

Les premières analyses concernent la variabilité des pratiques culturales, d'états du milieu observés, et de composantes de rendement mesurées. L'analyse de la variabilité des composantes permet de répondre aux questions relatives à la représentativité de l'échantillon, et aux parts relatives de variabilité inter et intra classe, pour les variétés, le mode de semis, les parcelles et les stations.

La caractérisation des situations en matière d'élaboration du rendement est obtenue à l'aide d'analyses en composantes principales (ACP). Afin d'éliminer l'effet variétal, nous effectuons des ACP intra-classes. La procédure consiste à réaliser une ACP classique (Lebart *et al.*, 1982) sur le tableau des écarts aux moyennes pour chaque variété (Dolédéc & Chessel, 1987).

Du fait des deux dates de prélèvements, et afin de montrer l'impact des conditions d'implantation sur les résultats à maturité, nous effectuons deux ACP intra-classes :

- la première est réalisée sur le tableau des composantes mesurées à l'IP dans chaque placette (192 individus, 3 variables : NP, NT, BA) ;
- la seconde est réalisée sur le tableau des composantes mesurées à maturité dans chaque placette (192 individus, 5 variables : NE, PP, NF, TF, PG).

Ces deux analyses et leur superposition nous permettent de caractériser les situations (nous résumons l'information en effectuant des moyennes par station) en utilisant nos informations concernant l'état des parcelles et des pratiques culturales.

Enfin, l'analyse du déroulement d'une campagne agricole à partir des suivis réalisés aux échelles exploitation et périmètre, nous permet de mettre en évidence l'organisation des décisions prises à différentes échelles (individu, groupement, amont et aval), ainsi que l'origine de diverses contraintes relevées à l'échelle de la parcelle et liées à leur mode de conduite.

## Résultats

### *Variabilité des situations observées*

#### **Pratiques culturales et états des parcelles**

Les pratiques culturales suivent globalement l'un ou l'autre des deux grands modèles techniques, avec de plus ou moins fortes déviations dans les modalités d'application des techniques (les pratiques culturales et l'état des parcelles sont présentés en détail en annexe).

#### *Implantation*

L'implantation par semis direct est majoritaire. Ce choix est fortement lié à la facilité de sa mise en oeuvre (Poussin, 1995-b). Mais l'emploi de cette technique suppose un bon nivellement de la parcelle et un contrôle précoce de l'enherbement, ce qui est rarement le cas.

La préparation du sol est très superficielle (Kanté, 1996) : la profondeur de travail est faible (0 à 6 cm), et le lit de semence est très grossier. Certains périmètres (comme IT1 et IT2 à Donaye) pratiquent la pré-irrigation pour faciliter la pénétration des outils. Cette technique permet en plus de faire lever les adventices (dont le riz précédent) qui seront détruites par le travail du sol (cas de la parcelle IOJ). Elle suppose néanmoins une bonne organisation collective à l'échelle du périmètre, et l'assurance que les matériels interviennent dès que le sol est ressuyé.

Le semis direct est réalisé à la volée dans une lame d'eau de 5 à 20 cm. La quantité de semences utilisée varie de 100 à 200 kg/ha (soit 400 à 800 graines/m<sup>2</sup>). L'utilisation de semences auto-produites dont le coût est faible (110 à 150 FCFA/ha) et le pouvoir germinatif incertain, explique en partie les sur-dosages. Les semences sont systématiquement pré-germées.

Malgré un rapide planage manuel au râteau lors de la mise en eau, la lame d'eau est d'épaisseur variable (5 à 25 cm). Cette variabilité d'épaisseur traduit les défauts de nivellement de la parcelle (mauvais planage) et le micro-relief lié à la présence de grosses mottes. Elle engendre des conditions de levée assez hétérogènes à l'intérieur des parcelles, surtout pour les semis de saison chaude du fait de la faible température de l'eau d'irrigation. Il en résulte une densité de plantes très variable, entre parcelles et à l'intérieur des parcelles (tabl. 4).

Dans les pépinières, du fait de leur surface réduite, la qualité de la préparation du sol (nivellement, mottes, résidus) est meilleure que dans les parcelles

semées directement. Mais les semences ne sont pas toujours pré-germées afin de prévenir un repiquage tardif. Les conditions de levées ne sont ainsi pas bien meilleures qu'en semis direct.

Tableau 4  
Variabilités des densités inter et intra parcelle mesurées dans les placettes

	Plantes / m <sup>2</sup> (semis direct)			Poquets / m <sup>2</sup> (repiquage)			Plants / poquet (repiquage)		
	global	par parcelle		global	par parcelle		global	par parcelle	
		mini	maxi		mini	maxi		mini	maxi
moy.	321	89	515	24,5	17,9	39,9	3,4	1,7	3,6
mini	34	–	–	10,3	–	–	1,5	–	–
maxi	1 034	–	–	55,0	–	–	11,2	–	–
C.V.	61,2	9,4	59,3	38,7	7,7	29,6	42,7	10,0	57,0
étendue	1 000	13	193	44,7	3,4	30,9	9,7	1,1	9,3

C.V. = coefficient de variation

Un apport d'engrais azoté est effectué avant le repiquage, au stade 3-4 feuilles - début tallage. Du fait du faible coût lié à la superficie réduite des pépinières, cet apport dépasse généralement 100 kg N/ha.

Le repiquage est réalisé dans une lame d'eau de 5 à 20 cm, le plus souvent en foule, rarement en ligne, au plus tôt au stade début tallage, et le plus souvent en plein tallage (5 parcelles sur 7). L'âge avancé des plants induit un stress physiologique plus fort, qui se traduit par un allongement du cycle et un risque de régression des premières talles émises.

La densité de poquets et le nombre de plants/poquet (tabl. 4) sont relativement variables entre parcelles. Dans certaines parcelles, notamment celles où le repiquage est tardif, le nombre de plants/poquets est assez élevé afin de compenser la perte de capacité de tallage, et, du fait d'une quantité de plants limitée, la densité de poquets est faible.

#### *Contrôle de l'enherbement*

En semis direct, ce contrôle s'effectue le plus souvent par un désherbage chimique post-levée. Pour être efficace, le traitement doit être effectué lorsque le riz et les adventices sont au stade 2-3 feuilles, en absence d'eau.

Ces conditions sont rarement respectées (Diagne, 1995). La présence de drains facilite l'obtention d'un assec. Mais dans tous les cas, d'une part le défaut de nivellement des parcelles induit un assèchement très irrégulier ; d'autre part, le démarrage des adventices, cypéracées notamment, est très

précoce (malgré la lame d'eau), et leur développement est souvent plus rapide que le riz. De plus, du fait d'un coût élevé (32 000 FCFA/ha), on observe un sous-dosage quasi systématique des produits (6 parcelles sur 9). Et lorsque la dose est correcte, le produit utilisé peut ne pas contenir la matière active annoncée (parcelles SG1H et IOJC).

L'utilisation d'un herbicide de pré-levée pourrait être avantageuse, mais les produits disponibles au Sénégal présentent un risque de phyto-toxicité sur le riz. Ce risque se traduit par une levée très irrégulière et de nombreux manques (SG1H, SG2H, SG3H, IO2H, DO1H), que l'on tente de combler par un repiquage.

Le mauvais contrôle de l'enherbement conduit à pratiquer un désherbage de rattrapage avant le premier apport d'engrais : le désherbage chimique est inefficace à cause du stade des adventices, et le désherbage manuel réduit fortement la densité de plantes du fait de la disposition du peuplement (SG1C).

Dans les parcelles repiquées, le contrôle de l'enherbement est moins crucial car la concurrence pour la lumière et les éléments nutritifs est en faveur du riz dont le stade est largement plus avancé. Il s'effectue généralement soit par un traitement herbicide à la mise en eau, avant repiquage, soit par un désherbage manuel rapide à la montaison.

La situation de l'enherbement des parcelles à l'initiation paniculaire et à maturité est illustrée par la figure 1. Les parcelles repiquées sont moins enherbées que les parcelles semées directement en début de cycle. Mais à maturité, cette différence est moins importante.

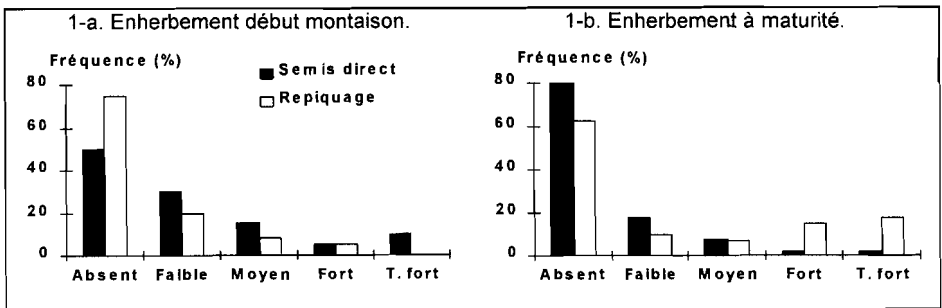


Figure 1 — Enherbement des 48 stations selon le mode d'implantation.

La note d'enherbement est fondée sur le pourcentage de recouvrement des adventices : 0-10 %, 10-20 %, 20-30 %, 30-40 %, >40 %.

Le facies d'adventices est en majorité composé de petites cypéracées. Mais on trouve également des cypéracées à bulbes et du riz à rhizomes dans certaines



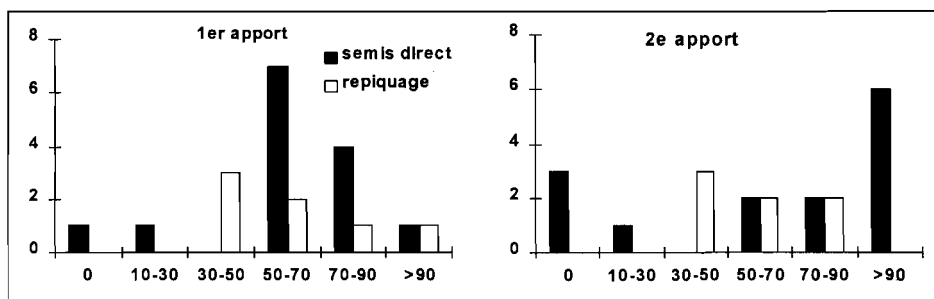
parcelles (CP1H et CP2H). Le «riz rouge» apparaissant pour la première fois dans toutes les parcelles implantée en IR1529, on peut supposer que l'infestation est liée aux semences.

### Fertilisation

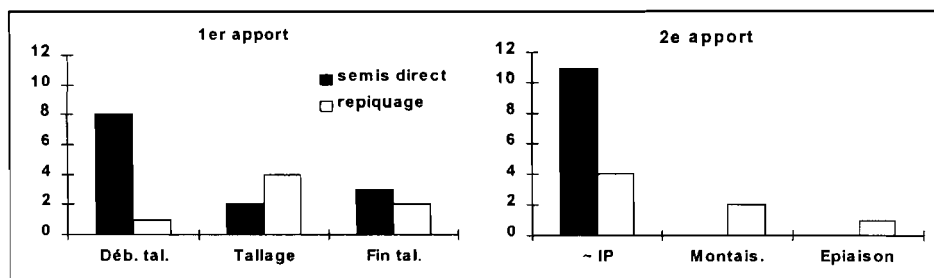
L'apport d'une fumure de fond est rare, les engrais n'étant généralement pas disponibles avant le semis. Ceci évite les pertes par lessivage au moment de la mise en eau (cf. *supra*). La fertilisation (N et P) est effectuée en couverture, dans la lame d'eau, et le plus souvent fractionnée en deux apports (fig. 2).

En semis direct, ces apports sont effectués généralement début tallage et début montaison. La dose du premier apport est beaucoup moins variable entre parcelles que celle du second.

La profondeur de boue permettant le développement des racines influe nettement sur l'efficacité de la fertilisation (Wopereis, communication personnelle). Ainsi, dans une zone de la parcelle SG1C (station G2) où la profondeur de boue était inférieure à 5 cm, et où les plantes prélevées possédaient un appareil racinaire très réduit, le second apport d'azote au début de la montaison n'a eu aucun effet.



2-a : Histogrammes des doses d'azote apportées (nombre de parcelles).



2-b : Histogrammes des dates d'apport (nombre de parcelles).

Figure 2 — Doses et dates des apports d'azote.

En repiquage, un apport supplémentaire est effectué dans les pépinières. Cet apport précoce permet de retarder les deux suivants, car il faut attendre la reprise des plants après transplantation. Les deux apports réalisés sont également très variables entre parcelles, et en moyenne plus faibles qu'en semis direct.

### *Gestion de l'eau*

L'irrigation démarre avec la mise en eau des parcelles. La possibilité d'irriguer est liée à l'état de la station de pompage et au tour d'eau dont la réglementation et le fonctionnement sont propres à chaque aménagement (Barreteau, 1994). De plus, l'état du réseau d'irrigation et des diguettes conditionne fortement l'irrigation de la parcelle. Sur le grand périmètre de Nianga comme dans les PIV, ces structures sont fortement dégradées : l'eau du canal arrive lentement dans les parcelles, et fuit très rapidement par les diguettes. Dans les parcelles suivies, une seule parcelle (DO1H) a subi un arrêt prolongé de l'irrigation (10 jours durant le tallage) dû à une panne du groupe moto-pompe. La même parcelle, et l'ensemble du périmètre dont elle fait partie, ont ensuite été inondés par la crue du fleuve pendant la montaison.

En l'absence de drains, l'assec est obtenu par arrêt de l'irrigation et évaporation de l'eau. Cette évaporation provoque une concentration des sels en surface qui peut induire une stérilité ou mortalité des plants de riz (Dingkuhn *et al.*, 1992-a). Ceci n'a pas été observé dans les parcelles suivies.

Les paysans stoppent les irrigations à maturité. Ce choix a pour conséquence un étalement de maturité des panicules, et retarde d'autant la récolte. Ce retard peut induire une récolte à sur-maturité, avec égrainage et baisse de qualité du paddy (Le Gal, 1995).

### **Variabilité des composantes**

La figure 3 illustre la variabilité des rendements observés sur les 21 parcelles suivies. La gamme des rendements (de 1 à 8 t/ha pour les parcelles, de 0 à 13 t/ha pour les placettes) est du même ordre que pour l'ensemble des surfaces rizicultivées sur la rive gauche du fleuve Sénégal.

L'effet du mode de semis ou de la variété est faible (tabl. 5). En effet, dans les deux cas la variabilité intra-classe est nettement supérieure à la variabilité inter-classe. Par contre, l'effet parcelle ou station, à variété égale, est beaucoup plus fort. Néanmoins, la *variabilité intra-parcelle reste très élevée*.

La densité de plantes dans les parcelles semées directement, ou de poquets et de plants/poquet dans les parcelles repiquées illustrent bien cette variabilité

intra-parcellaire (tabl. 4). Pour le semis direct, la variabilité de densité est non seulement liée à la technique de semis à la volée, mais aussi à l'hétérogénéité du lit de semence. Quant au repiquage, où le contrôle de la densité d'implantation est théoriquement meilleur, la variabilité intra-parcellaire est encore très élevée dans certaines parcelles (CP1H et GB1H notamment).

Tableau 5  
Analyse de la variabilité totale selon l'implantation,  
la variété, la parcelle ou la station

Stade	Inertie totale	Implantation (SD ou RP)		Variété semée (4 modalités)		Parcelle (21 modalités)		Station (48 modalités)	
		Inter	Intra	Inter	Intra	Inter	Intra	Inter	Intra
Début montaison (NP, NT, BA)	3	0,57	2,43	0,96	2,04	1,48	1,52	2,19	0,81
Maturité (NE, PP, NF, TF, PG)	5	0,43	4,57	0,83	4,17	2,35	2,64	3,69	1,31

N.B.: L'analyse de la variabilité est réalisée sur des tableaux normés. Pour les parcelles et les stations, l'analyse est faite sur la variabilité intra-variété afin d'éliminer l'effet variété.

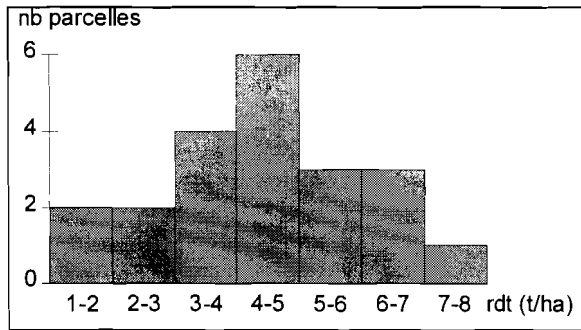
Ne disposant pas de comptages après floraison, le taux de stérilité physiologique des épillets a été calculé par simulation à l'aide du logiciel Ridev. Excepté les parcelles IOJC et SG1C cultivées en saison chaude, la stérilité due aux températures extrêmes est nulle, et la stérilité apparente est donc liée au remplissage des grains. Pour IOJC et SG1C, la stérilité physiologique simulée est inférieure à 12 %. Cette simulation ne tient pas compte de l'effet des vents chauds et secs pendant la floraison. La situation isolée de la parcelle IOJC nous conduit à supposer une sous-estimation du taux de stérilité physiologique des épillets.

### *Diagnostic à l'échelle de la parcelle cultivée*

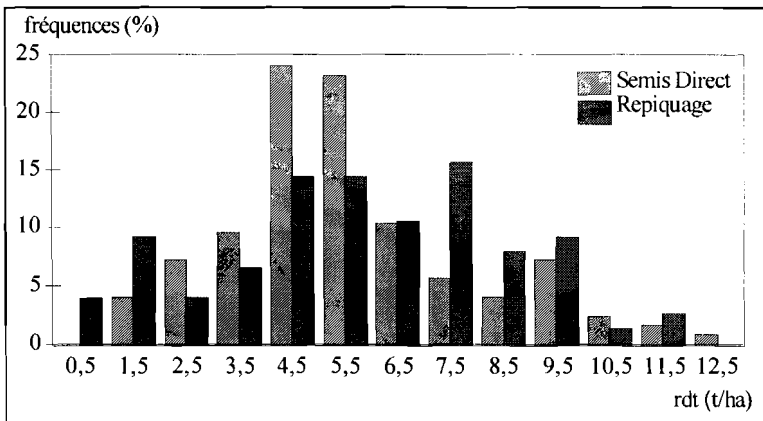
#### **ACP sur composantes à l'initiation paniculaire (ACP1)**

Les deux premiers axes factoriels résument 92 % de l'inertie totale. Le facteur 1 (75 % de l'inertie totale) représente la « taille » et traduit la forte corrélation entre variables : plus il y a de plantes, plus il y a de talles et donc de biomasse. Le facteur 2 rend compte de la variabilité de biomasse à densité égale. La figure 4 présente d'une part les coordonnées factorielles des variables (NP, NT et BA) dans le plan 1x2 (1 graphique), et d'autre part les

moyennes par station des coordonnées des placettes dans ce plan 1x2 (les moyennes par station sont regroupées par parcelle, soit 21 graphiques).



3-a Rendements obtenus dans les 21 parcelles suivies.



3-b Rendements mesurés dans les 192 placettes.

Figure 3 — Histogramme des rendements.

Dans le plan 1x2, on distingue trois situations extrêmes (fig. 4) :

- une densité faible associée à une biomasse moyenne ou faible (IO2C, SG1H, et GB2H), qui permet des potentiels d'épis et d'épillettes moyens à faibles ; cette situation est liée à une faible densité d'implantation (IO2C et GB2H), ou à une réduction de densité liée à l'enherbement (SG1H), qui limitent la biomasse ;
- une densité forte associée à une biomasse forte (PN8H et BK2H), qui permet des potentiels d'épis et d'épillettes forts ; la densité d'implantation est forte (ou le tallage est fort pour BK2H qui est une parcelle repiquée),

l'enherbement est bien contrôlé, et le premier apport d'engrais est effectué précocement ;

– une densité forte associée à une biomasse moyenne à faible (DO1H et partiellement G4H) qui ne permet pas une densité d'épis et d'épillets aussi forte ; la densité d'implantation est forte, mais *l'enherbement (G4H) ou l'absence de fertilisation (DO1H) limite fortement la croissance.*

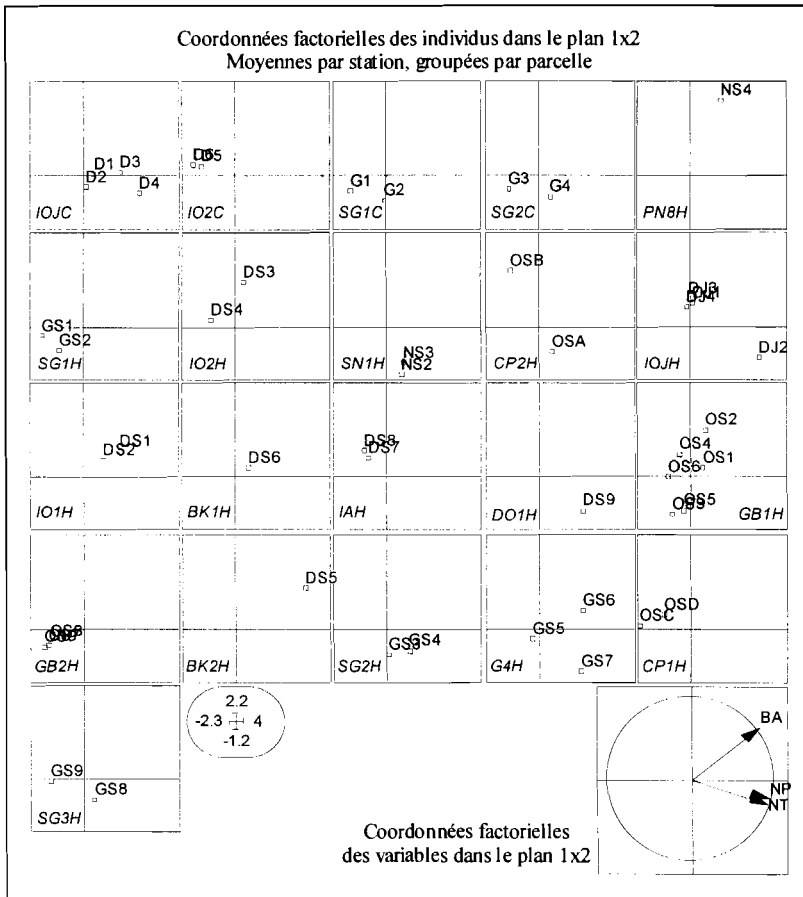


Figure 4 — ACP sur composantes à l'initiation paniculaire.

### ACP sur composantes à maturité (ACP2)

Les deux premiers axes factoriels résument 73 % de l'inertie totale. Le facteur 1 (49 % de l'inertie totale) représente également la « taille » : plus il y a d'épis, plus il y a de paille et de fleurs. C'est également dans les

« meilleures » placettes que TF et PG sont les plus forts. Ces deux variables sont mieux représentées sur l'axe 2 (24 % de l'inertie totale) : la corrélation entre TF et PG montre que la fertilité apparente est liée au remplissage des grains.

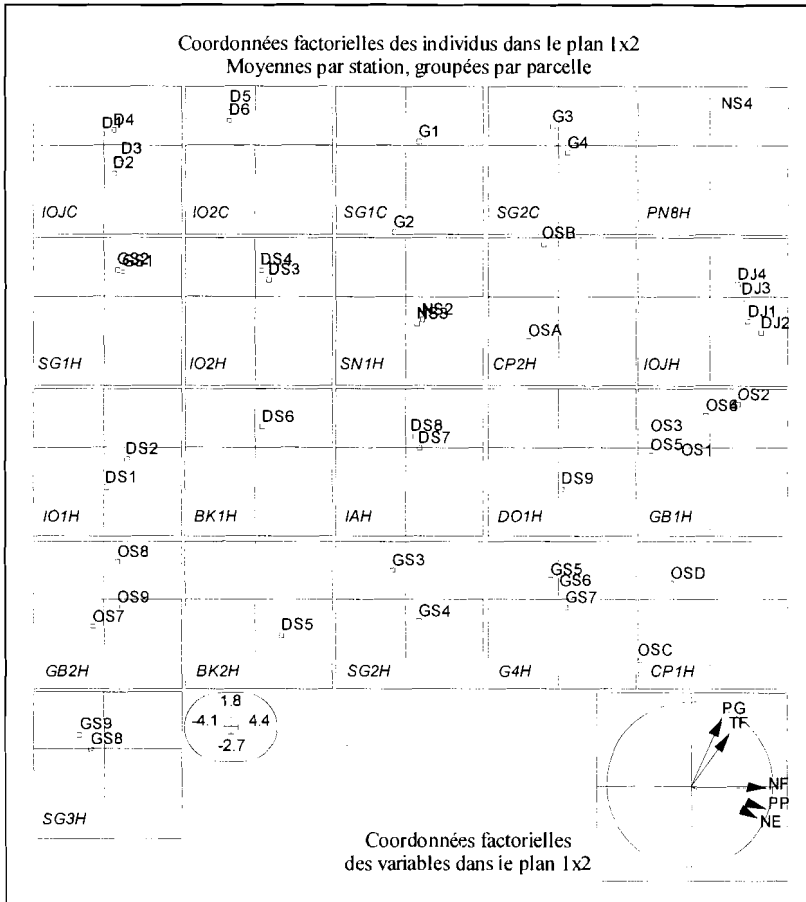


Figure 5 — ACP sur composantes à maturité.

Dans le plan 1x2, on distingue quatre situations extrêmes (fig. 5) :

– une densité d'épis, d'épillets et un poids de paille faibles, associée à un taux de fertilité et un poids d'un grain moyens à faibles (CPIH et partiellement GB1H) ; dans les deux cas, l'enherbement (très fort sur CPIH) associé à fertilisation réduite (GB1H) limite le nombre d'épillets et le remplissage des grains ;

- une densité d'épis, d'épillets et un poids de paille moyens, associé à un taux de fertilité et poids d'un grain élevés (IO2C et PN8H) ; cette situation correspond à une bonne croissance dans la seconde partie du cycle qui favorise le remplissage d'un nombre moyen de grains ; cette croissance élevée est liée à un second apport moyen ou fort associé à l'absence d'enherbement ;
- une densité d'épis, d'épillets et un poids de paille moyens, associé à un taux de fertilité et poids d'un grain faibles (SN1H, IO1H et BK2H) ; cette situation correspond à une croissance insuffisante dans la seconde partie du cycle qui limite le remplissage d'un nombre moyen de grains ; *ce déficit de croissance est lié soit à une fertilisation trop faible (SN1H, IO1H), soit à une forte compétition avec les adventices (BK2H) ;*
- une densité d'épis, d'épillets et un poids de paille forts, associée à un taux de fertilité et un poids d'un grain moyens à faibles (IOJH) ; le défaut de remplissage des grains est sans doute lié au nombre important d'épillets à remplir ; un troisième apport d'azote à l'épiaison afin de favoriser la photosynthèse de la feuille paniculaire aurait peut-être corrigé cette faiblesse (Dingkuhn *et al.*, 1992-b).

### Superposition des plans factoriels 1x2 des deux ACP

L'objectif de cette superposition est de relier la situation à maturité à celle obtenue début montaison. Cette superposition est possible puisque les axes factoriels sont normés. La figure 6 est le résultat de cette superposition. Les positions correspondent aux moyennes des placettes d'une même station. Les vecteurs traduisent le déplacement des stations depuis le plan 1x2 de l'ACP1 vers le plan 1x2 de l'ACP2.

Un peu plus de la moitié des stations, quel que soit le mode d'implantation, ne se déplacent presque pas. *Le résultat de l'implantation, mesuré par le niveau de densité et de croissance de la culture à l'IP, est donc un bon indicateur du résultat final* (il détermine les nombres d'épis et de fleurs potentiels).

Les déplacements horizontaux vers la droite indiquent la réalisation des nombres d'épis et d'épillets potentiels, liée à une bonne croissance après IP. C'est le cas des parcelles SG1H, IOJH, et GB2H.

Les déplacements horizontaux vers la gauche indiquent la « réduction » de densités d'épis et d'épillets, liée à un déficit de biomasse à l'IP et une faible croissance ensuite. C'est surtout le cas des stations OS3 et OS5 de la parcelle GB1H, où l'enherbement important mais variable dans la parcelle, est à l'origine de ce déficit de croissance.

Les déplacements verticaux vers le haut indiquent de bonnes conditions de remplissage des grains. Ils ne concernent que des situations où le nombre de

grains à remplir est faible à moyen. C'est le cas de SG1H (désherbage manuel avant de second apport), et partiellement de GB2H et de SG2H (variabilité intra-parcelle liée sans doute à l'enherbement).

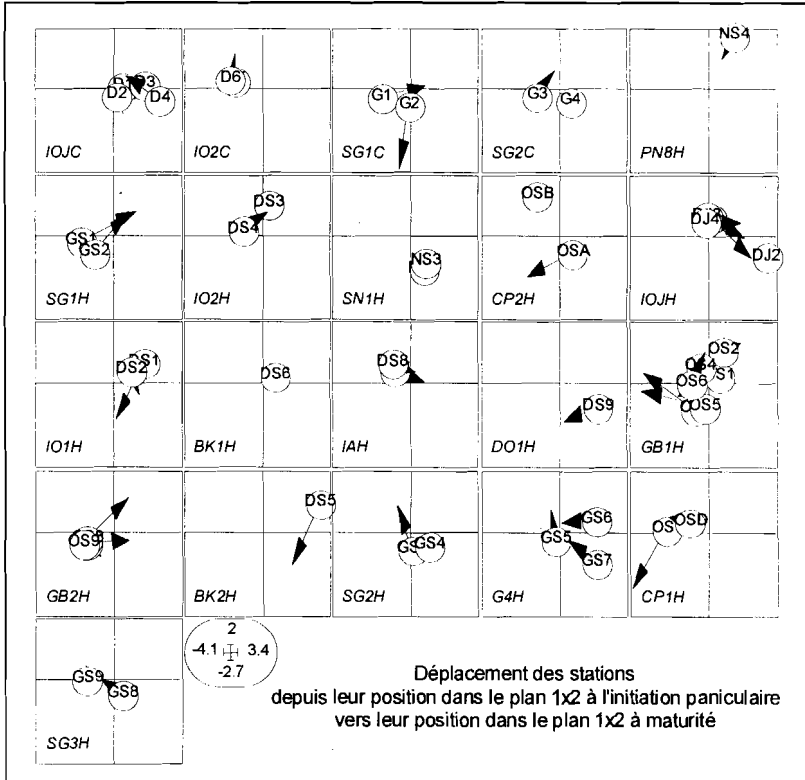


Figure 6 — Superposition des plans 1x2 des deux ACP. Déplacement des stations.  
Origine des vecteurs : ACP1

Les déplacements verticaux vers le bas indiquent un déficit de remplissage des grains. C'est le cas lorsque le nombre de grains à remplir est trop important relativement à la croissance des épis (BK2H).

Les contraintes relevées à l'échelle de la parcelle relèvent bien souvent de la *qualité de réalisation des interventions*. On confirme ainsi les diagnostics anciens, en précisant néanmoins l'importance de la phase d'implantation de la culture. La levée de ces contraintes nécessitent moins l'usage de nouvelles techniques, qu'une meilleure intégration des techniques existantes et un plus grand soin apporté à leur réalisation. Ainsi, l'enherbement est une contrainte très forte en semis direct. Son contrôle devient très difficile du fait d'un stock



d'adventices très important et de l'apparition d'espèces difficile à combattre. L'usage de traitements herbicides seuls ne suffit plus (sauf coût prohibitif). Quant à la fertilisation, en dehors de doses parfois insuffisantes et de dates d'apport inadéquates, la faible profondeur d'enracinement et l'enherbement limitent son efficacité.

### *Processus de production et organisation des décisions*

A l'échelle individuelle, les motivations des paysans pour la riziculture irriguée, ainsi que les contraintes qu'ils supportent, sont variables et complexes. Cette variabilité se traduit notamment par l'hétérogénéité des résultats obtenus au sein d'un même aménagement. Néanmoins, pour les six paysans de notre échantillon, dont la taille de la famille, le statut foncier des parcelles qu'ils cultivent et la possibilité de développer d'autres activités sont variés, on remarque une stratégie commune : la production rizicole est avant tout vivrière, et sa répartition sur différents périmètres permet de limiter les risques et d'accroître son autonomie vis-à-vis des OP qui les gèrent.

En effet, le fonctionnement de l'OP et le comportement des acteurs en amont et en aval de la filière pèsent fortement dans le processus de production. C'est ce qu'illustre la figure 7 qui récapitule le déroulement d'une campagne rizicole, depuis le remboursement des charges liées au cycle précédent, jusqu'à la récolte.

Le démarrage d'une campagne est conditionnée par la capacité de financer les avances aux cultures (travail du sol, gas-oil pour l'irrigation, engrais et herbicide). Cette capacité dépend de l'état du fonds de roulement géré par l'OP, ou de l'octroi d'un crédit bancaire. Après la récolte du cycle précédent, les paysans d'un même périmètre doivent rembourser à leur OP les charges de culture du cycle précédent. Le paiement s'effectue en paddy. La commercialisation de ce paddy permet à l'OP de reconstituer le fonds de roulement, ou bien de rembourser l'emprunt, condition nécessaire à l'octroi d'un nouveau prêt.

Le remboursement des charges n'est pas immédiat et induit des tensions internes au sein de l'OP. Il dure plusieurs semaines du fait d'une récolte étalée. Le riz étant avant tout une culture vivrière, les paysans ne remboursent que si la quantité de paddy récoltée est supérieure à celle qu'ils jugent nécessaire pour satisfaire les besoins de leur famille. Le surplus étant variable selon les paysans, l'OP doit alors gérer un endettement entre ses membres.

La commercialisation se fait, depuis 1994, auprès d'opérateurs privés (riziers), qui se chargent d'évacuer la production en engageant des transporteurs.

L'enclavement de certains villages, la disponibilité des camions, ou les retards de paiement par les riziers, ralentissent la reconstitution du fonds de roulement ou le remboursement de l'emprunt.

Paysan	Groupement	Amont et aval
Remboursement (en paddy) des charges de production pour la campagne précédente	Commercialisation du paddy	
		Rizerie : paiement de la production
Décision de réalisation de la campagne (réunion plénière)	Remboursement du crédit ou reconstitution du fond de roulement	
	Montage dossier de crédit	(appui de la Saed)
		Banque : octroi du crédit de campagne
	Réalisation de la préparation du sol (par la SUMA ou par un prestataire privé)	Prestataire : respect des engagements, fiabilité du matériel et qualité du travail réalisé
Mise en eau de la parcelle	Démarrage de la station de pompage Tour d'eau	
Semis		
Réalisation des interventions culturales	Disponibilité des engrais et herbicides Fonctionnement hydraulique de l'aménagement	Fournisseurs : livraison des intrants
Récolte	(Contrat pour la récolte mécanisée)	(Prestataire ou main d'oeuvre extérieure)

Figure 7 — Déroulement d'une campagne rizicole (cas d'un financement sur crédit de campagne et d'un semis direct).

Le temps est représenté verticalement.

L'échelle des décisions/actions est représentée horizontalement.

La décision d'effectuer une campagne de culture est prise en réunion plénière, après la commercialisation. La situation financière du groupement, liée en partie aux résultats de la dernière campagne, et le dynamisme des responsables de l'OP interviennent fortement dans cette décision. De même, l'importance des surfaces cultivées en CSF ou l'opportunité de cultiver en décrue (comme en 1994 et 1995) sont des arguments de poids pour limiter les surfaces cultivées en saison chaude.

L'absence de fonds de roulements nécessite le montage d'un dossier de crédit, avec l'appui de l'encadrement Saed, ce qui exige un nouveau délai (un mois minimum). Les diverses charges sont évaluées selon la surface de culture envisagée. Le niveau du prêt accordé ou du fond de roulement peut limiter les doses d'engrais et d'herbicide. A moins d'un « remembrement » au sein du périmètre, les charges d'irrigation sont difficilement compressibles.

La préparation du sol est réalisée par une entreprise privée ou une OP disposant de matériels. Le paiement de la prestation s'effectuant de moins en moins en nature après la campagne, cette première opération ne peut démarrer avant obtention du crédit de campagne. Les prestataires, qui sont très sollicités, respectent rarement leur « rendez-vous » et les performances des matériels sont diminuées par les fréquentes pannes. Quant à la traction bovine, les faibles performances des chantiers associées à la nécessité d'une irrigation préalable et un coût des prestations relativement élevé (Kanté, 1996) constituent un fort handicap, surtout lorsque s'impose l'urgence de semer.

La mise en eau et le semis des parcelles ne peut intervenir qu'après démarrage de la station de pompage, et donc livraison du gas-oil nécessaire à son fonctionnement. Cette opération est fortement consommatrice d'eau, et nécessite un tour d'eau stricte entre parcelles, voire entre secteurs d'un même aménagement. Les paysans n'étant pas tous prêts à cette période (parcelles cultivées dans d'autres périmètres par exemple) et soucieux de respecter les règles collectives (Baretteau, 1994), la mise en eau est fréquemment perturbée.

Le choix de la variété semée est du seul ressort de l'individu. Ce choix s'effectue selon la saison de culture et la date de semis. Mais la disponibilité en semences pour une variété donnée est une contrainte forte. Du fait des divers retards accumulés, le semis direct est réalisé rapidement après un grossier nivellement au râteau. En cas de repiquage, ces retards se répercutent sur la transplantation (date et densité de poquets).

Le traitement herbicide et l'apport d'engrais effectués individuellement dans chaque parcelle sont également contraints par des fonctionnements collectifs ou externes : les doses sont fixées par les achats collectifs (à moins d'acheter individuellement des produits), et la date d'application est contrainte par celle de livraison des produits. Quant à la gestion de l'eau, elle dépend non seulement du fonctionnement de la station de pompage mais aussi de l'état du réseau d'irrigation et des diguettes séparant les parcelles, dont l'entretien est sous responsabilité collective.

En matière de gestion collective, les responsables d'une OP ont concentré leurs efforts sur les fonctions financières et commerciales. Ainsi pour les paysans, le « crédit » constitue l'obstacle majeur au bon déroulement de la

campagne. Mais il nous semble que le manque, voire l'absence, de prévision et de planification constitue le noeud du problème. Ce défaut de planification est en partie dû aux incertitudes qui pèsent sur le processus de production (Le Gal, 1995). Le premier travail est d'éclairer ces incertitudes : les unes concernent le comportement des acteurs « externes » (banques, commerçants, prestataires...), les autres sont relatives aux acteurs « internes » (paysans et responsables).

Pour faire face aux premières, une solution pour les OP consiste à établir de manière plus précoce des liens contractuels avec ces acteurs externes, et les entretenir au cours du temps. Par ailleurs, les « unions » d'OP peuvent également peser sur les décideurs institutionnels qui contrôlent le fonctionnement des filières. Quant aux secondes, elles traduisent l'hétérogénéité de motivation des individus pour la riziculture et déterminent le niveau de cohésion du groupement. La justification technique des règles collectives et leurs conséquences au plan des résultats individuels pourrait sans doute améliorer cette cohésion.

## Conclusion

Les conditions d'implantation (qualité du nivellement et de la préparation du sol, qualité du semis et du repiquage, contrôle précoce de l'enherbement, fertilisation) constituent les principales contraintes qui limitent les rendements des parcelles. Les voies d'amélioration existent mais ne sont pas appliquées, car difficilement applicables.

En effet, bon nombre d'interventions réalisées par le paysan à l'échelle de sa parcelle doivent être planifiées par le groupement à l'échelle de l'aménagement, et font appel à des acteurs externes. Ainsi la pré-irrigation, par exemple, constituerait un moyen efficace pour améliorer la qualité du travail du sol et le contrôle de l'enherbement. Sa réalisation nécessite une planification stricte (tour entre parcelles) à l'échelle de l'aménagement, en tenant compte du temps nécessaire à la mise en eau des parcelles, de leur délai de ressuyage, et des performances des équipements de travail du sol. Il faut également que les paysans irriguent leur parcelle de façon uniforme (la présence de drains est un atout), que le prestataire de service mécanisé respecte son « rendez-vous », et qu'aucune panne ne perturbe les performances des équipements (Le Gal, 1995 ; Kanté, 1996).

La maîtrise du processus de production impose une planification des actions. Aucune planification à l'échelle individuelle ne peut être envisagée sans planification à l'échelle collective et sans contrôle des acteurs en amont et en

aval de la filière. Des incertitudes de tout ordre empreignent les comportements de ces trois types d'acteurs (paysan, groupement, amont et aval), et se répercutent d'un niveau à l'autre. Dans ce contexte, la planification des actions semble très difficilement accessible. Néanmoins, il est nécessaire d'analyser les rôles des OP et leur fonctionnement d'une part, et d'autre part les sources d'incertitudes qui perturbent le processus de production.

## Références bibliographiques

- BARRETEAU O., 1994 –  
*Des pratiques de gestion à la consommation d'eau d'un périmètre irrigué. Le cas du périmètre de Nianga.* DEA national d'hydrologie. Engref, Paris, 47 pages + annexes.
- BOIVIN P., BRUNET D.,  
GASCUEL C., ZANTE P., NDIAYE J.P., 1995 –  
Les sols argileux de la région de Nianga –  
Podor : répartition, caractéristiques, aptitudes  
et risques de dégradation sous irrigation. *In* :  
Boivin *et al.* (éd.), pp. 67-82.
- BOIVIN P., DIA I., LERICOLLAS A.,  
POUSSIN J.-C., SANTOIR C.,  
SECK S.M. (éd.), 1995 –  
*Nianga, laboratoire de l'agriculture irriguée en  
moyenne vallée du Sénégal.* Paris, Orstom,  
Coll. *Colloques et séminaires*, 562 pages.
- BONNEFOND P., CANEILL J., AURIOL O.,  
N'DIAYE M., MENVIELLE J., CLEMENT A., 1981 –  
*Etude des unités de production de paysans  
pratiquant la culture irriguée dans le cadre de  
la Saed.* Doc. multigraphié, 3 tomes, Isra-  
Orstom-Irat-INA P-G.
- DIAGNE M., 1995 –  
L'enherbement des rizières irriguées de la  
moyenne vallée du fleuve Sénégal. Situation  
actuelle et perspectives de recherche *In* :  
Boivin *et al.* (éd.). pp.189-204.
- DINGKUHN M., ASH F., MIEZAN K., 1992-a –  
Tolérance des variétés du riz irrigué à la  
salinité dans le Sahel. *In* : Adrao : *Rapport  
Annuel.* Bouaké, pp. 3-12.
- DINGKUHN M., DE DATA S.K., JAVELLANA C.,  
PAMPLONA R., SCHNIER H.F., 1992-b –  
Effect of late-season N fertilization on  
photosynthesis and yield of transplanted and  
direct-seeded tropical flooded rice. I. Growth  
dynamics. *Field Crops Res.*, 28 : 223-234.
- DINGKUHN M., SOW A.,  
SAMB A., DIACK S., ASCH F., 1994 –  
Climatic determinants of irrigated rice  
performance in the Sahel. I. Photothermal and  
micro-climatic responses of flowering. *Agr.  
Syst.*, 48 : 385-410.
- DINGKUHN M., LE GAL P.Y.,  
POUSSIN J.C., 1995 –  
Ridev, un modèle de développement du riz  
pour le choix des variétés et des calendriers.  
*In* : Boivin *et al.* (éd.). pp. 205-222
- DOLEDEC S., CHESSEL D., 1987 –  
Rythmes saisonniers et composantes  
stationnelles en milieu aquatique. I. Description  
d'un plan d'observation complet par projection  
de variables. *Acta Oecologica. Oecol. Gener.*,  
8 : 403-426.
- DURR C., 1984 –  
*Systèmes de culture et élaboration du  
rendement du riz (Oryza sativa L.) en  
Camargue.* Thèse de Doctorat. Paris, INA P-G.  
195 pages.
- JAMIN J.Y., CANEILL J., 1983 –  
*Diagnostic sur les systèmes de culture  
pratiqués dans le cadre de la Saed sur la rive  
gauche du fleuve Sénégal. T.3 : Etude des*

systèmes de culture irriguée. St Louis, Isra-Cirad-INA P-G, 285 pages + annexes.

KANTE S., 1996 –

Gestion de la mécanisation pour la préparation du sol. In : *Opération de recherche - développement pour l'amélioration de la production rizicole et la préservation de la ressource en sols. Rapport final 1995*. Orstom - Isra - PSI - Saed - FED, Dakar, pp. 26-42.

LEBART L., MORINEAU A.,

FENELON J.P., 1982 –

*Traitement des données statistiques. Méthodes et programmes*. Dunod, 2<sup>e</sup> édition, Paris, 518 pages.

LE GAL P.Y., 1995 –

*Gestion collective des systèmes de culture en situation d'incertitude : cas de l'organisation du travail en double culture dans le delta du fleuve Sénégal*. Thèse de doctorat. Paris, INA P-G, Cirad. 213 pages + annexes.

POUSSIN J.C., 1995-a –

Gestion technique de la riziculture irriguée. In : Boivin *et al.* (éd.). pp. 153-170.

POUSSIN J.C., 1995-b –

Direct seeding or transplanting ? The example of the Senegal middle valley. Atelier international sur la riziculture irriguée au Sahel. WARD A., Ndiaye, Senegal, March 27-31 1995. Actes à paraître.

**Annexe 1-a**  
**Pratiques culturales et états des 14 parcelles semées directement**

		SG1C	SG2C	IOJC	SG1H	SG2H	SG3H	G4H
<i>Pré-irrig.</i>	<i>date</i>	-	-	-21	-	-	-	-
Préparation du sol	<i>date</i>	-17	-17	-8	-17	-17	-17	-9
	<i>mode</i>	offset x 2	offset x 1	offset x 2	offset x 1	offset x 1	offset x 1	offset x 1
<i>Etat du sol</i>		<i>assez fin</i>	<i>motteux</i>	<i>assez fin</i>	<i>motteux</i>	<i>motteux</i>	<i>motteux</i>	<i>motteux</i>
Engrais de fond	<i>date</i>	-	-	-	-	-	-	-8
	<i>dose</i>	-	-	-	-	-	-	23-58-0
Désherbage pré-lévée	<i>date</i>	-	-	-	-7	-7	-7	-
	<i>dose</i>	-	-	-	ok	faible	faible	-
Semis	<i>date</i>	01/03	01/03	02/03	24/08	24/08	24/08	18/06
	<i>variété</i>	Aïwu (pg)	Aïwu (pg)	Aïwu (pg)	Jaya (pg)	Jaya (pg)	Jaya (pg)	Jaya (pg)
	<i>dose</i>	140	200	140	140	170	160	200
Lévée	<i>date</i>	15-25	15-25	15-25	8-15	8-15	8-15	8-15
	<i>observ.</i>	<i>homog.</i>	<i>homog.</i>	<i>homog.</i>	<i>très hétér.</i>	<i>très hétér.</i>	<i>très hétér.</i>	<i>hétérog.</i>
	<i>démar. adv.</i>	<i>démar. adv.</i>	<i>démar. adv.</i>	<i>peu d'adv.</i>	<i>nbx vides</i>	<i>nbx vides</i>	<i>nbx vides</i>	<i>démar. adv.</i>
Désherbage post-lévée	<i>date</i>	30	30	27	-	-	-	29
	<i>dose</i>	ok	faible	ok	-	-	-	faible
Repiquage des vides	<i>date</i>	-	-	-	27-30	33-35	14-15	-
	<i>stade</i>	-	-	-	tallage	tallage	levée	-
1er apport d'engrais	<i>date</i>	32	36	29	31	47	47	41
	<i>stade</i>	deb. tal.	deb. tal.	deb. tal.	tal. - fin tal	fin tal. - IP	fin tal. - IP	fin tal.
	<i>dose</i>	64-46-0	64-16-0	64-46-0	64-46-0	80-0-0	70-0-0	52-10-0
2e désherbage	<i>date</i>	38-49	46	-	27-30	-	-	-
	<i>mode</i>	manuel	chim. (ok)	-	manuel	-	-	-
<i>Initiation paniculaire</i>	<i>date</i>	60-65	60-65	60-65	45-60	45-60	45-55	50-55
	<i>observ.</i>	<i>densité faible</i>	-	-	<i>stade hétér.</i>	<i>stade hétér.</i>	<i>stade hétér.</i>	-
	<i>enherb.</i>	10-30 %	20-30 %	< 10 %	10-30 %	10-30 %	10-30 %	20-40 %
2e apport d'engrais	<i>date</i>	60	62	58	50	-	-	64
	<i>stade</i>	IP	IP	IP	IP +/- 8j	-	-	IP+10j
	<i>dose</i>	92-0-0	80-0-0	92-0-0	74-0-0	-	-	52-10-0
<i>Floraison</i>	<i>date</i>	80-85	80-85	80-85	75-90	75-90	75-90	75-85
	<i>% steril.</i>	0-12 %	0-12 %	0-12 %	0 %	0 %	0 %	0 %
<i>Maturité</i>	<i>date</i>	130	130	130	110-120	110-130	110-130	120
	<i>enherb.</i>	10-40 %	20-40 %	0-20 %	0-20 %	20-40 %	20-30 %	20-40 %
	<i>observ.</i>	<i>densité hétér.</i>	-	-	<i>stade hétér.</i>	<i>stade hétér.</i>	<i>stade hétér.</i>	-
Début récolte	<i>date</i>	135	140	135	120	131	136	149
		14/07	19/07	15/07	22/12	02/01	07/01	14/11

Annexe 1-a  
(suite)

		SN1H	PN8H	BK2H	IO2H	IOJH	DO1H	CP2H
Pré-irrig.	date	-	-	-	-	-23	-	-
Préparation du sol	mode	-8 offset x 1	-8 offset x 1	-18 offset x 1	-29 offset x 1	-4 offset x 1	-23 offset x 1	-7 offset x 1
<i>Etat du sol</i>		<i>motteux</i>	<i>motteux</i>	<i>motteux</i>	<i>motteux</i>	<i>motteux</i>	<i>motteux</i>	<i>motteux</i>
Engrais de fond	date dose	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
Désherbage pré-levée	date dose	- -	- -	- -	-2 faible	- -	-4 faible	- -
Semis	date variété dose	21/08 IKP (pg) 145	15/09 Aiwu (pg) 120	03/08 IR1529 (pg) 155	04/08 IKP (pg) 105	31/07 Jaya (pg) 135	07/08 IR1529 (pg) 160	25/08 IKP 170
Levée	date observ.	5-10 <i>hétérog.</i>	5-10 <i>hétérog.</i>	5-10 <i>hétérog.</i>	5-10 <i>très hétérog.</i>	5-10 <i>homog.</i>	5-10 <i>très hétérog.</i>	5-10 <i>hétérog.</i>
		<i>démar. adv.</i>	<i>démar. adv.</i>	<i>démar. adv.</i>	<i>nbx vides</i>	<i>démar. adv.</i>	<i>nbx vides</i>	<i>démar. adv.</i>
Désherbage post-levée	date dose	23 très faible	10 faible	15 faible	- -	23 ok	- -	32 très faible
Repiquage des vides	date stade	- -	- -	- -	20-22 deb. tall.	- -	17 3-4f	- -
1er apport d'engrais	date stade dose	28 deb. tal. 58-42-0	18 Deb. tal. 72-55-0	20 deb. tal. 123-89-0	25 deb. tal. 80-48-0	25 deb. tal. 64-46-0	- -	35 tallage 18-46-0
2e désherbage	date mode	- -	30-35 manuel	- -	- -	45-50 manuel	48-53 manuel	50-60 manuel
<i>Initiation paniculaire</i>	date observ. enherb.	40-45 - 10-40 %	40-45 - <10 %	45-50 - 10-30 %	40-45 - 10-30 %	50-55 - 0-20 %	45-60 <i>carence N</i> 10-30 %	45-55 <i>carence N</i> 20-40 %
2e apport d'engrais	date stade dose	- - -	52 IP+10j 92-0-0	63 IP+8j 134-0-0	48 IP 58-24-0	53 IP 92-0-0	53 IP 160-115-0	56 IP 18-46-0
<i>Floraison</i>	date % steril.	65-85 0 %	75-85 0 %	80-90 0 %	70-80 0 %	85-90 0 %	85-95 0 %	70-80 0 %
<i>Maturité</i>	date enherb. observ.	105 20-40 % <i>Riz Rouge</i>	100 <10 % -	110 20-30 % <i>Riz Rouge</i>	100 10-40 % -	115 0-20 % -	120 10-30 % <i>Riz Rouge</i>	104 20-40 % <i>Très hétérog.</i>
Début récolte	date	126 25/12	110 03/01	120 01/12	110 22/11	127 05/12	137 22/12	117 20/12



**Annexe 1-b**  
**Pratiques culturales et états des sept parcelles repiquées**

		IO2C	BK1H	IAH	IO1H	GB1H	GB2H	CP1H
P E	Semis date	26/02	30/06	03/07	30/06	11/07	11/07	11/07
	variété	Aiwu pg	IR1529 pg	IR1529	IR1529	IR1529	IR1529	Jaya
P	Désherbage mode	-	-	manuel	-	-	-	-
I N.	Engrais type	urée	urée	urée	urée	urée	urée	urée
				+ 18-46-0				
P A R C E L E	Pré-irrig. date	-16	-	-	-	-	-	-
	Préparation du sol date	-3	-18	-18	6	22	22	38
	mode	offset x 1	offset x 1	offset x 1	offset x 1	offset x 1	offset x 1	offset x 1
	Etat du sol	<i>motteux</i>	<i>motteux</i>	<i>motteux</i>	<i>motteux</i>	<i>motteux</i>	<i>motteux</i>	<i>motteux</i>
	Engrais de fond date	-	-	-	-	-	-	-
	dose	-	-	-	-	-	-	-
	Désherbage pré-levée date	51	-	-	27	-	-	-
	dose	faible	-	-	faible	-	-	-
	Repiquage date	53	22	40-48	32	31-38	40-45	52
	stade	tallage	deb tal.	tallage	tallage	tallage	tallage	fin tallage
	Désherbage post-levée date	-	-	63	-	56	58	77
	dose	-	-	faible	-	faible	faible	très faible
	1er apport d'engrais date	68	38	69	52	72	75	81
	stade	fin tal.	tallage	IP-10j	tallage	IP	IP	IP-8j
	dose	107-97-0	64-46-0	32-82-0	79-79-0	40-35-0	40-35-0	60-70-0
	2e apport d'engrais date	-	53-55	72-98	-	-	80-85	89-100
	désherbage mode	-	manuel	manuel	-	-	manuel	manuel
	Initiation paniculaire date	85-90	65-70	75-80	70-75	70-75	75-80	80-90
	observ.	<i>homog.</i>	<i>homog.</i>	<i>homog.</i>	<i>homog.</i>	<i>hétérog.</i>	<i>hétérog.</i>	<i>très hétérog.</i>
	enherb.	10-20 %	10-30 %	<10 %	0-20 %	20-40 %	20-40 %	30-50 %
2e apport d'engrais date	95	64	89	79	98	98	100	
stade	IP+5j	IP	IP+10j	IP+5j	épiaison	épiaison	fin mont.	
dose	53-0-0	70-0-0	55-0-0	48-0-0	30-0-0	30-0-0	70-0-0	
Floraison date	105-110	85-95	110-115	105-110	100-115	105-120	120-135	
% steri.	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	
Maturité date	130-135	125-135	135-140	130-140	130-145	140-160	140-160	
enherb.	0-20 %	20-30 %	0-20 %	0-10 %	20-50 %	10-30 %	30-50 %	
observ.	-	<i>Riz Rouge</i>	<i>Riz Rouge</i>	<i>Riz Rouge</i>	<i>Riz Rouge</i>	<i>Riz Rouge</i>	-	
Début récolte date	136	127	160	148	143	158	152	
		11/07	07/12	10/12	25/11	01/12	16/12	10/12

- les dates sont exprimées en nombre de jours après semis
- pg signifie que les semences ont subi une pré-germination
- les doses d'engrais sont notées dans l'ordre N-P-K
- l'enherbement est noté en pourcentage de recouvrement
- le taux de stérilité des épillets (% steri) a été calculé par simulation à l'aide du logiciel RIDEV



Pratiques  
et décisions

---



# Conduite des cultures pluviales et organisation du travail en Afrique soudano-sahélienne

Des déterminants climatiques  
aux rapports sociaux de production

Pierre Milleville

## Introduction

Les décisions prises par les agriculteurs dans la conduite de leurs cultures résultent de considérations d'ordre divers et de l'interférence de plusieurs niveaux d'organisation. Dans les agricultures pluviales des régions soudano-sahéliennes, l'influence des conditions climatiques sur les choix techniques et sur les résultats de production apparaît déterminante. L'adaptation au contexte pédo-climatique recouvre, d'une part l'adoption de principes de conduite contrastés suivant les grands types de milieux, d'autre part la faculté de réponse aux variations et aux événements, qui se traduit par des inflexions des modes de conduite en fonction des conditions particulières de chaque campagne. Les décisions tactiques modulent ainsi les options stratégiques.

La présentation de deux situations agricoles, l'une caractéristique du milieu sahélien, l'autre du milieu sud-soudanien, permettra de mettre en évidence deux modèles dominants de conduite des cultures pluviales. L'analyse d'une situation intermédiaire montrera ensuite que les comportements techniques peuvent procéder d'hybridations entre les deux modèles précédents, en fonction du profil climatique de l'année.

Les choix techniques opérés par les agriculteurs sur leurs parcelles ne résultent évidemment pas de la seule adaptation aux conditions de milieu. Elles

dépendent aussi de l'organisation et du fonctionnement de l'unité de production. On illustrera ce point à partir du troisième exemple présenté, en insistant sur une caractéristique forte de nombreux systèmes de production africains : la pluralité des centres de décision, liée à la diversité statutaire des acteurs au sein du groupe domestique, qui influencent fortement les principes d'organisation du travail et le fonctionnement de l'unité de production, et retentissent sur la conduite technique des parcelles de culture.

La compréhension des décisions techniques des agriculteurs, ainsi que la recherche d'alternatives, supposent de se référer conjointement à ces deux catégories de phénomènes : l'adaptation aux conditions pédo-climatiques (tant au niveau des normes qu'à celui des variations et des aléas) d'une part, l'organisation de la production à l'échelle de l'exploitation agricole d'autre part.

## Logiques techniques et conditions naturelles : du nord au sud, deux modèles dominants

### *De la rareté du temps...*

La région de l'Oudalan, à l'extrême Nord du Burkina Faso, est caractéristique d'une agriculture pluviale sahélienne, reposant sur la culture extensive du mil à l'aide de techniques exclusivement manuelles. Le mil (*Pennisetum glaucum*) constitue la culture pluviale quasi-exclusive de cette région. La saison des pluies y est de courte durée (trois mois environ) et la pluviométrie annuelle moyenne de l'ordre de 350 à 400 mm. Si l'irrégularité interannuelle des précipitations est élevée, celle de leur répartition au cours de la saison l'est plus encore. Les pluies de début de saison sont à caractère orageux, d'occurrence et de hauteur incertaines. L'ETP, même pendant la saison humide, excède largement les précipitations. Le contexte climatique se trouve donc dominé par l'aridité et l'aléa.

Le mil est cultivé prioritairement sur les sols dunaires, profonds et très sableux, qui présentent d'indéniables avantages dans de telles conditions : ruissellement négligeable, infiltration rapide, faible capacité de rétention. Les pertes d'eau par évaporation y sont de ce fait vite limitées, le système racinaire du mil colonise rapidement et en profondeur le profil, et l'essentiel de la lame d'eau infiltrée peut être utilisée par la végétation.

La logique technique de la conduite de culture du mil repose sur un principe essentiel : le semis le plus précoce possible, dès la première pluie utile. Semer tôt permet de limiter les risques de déficit hydrique en fin de cycle, en cas d'interruption précoce des pluies. En contrepartie, le semis précoce est affecté d'un risque d'échec élevé, en raison du fractionnement des pluies en début de campagne. De fait, le peuplement s'établit souvent grâce à des semis précoces et des resemis plus tardifs, réalisés à l'occasion des épisodes pluvieux successifs.

Après une pluie d'une vingtaine de millimètres, l'agriculteur ne dispose que d'un temps très bref pour procéder au semis, car l'essentiel de l'eau transite en profondeur par infiltration, tandis que les températures élevées provoquent un dessèchement rapide de la couche superficielle du sol. Deux jours après la pluie, il devient quasiment impossible de poursuivre le semis. Pouvoir implanter la culture sur une surface importante, à l'occasion d'une pluie isolée, suppose que sa mise en place soit très rapide, et que les risques d'échec puissent être assumés sans grand dommage. Ce qui est parfaitement le cas dans ces agricultures sahéennes, car des sols sableux faiblement enherbés peuvent être aisément travaillés en position debout, à l'aide d'outils légers à manche long : houe coudée destinée au creusement des trous de semis, et sarcloir de type *iler*. Le semis est réalisé en poquets à faible densité (5 000 à 6 000 poquets par hectare), sans préparation du sol préalable, et en mobilisant toute la main d'oeuvre familiale disponible, enfants compris. Quatre personnes travaillant ensemble peuvent ainsi, en 8 heures, emblaver une parcelle de 2,5 hectares, qui constitue la surface moyenne cultivée par unité de production. Cette opération implique donc un faible coût en travail, tout comme en semences (3 à 4 kg à l'hectare, en raison de la petitesse du grain de mil). Les paysans peuvent donc assumer des risques d'échec très élevés, par exemple en semant à l'occasion de pluies extrêmement précoces, et procéder à des resemis complets ou partiels. Le sarclage à l'*iler* est quant à lui d'exécution rapide (deux passages sont généralement effectués, à raison de 75 heures de travail effectif par passage et par hectare en moyenne), surtout si on le compare au travail à la houe réalisé dans des milieux similaires (Raulin, 1967 ; Guillaud, 1993) et *a fortiori* dans les régions plus méridionales, où l'enherbement est beaucoup plus massif.

Au total, on le voit, des itinéraires techniques extrêmement simples, ne faisant pas appel aux intrants, et peu exigeants en travail, permettent la mise en culture de surfaces étendues (2 ha environ par actif). Dans de tels systèmes de culture, il s'agit avant tout de valoriser au mieux une ressource rare, le temps, en essayant de tirer le meilleur parti de l'événement climatique et de la

fugacité des périodes propices (Marchal, 1989 ; Milleville, 1989). L'adaptation aux conditions naturelles est déterminante, et l'artificialisation du milieu cultivé reste très limitée.

### *... à l'abondance de l'herbe*

Au début des années 1970, les Manding et les Diola de moyenne Casamance, au sud du Sénégal, pratiquent une agriculture essentiellement manuelle, bien que des efforts soient alors entrepris pour y introduire la culture attelée bovine. Les terroirs s'organisent le long de toposéquences, où se succèdent une zone argileuse inondable en bordure de fleuve, puis un vaste versant où, sur des sols ferrugineux tropicaux, coexistent arachide, maïs, sorgho, mil et jachères, enfin une zone de plateau aux sols ferralitiques, où les défrichements forestiers progressent afin d'y implanter en alternance arachide et céréale. L'arachide (variétés tardives de 120 jours) représente les deux tiers des surfaces consacrées aux cultures pluviales, et les disponibilités en terre demeurent grandes.

Dans ce milieu sud-soudanien (pluviométrie annuelle de l'ordre de 1 200 mm), la longueur de la saison humide autorise un certain étalement des semis, même si l'implantation précoce des cultures pluviales constitue le meilleur gage d'obtention de rendements élevés. Les niveaux de risque climatique sont beaucoup moins importants qu'en région sahélienne, et les agriculteurs moins contraints de réaliser les semis dès les premières pluies utiles. Le semis de l'arachide peut ainsi être étalé sur plus d'un mois au sein d'une même parcelle.

Par contre, une contrainte forte s'impose, compte tenu des disponibilités en eau : l'enherbement. Les plantes adventices prolifèrent rapidement, et exercent une forte compétition sur les cultures. Les agriculteurs parviennent à en assurer la maîtrise de deux façons :

- la première consiste à exécuter une préparation du sol avant semis, afin de débarrasser le sol des adventices déjà levées. Alors que les premiers semis, réalisés dès les premières pluies, le sont généralement sur sol nettoyé mais non travaillé, les suivants supposent un travail du sol préalable, permettant à la plante cultivée de s'implanter sans préjudice d'une concurrence des adventices en début de cycle, et de différer la réalisation du premier sarco-binage. Le rôle joué par le travail du sol dans le contrôle de l'enherbement apparaît déterminant dans les agricultures paysannes des régions soudaniennes et des zones tropicales humides. On constate d'ailleurs que la préparation du sol est généralement absente lorsque ne se pose pas de contrainte d'enherbement



(semis réalisés sur un sol propre dès les premières pluies, ou implantation de cultures pionnières après défriche-brûlis) ;

– la deuxième manière de maîtriser l'enherbement réside dans l'étalement de l'implantation des cultures (sur une même parcelle et/ou sur les différentes parcelles de l'exploitation), afin d'étaler la réalisation des sarclo-binages (et tout particulièrement du premier), compte tenu des besoins en travail qu'ils exigent. Même en culture attelée, le désherbage manuel reste en effet le poste d'emploi le plus lourd. Et l'on comprend l'accueil favorable réservé à l'herbicide par nombre d'agriculteurs des régions cotonnières, en raison du temps de travail qu'il permet d'économiser lors du premier sarclo-binage et de la meilleure maîtrise de l'enherbement qu'il autorise.

Ces deux principes de conduite des cultures sont étroitement associés et interdépendants (Milleville, 1972). Le travail du sol, de par les besoins en travail qu'il requiert en culture manuelle, est nécessairement étalé dans le temps, permettant ainsi d'ajuster, dans une certaine mesure, le déroulement des interventions de désherbage à l'envahissement progressif des adventices sur la superficie cultivée. D'autant plus qu'un travail du sol tardif a pour conséquence de neutraliser une biomasse adventice déjà importante, et de limiter de ce fait la vitesse et l'ampleur du ré-envahissement ultérieur, permettant ainsi de différer et d'alléger les opérations de désherbage. A l'opposé, un semis précoce réalisé sans travail du sol préalable exige des interventions de désherbage plus précoces, plus nombreuses et plus lourdes.

Contrairement à ce qui prédomine en régions sahéliennes, les instruments aratoires sont ici constitués d'outils à manche court, maniés en position courbée. Les besoins en travail pour l'exécution des différentes opérations culturales y sont considérablement plus élevés.

Le changement technique peut sensiblement modifier les données de cette logique de conduite des cultures. Si l'adoption de la culture attelée est envisagée à travers la seule technique du labour, et sans recours au désherbage chimique, il est ainsi possible que le profit attendu d'une implantation des cultures plus précoce et moins étalée dans le temps qu'elle ne l'était en culture manuelle soit en grande partie neutralisé par un contrôle défectueux de l'enherbement au cours du cycle. Il s'agit bien d'assurer la maîtrise de l'itinéraire technique dans son ensemble, ou plutôt des itinéraires techniques sur un ensemble de cultures et de surfaces, compte tenu d'objectifs de production et de moyens disponibles. Pour ce faire, l'agriculteur doit nécessairement adopter des compromis, sans chercher par exemple à obtenir le plus haut rendement possible sur les surfaces semées le plus tôt.

Dans l'ensemble de la grande région soudano-sahélienne, chacun des deux modèles précédents s'exprime avec plus ou moins de force selon les conditions locales de milieu. De fait, une situation agricole donnée emprunte à la fois à l'un et à l'autre de ces modèles, et combine dans une certaine mesure ces deux types de logique technique. Les situations agricoles intermédiaires rendent bien compte de cette hybridation.



## Flexibilité technique en conditions intermédiaires

L'exemple choisi ici concerne la zone des « terres neuves » du Sénégal, située au nord de la Gambie à une centaine de kilomètres à l'ouest de Tambacounda, qui a fait l'objet d'un projet de colonisation agricole organisé par les pouvoirs publics à partir de 1972. Ce projet s'appuyait sur l'installation de migrants sereer originaires du Sine, région surpeuplée du bassin arachidier. Une recherche d'accompagnement de ce projet avait été réalisée lors des premières années, et de nouvelles enquêtes y ont été menées à la fin des années 1980 (Dubois et Milleville, 1979 et 1996).

La région des terres neuves est sous la dépendance d'un climat de type nord-soudanien (pluviométrie annuelle de 600 à 800 mm). Les migrants ont mis en culture des sols ferrugineux tropicaux, sablo-limoneux, après défrichement du couvert forestier.

La vulgarisation entreprise dans le cadre du projet consistait à diffuser auprès des agriculteurs un modèle agricole intensif, fondé sur la diversification des cultures, l'utilisation de variétés sélectionnées, l'adoption de la traction attelée bovine, le labour, la fertilisation minérale. Il s'est vite avéré que, dans ces conditions de grandes disponibilités en terre, un tel modèle était profondément détourné par les agriculteurs, au profit de systèmes de culture beaucoup plus extensifs, en raison notamment du rejet total ou partiel des thèmes techniques exigeants en travail à l'unité de surface. Priorité était ainsi donnée par les agriculteurs à la productivité de leur travail, facteur rare de la production. Le grattage superficiel du sol à l'aide de houes attelées a été d'emblée substitué au labour, la culture cotonnière totalement abandonnée, l'engrais appliqué à des doses très inférieures aux recommandations, tandis que le cheval tendait à compléter, voire à supplanter, la paire de boeufs dans les travaux de culture attelée, en raison de sa plus grande rapidité. La péjoration prolongée des conditions pluviométriques et celle du contexte économique ont par la suite accentué ces tendances : abandon des espèces et variétés à cycle long, avec

adoption d'un assolement limité à une arachide semi-hâtive et un mil à cycle court de type *souna*, abandon total de la fertilisation minérale. Au cours du temps, la dérive amorcée s'est donc confirmée, et même amplifiée.

La comparaison du déroulement des calendriers culturaux d'une quinzaine d'exploitations au cours de deux campagnes successives permet d'éclairer l'influence des conditions climatiques sur les choix techniques des agriculteurs.

L'hivernage 1986 est tardif (fig. 1) : les premières pluies utiles, qui totalisent 40 mm environ, ne tombent que les 28 et 29 juin. Tous les agriculteurs procèdent alors sans attendre au semis du mil *souna*, opération rapide qui sera quasiment achevée dès le 1er juillet. Le semis de l'arachide débute immédiatement après celui du mil, tandis que certains agriculteurs choisissent d'effectuer un grattage du sol à l'occasion de ces premières pluies. Mais la préparation du sol avant semis ne concerne en 1986 que des surfaces réduites : sur 14 exploitations, seules quatre y ont recours dès le début de saison, trois la pratiquent peu et tardivement, et sept réalisent la totalité des semis sans travail du sol préalable. 58 % des surfaces travaillées en 1986 le sont avant le 8 juillet, date du nouvel épisode pluvieux (deuxième pluie utile : 12 mm les 8 et 9/07). Au 20/07, 86 % des surfaces d'arachide ont été semées, et il faut attendre le retour des pluies des 2, 3 et 4 août (85 mm) pour emblaver les dernières parcelles. La dernière décade de juillet est en effet presque totalement sèche, et est mise à profit par les agriculteurs pour débiter les sarclages. La période active de semis de l'arachide (dernières parcelles exclues) a donc été de 20 jours en 1986, et 74 % de la surface a été semée en 13 jours seulement, du 8 au 20/07 (fig. 2).

Globalement, le mois de juillet est fortement déficitaire (73 mm), le mois d'août conforme à la normale (près de 200 mm, sans interruption notable des précipitations), et le mois de septembre très pluvieux (225 mm). En 62 jours, du 2/08 au 2/10, tombent 456 mm, soit 77 % du total des précipitations de la campagne. Dès le début du mois d'août l'enherbement est massif, et nulle période de sécheresse ne permet par la suite de le contrôler efficacement. Tous les agriculteurs se sont plaints de l'enherbement cette année là, et sa maîtrise aura été particulièrement défectueuse sur céréales, dont l'entretien a été négligé au profit de l'arachide. La campagne 1986 conjugue donc paradoxalement un déficit pluviométrique global intense (594 mm au total, soit une pluviométrie équivalente à celle de 1972 !) et un enherbement massif. Cet état de fait résulte de l'interaction entre les paramètres de pluviosité et la stratégie de conduite des cultures : un hivernage tardif, poussant les agriculteurs à semer le plus rapidement possible céréales et arachide (en faisant donc peu

appel au travail du sol préalable), et reportant le début des sarclages à la fin de la période des semis ; enfin une longue période continuellement pluvieuse dès le début du mois d'août, pénalisant gravement la qualité et l'efficacité des sarclages.

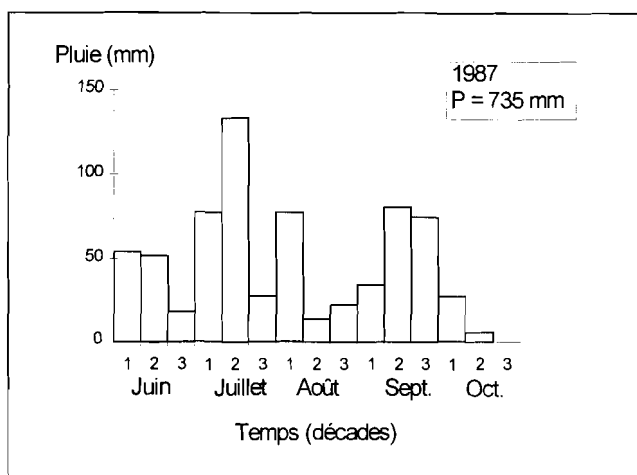
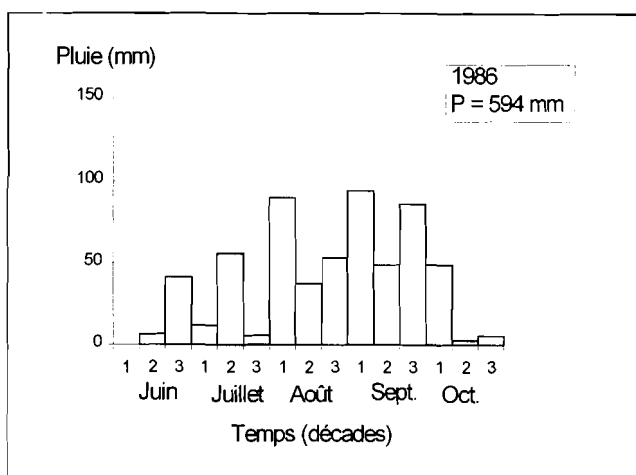


Figure 1 — Pluviométrie décadaire, 1986 et 1987 (village de Meneto, Terres Neuves).

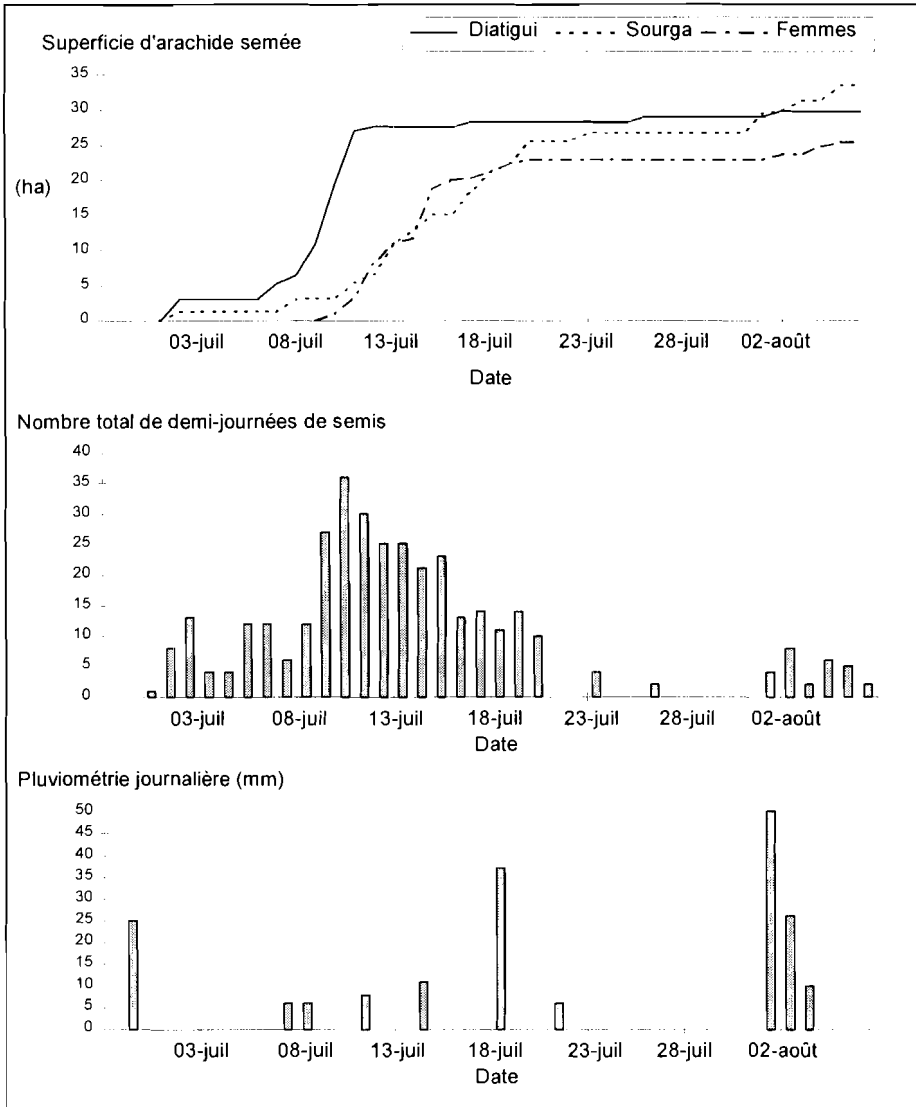


Figure 2 — Pluviométrie journalière et progression des semis d'arachide en 1986 : globalement et par catégories.

Les conditions de la campagne 1987 sont bien différentes (fig. 1). L'hivernage débute précocement, le 8 juin, avec une succession de pluies qui totalisent 90 mm en cinq jours. A ce premier épisode pluvieux succèdent plusieurs pluies utiles espacées de périodes sèches plus ou moins longues : suivant les

lieux, 17 à 40 mm le 17/06, 9 à 17 mm le 22/06, 20 à 42 mm les 2 et 3/07, 40 à 60 mm le 10/07, 60 mm les 14 et 15/07. Les agriculteurs, comme en 1986, procèdent au semis du mil dès la première pluie. Mais, contrairement à l'année précédente, la plupart d'entre eux exécutent un travail du sol sur des surfaces plus ou moins grandes à partir du 11/06, et cette opération se poursuivra jusqu'au 15/07. Sur quinze exploitations, dix pratiquent cette année là le grattage du sol intensément, quatre de façon limitée, et une seule n'y a pas du tout recours. Les semis d'arachide débutent le 12/06, et ne sont quasiment achevés que le 17/07. Leur répartition indique clairement la stratégie adoptée : à l'occasion de chaque épisode pluvieux, et compte tenu de la hauteur des précipitations, le semis est réalisé pendant deux ou trois jours, puis abandonné au profit du grattage du sol ou du sarclage jusqu'à la pluie suivante (fig. 3). Les semis sont ainsi interrompus durant neuf jours, du 24/06 au 2/07. 41 % des semis sont réalisés en juin, à l'occasion de trois pluies, et 59 % en juillet. La période de mise en place de l'arachide est beaucoup plus étalée qu'en 1986 (37 jours).

La fin du mois de juillet 1987 est sèche et les précipitations du mois d'août sont plus faibles qu'en 1986. Ces conditions, associées au fait qu'une préparation du sol a été réalisée sur une part appréciable des surfaces d'une part, et à l'alternance des phases de semis et de sarclage jusqu'à la mi-juillet d'autre part, expliquent que l'enherbement a pu être maîtrisé cette année là de manière satisfaisante, malgré une pluviométrie totale (735 mm) bien supérieure à celle de la campagne précédente. Mais il faut souligner que la durée des travaux cultureux ne s'en est pas trouvée allongée pour autant, tout au moins pour ce qui concerne les interventions de culture attelée : dans la plupart des exploitations les sarclages étaient en effet achevés au 15/08, alors qu'ils s'étaient poursuivis jusqu'à fin août-début septembre en 1986.

L'examen de l'organisation des travaux cultureux au cours de ces deux années aux profils climatiques bien tranchés éclaire la logique du comportement technique des agriculteurs. La région des terres neuves peut être considérée, en ce qui concerne la conduite des systèmes de culture, comme combinant les deux grandes tendances évoquées précédemment, caractéristiques pour l'une des conditions sahéennes, pour l'autre des conditions soudaniennes :

- dans le premier cas, la ressource rare est le temps. Il s'agit de tirer le meilleur parti de la brièveté de la saison humide et de la fugacité des périodes favorables. L'agriculteur cherche à mettre en place ses cultures précocement pour s'assurer d'une espérance de rendement élevé. Il convient alors de disposer de techniques d'installation de la culture rapides à mettre en oeuvre, et de limiter autant que faire se peut les risques encourus ;

– dans le second cas, l'enherbement constitue une contrainte majeure. Pour en assurer le contrôle de manière satisfaisante (hors de toute lutte chimique), deux techniques sont possibles, et d'ailleurs généralement associées : d'une part, allonger la période de semis afin de répartir dans le temps l'opération de sarclage, qui constitue le principal poste de travail ; d'autre part, retarder et limiter la prolifération des adventices par des techniques appropriées de travail du sol avant semis.

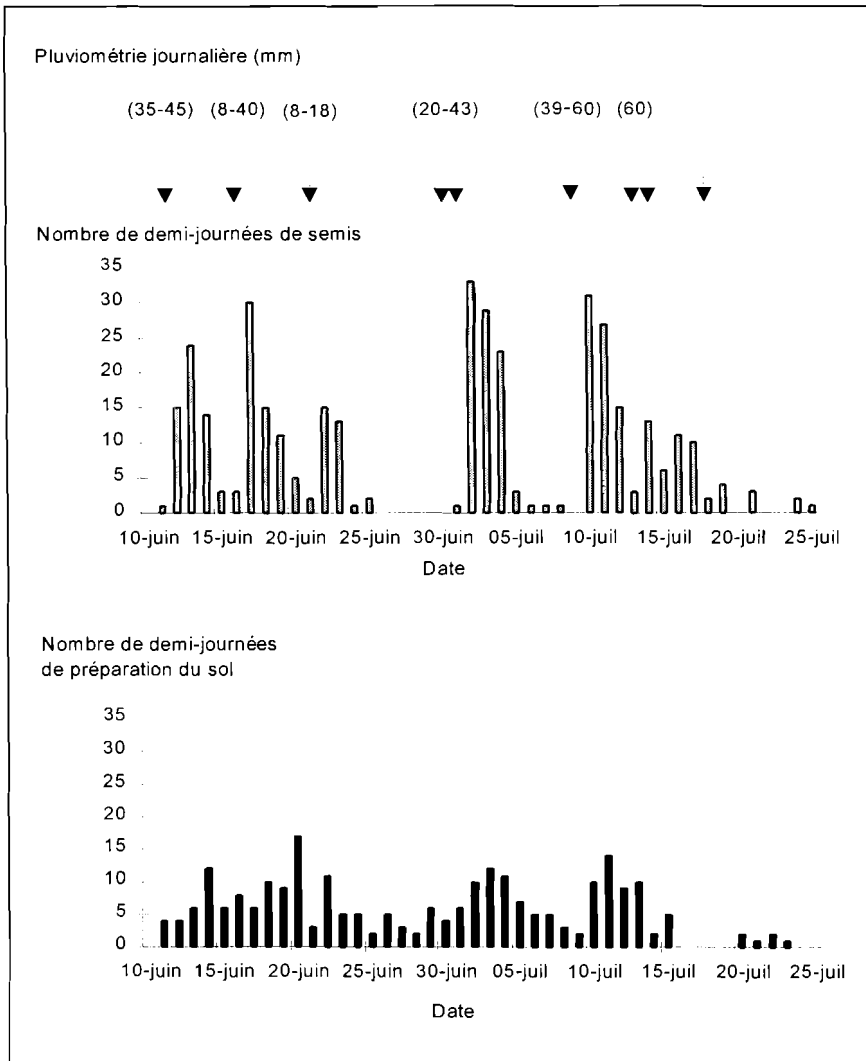


Figure 3 — Pluviométrie journalière, progression de la préparation du sol et du semis sur les parcelles d'arachide en 1987.

Le profil climatique de l'année conditionne le poids respectif de ces deux grands principes de conduite des cultures pluviales. En 1986, c'est à l'évidence la première tendance qui l'emporte : la saison des pluies s'engage tardivement et les agriculteurs donnent la priorité au semis, avec les conséquences qui en résulteront compte tenu de l'évolution ultérieure de la pluviosité. C'est l'inverse en 1987, avec l'arrivée précoce des premières pluies et la fragmentation des pluies suivantes.

Le comportement technique adopté varie par ailleurs avec la nature de la culture. Le fait (qui ne souffre pas d'exception) de semer le mil avant l'arachide, dès la première pluie utile et sans travail du sol préalable, ne peut être interprété (contrairement à certaines idées reçues) comme une priorité accordée par les agriculteurs à leurs cultures vivrières. Elle traduit au contraire l'acceptation d'un risque d'échec élevé pour la culture céréalière, que justifient le coût dérisoire de la semence et la faible quantité de travail requis par le semis.

L'adaptation aux conditions pédo-climatiques constitue un niveau de détermination essentiel, mais non exclusif, de gestion des systèmes de culture par les agriculteurs. Leurs décisions techniques s'inscrivent bien entendu aussi dans un contexte socio-économique donné, et dans le fonctionnement d'unités de production qui ont des objectifs et des principes d'organisation spécifiques. On s'appuiera sur le même exemple que précédemment pour en donner une illustration.

## Conduite des systèmes de culture et organisation sociale de la production

Les principes d'organisation et de fonctionnement des exploitations agricoles du bassin arachidier sénégalais sont bien connus (Lericollais, 1972 ; Dubois, 1975 ; Gastellu, 1980 ; Benoit-Cattin et Faye, 1982). Alors que la gestion des travaux sur les cultures céréalières destinées à l'approvisionnement de la « cuisine » est placée sous la responsabilité directe du chef d'exploitation, la conduite des parcelles d'arachide renvoie aux statuts de leurs attributaires, à travers des règles plus ou moins strictes régissant, au sein de l'exploitation, les échanges de travail et l'accès aux moyens de production. Trois catégories d'« actifs exploitants » doivent être distinguées : le *diatigui* (chef d'exploitation), les femmes et les *sourga* (actifs masculins dépendants). Parmi ces derniers, il convient, au moins en première analyse, de faire la part des membres résidents du groupe familial, qui peuvent être mariés ou célibataires, et



des *navétanes*, qui sont des travailleurs saisonniers. Ces derniers sont particulièrement nombreux dans les terres neuves, compte tenu de l'étendue des terres encore disponibles. Chaque *sourga* doit en principe au *diatigui* (sur ses parcelles de céréales ou d'arachide) quatre matinées de travail par semaine durant la saison de culture. Il est clair que la présence de *sourga* profite au *diatigui*, en lui permettant notamment d'accroître sa surface d'arachide. Dans bien des cas, lorsque l'exploitation atteint une certaine taille, les *sourga* se substituent d'ailleurs totalement au *diatigui*, qui ne participe plus directement aux travaux cultureux et se contente de superviser l'organisation du travail et l'affectation des moyens de production au sein de l'unité de production. Coexistent donc dans l'exploitation un centre de décision principal (le *diatigui*), et des centres de décision secondaires (les autres actifs exploitants) jouissant d'une certaine marge de liberté quant à l'organisation du travail sur leurs propres parcelles. La généralisation de la culture attelée a quelque peu fait évoluer (mais sans les bouleverser) les règles stipulant les obligations des *sourga*, qui ont bien entendu accès pour leur propre compte à l'équipement de l'exploitation, sous le contrôle et l'arbitrage du *diatigui*.

La distinction des tâches entre hommes et femmes s'est, quant à elle, sans aucun doute trouvée renforcée par la mécanisation, en limitant pour l'essentiel au sarclage manuel la contribution de la femme aux opérations spécifiquement culturelles (sa participation au décorticage de l'arachide restant par ailleurs déterminante, et celle au vannage exclusive). Il est en effet rare de voir la femme participer aux travaux de culture attelée, qui reste la prérogative des hommes. Ce n'est que dans les cas où un seul actif masculin est présent dans l'exploitation, et qu'il ne peut être secondé efficacement par un enfant, que son épouse l'aide à diriger le cheval. Il en résulte que les femmes bénéficient sur leurs propres parcelles de prestations de travail de la part des hommes pour toutes les opérations de culture attelée. Elles fournissent en retour une certaine quantité de travail pour le sarclage des parcelles d'arachide du *diatigui*. Leur participation au sarclage des céréales demeure très limitée, conformément à la « norme » habituelle.

Le *diatigui* ne bénéficie pas seulement de prestations de travail de la part des autres actifs de l'exploitation. Il exerce également un droit de priorité pour l'accès aux moyens de production. L'examen du déroulement des travaux au cours de la campagne le montre sans aucune ambiguïté.

En 1986, l'ordre dans lequel s'effectuent les semis est dans tous les cas le suivant : mil du *diatigui* - mil des dépendants - arachide du *diatigui* - arachide des dépendants. Au 10/07, le semis avait ainsi été entrepris sur 82 % des

parcelles des *diatigui*, alors qu'il n'avait débuté que sur 17 % des parcelles des *sourga* et sur 6 % des parcelles des femmes (fig. 2).

On observe en 1987, on l'a vu, des semis plus précoces, plus étalés et plus fragmentés dans le temps que l'année précédente. A l'issue des deux premiers épisodes pluvieux, et une fois achevé le semis du mil, celui de l'arachide a été engagé sur 60 % des parcelles des *diatigui*, 32 % des parcelles des *sourga* et 26 % des parcelles des femmes (fig. 3). La troisième pluie est consacrée à l'emblavement des seules parcelles des *sourga*. Après la quatrième pluie, le semis a été réalisé sur 90 % des parcelles des *diatigui*, 84 % des parcelles des *sourga* et 50 % des parcelles des femmes. La moitié de ces dernières ne seront finalement semées qu'à l'occasion des cinquième et sixième pluies, à partir du 10/07.

On aurait pu penser que dans des exploitations bien équipées, bénéficiant de plusieurs attelages et d'une main d'oeuvre abondante, de telles règles s'assouplissent au cours du temps et que l'établissement de la culture arachidière puisse s'effectuer de manière plus synchrone (et partant plus « égalitaire ») sur les différentes parcelles. Nous avons formulé cette hypothèse à l'issue des trois premières campagnes du projet Terres Neuvés (1972-74), à une époque où des contraintes en équipement et(ou) en force de travail s'imposaient encore à la plupart des exploitations. Il faut bien constater aujourd'hui qu'il n'en est rien, tout au moins en ce qui concerne la hiérarchie entre *diatigui* et dépendants. On constate en effet que les différents attelages présents dans une exploitation travaillent généralement ensemble pour les opérations d'installation de la culture : ce sont en fait de véritables « chantiers » qui peuvent être ainsi organisés, principalement (mais non exclusivement) sur les parcelles des *diatigui*, associant travaux de semis, de préparation du sol ou de *radou* (premier sarclage réalisé en culture attelée, juste après le semis, avant la levée des plantules d'arachide). La possibilité de mobiliser en même temps plusieurs attelages est donc mise à profit pour semer chaque parcelle (et d'abord celle du *diatigui*) dans le laps de temps le plus court possible, plutôt que pour réduire les disparités entre les différentes parcelles de l'exploitation. On retrouve un type d'organisation similaire pour la réalisation des sarclages. Le *diatigui* en est évidemment le principal bénéficiaire. C'est donc bien à la fois quantitativement et en terme d'opportunité qu'il profite des prestations de travail de la part de ses *sourga*.

Les règles observées en matière d'échange et d'organisation du travail dans les exploitations induisent une forte disparité des rendements et plus encore des productions d'arachide entre les différentes catégories d'attributaires. A la fin des années 1980, la situation demeure sur ce plan identique à celle des

premières campagnes du projet : les rendements de l'arachide sur les parcelles des dépendants, et sur celles des femmes en particulier, restent systématiquement inférieurs à ceux obtenus par les *diatigui*. En 1985, 1986 et 1987, les rendements moyens étaient ainsi respectivement de 1 100, 1 195 et 1 605 kg/ha sur les parcelles des *diatigui*, de 870, 995 et 1 390 kg/ha sur celles des *sourga*, et de 750, 750 et 1 095 kg/ha sur les parcelles des femmes. Ces dernières, semées et sarclées tardivement, apparaissent particulièrement pénalisées. Si l'on considère que la surface moyenne d'arachide est de 2 ha pour un *diatigui*, 1 ha pour un *sourga* et 0,50 ha pour une femme, on comprend que les productions moyennes puissent varier dans des proportions de un à plus de six entre ces trois catégories d'attributaires.

## Conclusion

Les choix techniques ne procèdent pas de déterminations simples, ni strictes. Certes, il est des situations où la rigueur des contraintes écologiques limite singulièrement la marge de manoeuvre des agriculteurs. Dans certains cas extrêmes, il semble même exister peu d'autres alternatives que de faire ou ne pas faire, car la gamme des modalités d'exécution des techniques est quasiment inexistante. Mais dans la grande majorité des cas, les choix possibles sont diversifiés, et les agriculteurs tirent volontiers parti de cette possibilité de diversification afin de limiter les risques et d'assurer le plein emploi des facteurs de production les plus rares.

L'agriculture n'est pas qu'affaire de confrontation de l'homme avec la nature. Elle repose aussi sur des formes d'organisation sociale, sur des héritages et des emprunts, sur des projets individuels et collectifs. Il serait dès lors périlleux de considérer l'adaptation aux conditions naturelles comme un facteur explicatif surdéterminant des choix techniques.

Les décisions prises par les agriculteurs en matière de conduite des cultures le sont au sein d'ensembles organisés, finalisés et dimensionnés. La parcelle, la sole d'une culture (Aubry, 1995), la surface gérée par un attributaire ou par une catégorie donnée d'attributaires, l'ensemble des parcelles d'une exploitation, constituent des niveaux pertinents de gestion des systèmes de culture. Ce qui est observable à une échelle réduite résulte pour partie de compromis et d'arbitrages réalisés à des niveaux plus englobants. C'est bien pour cette raison que les choix techniques de l'agriculteur, inévitablement contingents, ne peuvent que s'écarter des modèles « à imiter » qu'a longtemps prétendu promouvoir une agronomie prescriptive, en vertu de critères d'optimisation qui ne tenaient pas réellement compte des niveaux d'organisation et des

contraintes dans lesquels les agriculteurs exercent leur activité. On doit dès lors se réjouir de voir les agronomes s'intéresser de plus en plus aux processus de décision des agriculteurs et à la gestion de leur production (Sebillotte et Soler, 1988 ; Cerf *et al.*, 1990). Il s'agit sans doute d'une voie plus difficile, mais aussi plus réaliste, d'évaluation des perspectives de changement technique en agriculture.

## Références bibliographiques

- AUBRY C., 1995 –  
*Gestion de la sole d'une culture dans l'exploitation agricole. Cas du blé d'hiver en grande culture dans la région picarde.* Thèse de Doctorat. INA P-G, Paris, 283 pages + annexes
- BENOIT-CATTIN M., FAYE J., 1982 –  
*L'exploitation agricole familiale en Afrique Soudano-Sahélienne.* Paris, PUF, ACCT.
- CERF M., PAPY F., AUBRY C., MEYNARD J.M., 1990 –  
 Théorie agronomique et aide à la décision. In : Brossier J., Vissac B., Le Moigne J.L. (éd.) : *Modélisation systémique et système agraire; Décision et organisation.* Paris, Inra, pp. 181-202.
- DUBOIS J.P., 1975 –  
 Les Serer et la question des Terres Neuves au Sénégal. *Cah. Orstom, sér. Sci. Hum.*, 12 (1) : 81-120.
- DUBOIS J.P., MILLEVILLE P., 1996 –  
 L'activité agricole dans les terres neuves. In : Lericollais A. (éd.) : *Evolution des systèmes de production sereer au Sénégal.* Paris, Orstom (à paraître).
- GASTELLU J.M., 1980 –  
 Mais où sont donc ces unités économiques que nos amis cherchent tant en Afrique ? *Cah. Orstom, sér. Sci. Hum.*, 17 (1) : 3-11.
- GUILLAUD D., 1993 –  
*L'ombre du mil. Un système agropastoral en Anibinda (Burkina Faso).* Paris, Orstom, coll. *A travers champs*, 321 pages.
- Lericollais A., 1972 –  
*Sob, étude géographique d'un terroir sérèr (Sénégal).* Paris, Orstom, coll. *Atlas des structures agraires au sud du Sahara*, 7, 110 pages.
- MARCHAL J.Y., 1989 –  
 En Afrique soudano-sahélienne : la course contre le temps. Rythmes des averses et forces de travail disponibles. In : Eldin M. et Milleville P. (éd.) : *Le risque en agriculture.* Paris, Orstom, coll. *A travers champs*, pp. 255-267.
- MILLEVILLE P., 1972 –  
 Approche agronomique de la notion de parcelle en milieu traditionnel africain : la parcelle d'arachide en moyenne Casamance. *Cah. Orstom, sér. Biol.*, n° 17, 23-37.
- MILLEVILLE P., 1989 –  
 Activités agro-pastorales et aléa climatique en région sahélienne. In : Eldin M. et Milleville P. (éd.) *Le risque en agriculture*, Paris, Orstom, coll. *A travers champs*, pp. 233-241.
- MILLEVILLE P., DUBOIS J.P., 1979 –  
 Réponses paysannes à une opération de mise en valeur de terres neuves au Sénégal. In : *Maîtrise de l'espace agraire et développement en Afrique tropicale.* Paris, Mémoire Orstom n° 89, pp. 513-518.
- RAULIN H., 1967 –  
*La dynamique des techniques agraires en Afrique tropicale du nord.* Paris, CNRS, *Etudes et Doc. Inst. Ethnologie*, 223 pages.
- SEBILLOTTE M., SOLER L.G., 1988 –  
 Le concept de modèle général et la compréhension du comportement de l'agriculteur. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 74 (4), 59-70.

# Fonctionnement des systèmes d'élevage extensif

Cadre conceptuel et application à deux types d'élevage andin d'altitude

Didier Genin

## Introduction

On observe une très grande variabilité dans les modes de conduite de l'activité d'élevage, en fonction des objectifs et opportunités de production des paysans. Certains valorisent par l'intermédiaire d'animaux des espaces non utilisables pour d'autres activités sans avoir une action déterminante immédiate à la fois sur les populations animales et sur les ressources (bovins « broncos » au Mexique, élevage traditionnel de rennes par exemple), d'autres introduisent des pratiques et des techniques visant une plus grande maîtrise du milieu (systèmes herbagers, systèmes agro-pastoraux, ranchs amazoniens, etc.), d'autres enfin recherchent une artificialisation extrême des moyens et conditions de production (élevage hors sol d'animaux manipulés génétiquement par exemple). Les systèmes d'élevage extensif s'inscrivent dans la catégorie de modes de mise en valeur agricole qui reposent sur une forte adaptation aux conditions du milieu. En ce sens, les caractéristiques biologiques et écologiques des facteurs de production *sensu stricto* sont des éléments importants qui conditionnent en grande partie l'élaboration de la production. Il s'agit en général de systèmes de production qui ne requièrent pas de lourds moyens techniques et qui mobilisent une quantité limitée d'intrants. Les systèmes d'élevage extensif occupent cependant une plage étendue dans ce continuum de domestication-artificialisation des conditions de production. Il apparaît alors important d'essayer de comprendre comment s'élaborent les décisions quant à la définition des objectifs de production et en matière de pratiques

d'élevage. Ceci pourrait permettre d'orienter des voies de recherche visant à proposer des alternatives plus en accord avec les représentations que se font les paysans de leurs activités productives.

Dans le cadre du programme de recherche mené entre 1991 et 1996 sur les systèmes d'élevage extensif de l'altiplano bolivien, deux cas de figure apparaissent suffisamment différents pour permettre de tenter une ébauche théorique du fonctionnement de ces systèmes, et de s'en inspirer pour orienter les recherches qui y sont menées. Il s'agit d'un système purement pastoral, où les contraintes du milieu sont extrêmes, et d'un système agro-pastoral dans lequel agriculture et élevage sont étroitement associés au sein de l'unité de production familiale.

## Un cadre conceptuel pour l'étude du fonctionnement des systèmes d'élevage

La démarche que nous avons adoptée a reposé sur la notion classique de système d'élevage défini comme « un ensemble de pratiques et de techniques mises en oeuvre par l'homme afin d'obtenir des produits, des services ou des satisfactions, provenant d'animaux domestiques et ce, dans un contexte écologique, culturel et socio-économique donné » (Alzerreca et Genin, 1992). Cette définition a été choisie plutôt que celle proposée par Landais *et al.* (1987), car nous considérons cette dernière trop restrictive par rapport aux objectifs : « valoriser des ressources par l'intermédiaire d'animaux domestiques », alors qu'il s'agit souvent en premier lieu d'obtenir des produits animaux — matériels ou immatériels — par opposition aux produits végétaux.

Le système d'élevage est représenté par trois pôles : l'homme, les animaux, les ressources, qui ont fait l'objet de descriptions détaillées par Lhoste (1984). Son analyse consiste en l'étude des composantes propres à chacun de ces pôles mais aussi à rendre compte des phénomènes caractéristiques de leurs interfaces. Comme le souligne E. Landais (1994) le système d'élevage n'est pas de l'ordre des choses, mais de celui des concepts. C'est un outil potentiel visant une représentation plus intégrée d'un phénomène complexe et qui pourrait permettre au zootechnicien d'évaluer la pertinence des propositions techniques qu'il pourrait être amené à faire. Il s'agit alors d'avoir une compréhension plus fine des grandes orientations qui guident les prises de décisions en matière d'organisation et de conduite de l'élevage. L'étude d'un système d'élevage suppose donc de s'intéresser à la fois à l'élaboration de la production et à « l'univers de pensée » de l'éleveur (Darré, 1985), lequel

inclut certains aspects des systèmes de représentations propres à une société et d'autres propres à l'individu.

Cette approche pose un certain nombre de problèmes méthodologiques qui font l'objet de recherches importantes depuis une vingtaine d'années. En s'inspirant des principes méthodologiques appliqués plus classiquement en agriculture — et notamment le concept de modèle d'action (Sebillotte et Soler, 1988) — différents auteurs ont tenté de dégager des bases de fonctionnement des systèmes d'élevage, c'est à dire d'explicitier la manière dont est conçu et assuré le processus d'élaboration des productions et les transformations que cela entraîne sur la structure du système lui-même et sur son environnement (Landais, 1993 ; Hubert *et al.*, 1993 ; Landais et Lasseur, 1993 ; Landais, 1994).

En reprenant les idées de Osty et Landais (1992), on peut réfléchir sur un modèle d'action relatif au fonctionnement de l'élevage, qui intègre deux grandes composantes (fig. 1) :

- l'élaboration des décisions ;
- l'élaboration de la production.

En amont, de la sphère d'élaboration des décisions, se trouvent les objectifs de l'éleveur. Quelles sont les fonctions générales, et particulières, qu'il assigne à son activité d'élevage ? A partir de là, différents facteurs viennent influencer l'élaboration des décisions, comme les normes et références, facteurs de production, etc. A propos d'objectifs de production, il apparaît nécessaire d'avoir une certaine prudence quant à un affichage trop « déterministe » de ceux-ci dans les sociétés traditionnelles dans lesquelles nous travaillons. En effet, si dans les pays développés, il est parfois possible de caractériser des objectifs clairs traduisibles de façon formelle, du type « je veux vendre à Noël des agneaux ayant telles ou telles caractéristiques », ceci permettant de déduire des « logiques » en terme de pratiques ou mettre en évidence certaines contradictions, je ne suis pas sûr que le problème se pose dans les mêmes termes dans les sociétés traditionnelles, à savoir qu'il s'agit souvent d'objectifs plus intégrateurs de l'ensemble des critères de vie des acteurs comme par exemple « il s'agit de réduire au maximum les risques de perdre la base de subsistance de la famille ». En ce sens, on rejoint plus un critère de « fonctions assignées » que « d'objectifs ». On aurait alors un raisonnement du type : « si telles conditions sont remplies (par exemple un bon développement des ressources fourragères ou encore de bons résultats en matière de reproduction) alors je vendrai tels ou tels animaux vers telle époque si j'en ai l'opportunité et le besoin immédiat ». On voit là entre ces deux formes de raisonnement que

les indicateurs de prise de décisions peuvent se situer à des niveaux différents et peuvent induire des pratiques d'élevage diversifiées.

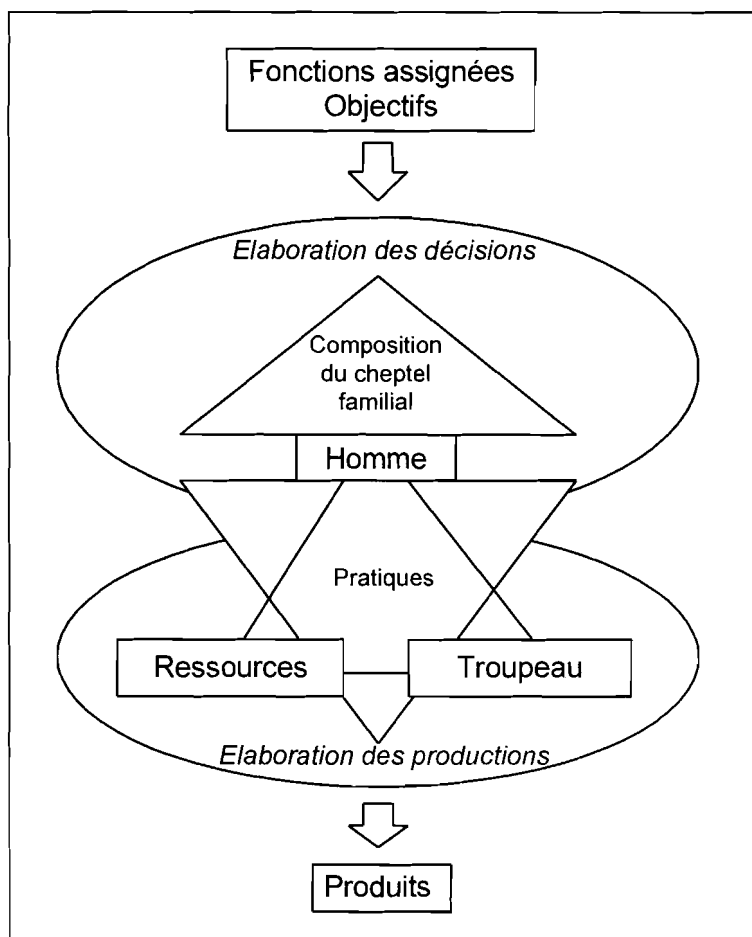


Figure 1 — Schéma d'un modèle d'action relatif au fonctionnement d'un système d'élevage (adapté de Osty et Landais, 1991)

Dans la sphère d'élaboration de la production, en systèmes d'élevage extensif, les interactions animaux-ressources occupent évidemment une place centrale, mais dépendent très fortement des pratiques d'élevage, et en particulier des « libertés » laissées par l'homme en ce qui concerne l'expression de ces interactions. On met donc en évidence les pratiques d'élevage, point d'union fondamental entre la sphère des décisions humaines et la sphère biotechnique. Ces pratiques d'élevage sont diverses en termes d'actions concrètes : pratiques



d'exploitation, de conduite, de renouvellement, de valorisation (Milleville, 1987). A un niveau plus global, leurs finalités peuvent être aussi très diverses, par exemple orientées vers une plus grande expression des capacités « biologiques » intrinsèques du matériel vivant qui est le support de l'élaboration de la production ; on est alors dans une logique de pratiques d'élevage adaptatives. Ces pratiques peuvent au contraire être beaucoup plus « directives » en fonction de l'obtention de produits et de niveaux de production mieux définis ; on est alors dans une logique de transformation plus importante du milieu et on se rapproche plus de l'agriculture classique. Ainsi, si une analyse détaillée des pratiques d'élevage et de leur diversité apparaît importante pour une meilleure compréhension du système d'élevage, une évaluation, à une échelle de perception plus globale, des orientations générales de ces pratiques peut permettre une représentation plus synthétique des projets qui sous-tendent ces pratiques et de mieux cerner leurs possibilités d'évolution. On pourrait alors tenter de caractériser plus finement les niveaux auxquels se situent les indicateurs de prise de décision qui ont une influence prépondérante sur la conception et le fonctionnement d'un système d'élevage donné.

## Un système pastoral de l'altiplano aride

### *Le milieu*

La zone étudiée (le canton de Turco) est localisée dans le département d'Oruro, à proximité de la cordillère occidentale qui fait la limite avec le Chili. L'altitude varie entre 3 800 m et 4 400 m. Le climat est de type tropical aride, avec des précipitations annuelles de l'ordre de 330 mm réparties sur trois mois de l'année. La température moyenne est de 7 °C, mais l'amplitude thermique journalière est très grande, avec des températures nocturnes pouvant atteindre régulièrement -20 °C pendant l'hiver. Avec près de 300 jours de gel par an, le risque de gelée est permanent tout au long de l'année. Ces conditions climatiques extrêmes ne permettent pas les cultures et les systèmes de production de la zone reposent sur l'élevage pastoral avec des animaux pâturant exclusivement sur des parcours diversifiés. Ces derniers sont utilisés de manière individuelle<sup>1</sup>. On trouve ainsi, sur une superficie relativement réduite, la plupart des formations végétales de l'altiplano comme les *tholares* (formations arbustives dominées par un arbuste de la famille des composées),

<sup>1</sup> Même si la terre n'est pas officiellement de propriété individuelle, elle est divisée, au sein de la communauté villageoise, entre les chefs de famille.

les *pajonales* (formations à graminées hautes et dures des genres *Festuca* et *Stipa*), les *bofedales* (tourbières), les *gramadales* (graminétum ras), etc. (Alzerreca, 1986).

### *La composition des cheptels familiaux : un indicateur de l'importance de la prise en compte de l'interface animaux-ressources fourragères dans la conformation du système de production*

Les cheptels familiaux sont composés de lamas et d'ovins, et parfois d'alpagas. Cependant dans les finages de Turco on observe une grande diversité de cas quant à la proportion de ces espèces dans les troupeaux. Des recherches ont été mises en place visant à caractériser les facteurs affectant la structure des cheptels familiaux. Celle-ci est définie comme le ratio (en unités ovines) du nombre d'ovins sur le nombre de camélidés. Des enquêtes ont été réalisées dans 93 unités de production familiale afin de caractériser et quantifier la structure du cheptel familial, les conditions de production, les produits animaux et la composition de la famille. Ces données, transformées en huit variables (ratio ovins-camélidés, principale surface fourragère, surface totale de l'unité de production, présence d'une zone humide, disponibilité de main d'oeuvre, niveau des besoins monétaires en fonction de l'âge des enfants et de leur scolarité, pourcentage du revenu provenant des camélidés, pourcentage consommation de viande provenant des camélidés) et 27 modalités, ont été traitées à l'aide d'une analyse factorielle des correspondances multiples (Tichit, 1993 ; Tichit et Genin, 1997). Il est apparu que le ratio ovins-camélidés des cheptels familiaux est, en premier lieu lié à la nature des ressources pastorales disponibles. En effet, les troupeaux situés dans les zones montagneuses (*serrania*) sont caractérisés par une présence importante de camélidés de trois types : lamas femelles, lamas mâles — qui utilisent les zones les plus élevées en altitude et les plus éloignées des habitations — et alpagas qui pâturent essentiellement dans les tourbières, assez fréquentes dans ce type de milieu. Dans les zones de collines (*ladera*), où la végétation est beaucoup plus diversifiée et structurée en mosaïque, les troupeaux d'ovins forment l'essentiel du cheptel familial. Dans la pampa arbustive (*tholar*) les troupeaux ont une structure relativement équilibrée entre ovins et camélidés. Dans la pampa *pajonal*, où les graminées dures (*Festuca*, *Stipa*) constituent l'essentiel de la biomasse, les cheptels sont caractérisés par une présence importante de lamas (Tichit, 1993). Ce lien entre structure du cheptel familial et nature des ressources fourragères trouve en partie son explication au niveau

de l'écophysiologie des camélidés et des ovins. En effet, les études comparatives de comportement alimentaire et de physiologie digestive que nous avons menées, montrent que les lamas présentent une préférence marquée pour les graminées hautes et dures, alors que les ovins sont beaucoup plus sélectifs et recherchent les herbacées tendres qui poussent sous les arbustes et dans les formations végétales de type *gramadal* et *bofedal*. Genin *et al.* (1994a) ont mis en évidence que les régimes alimentaires des lamas et des ovins ne se chevauchent pas, quelle que soit la période de l'année. Ces travaux suggèrent que les troupeaux mixtes de lamas et d'ovins pourraient permettre une meilleure utilisation globale des ressources fourragères disponibles au sein de l'exploitation, mais justifient aussi des structures de troupeaux contrastées selon la localisation de l'exploitation. Les travaux concernant les capacités différenciées des lamas et des ovins à digérer les fourrages de parcours de la zone viennent renforcer ces assertions. Des mesures de dégradabilité *in situ* ont en effet montré que les lamas sont plus aptes à digérer les fourrages pauvres comme les graminées dures (supériorité de l'ordre de 20 % en comparaison avec les ovins) (Genin et Tichit, 1997). Ceci leur donne des aptitudes supérieures à valoriser les zones dominées par ces espèces végétales comme les *pajonales* ou les secteurs montagneux.

Cette interprétation « écologique » est toutefois à nuancer car d'autres facteurs, comme la tenure foncière ou des évolutions historiques particulières, peuvent s'avérer tout autant déterminants dans la structure des troupeaux. Dans les zones de collines par exemple, où les exploitations sont « petites » (< 500 ha), les caractéristiques propres des espèces animales — en particulier leur comportement spatial et leur cycle biologique (une gestation de 11 mois chez les camélidés contre cinq chez les ovins) — influent fortement sur les choix d'élevage de telle ou telle espèce animale. En effet, les possibilités d'extraction d'animaux (pour autoconsommation ou commercialisation) sont beaucoup plus fréquentes dans le cas des ovins que dans celui des camélidés ; et ceci revêt une importance particulière lorsqu'il s'agit de troupeaux de faibles effectifs.

### *Un fonctionnement basé sur des pratiques adaptatives visant la gestion de l'interface animaux-ressources fourragères*

Nous avons vu la forte relation qui existe entre animaux et ressources fourragères dans ce système d'élevage ; cette relation apparaît être le point central dans la prise de décisions en matière d'élevage ; ceci se traduit par le choix

des espèces à élever, des périodes de reproduction très strictes en fonction de l'offre alimentaire (Tichit, 1995) ou encore par des mouvements saisonniers du bétail, de manière à adapter les besoins des animaux aux variations et aux conditions des ressources pastorales. Les tentatives d'introduction de races animales améliorées (ovins corriedale par exemple) ou de cultures fourragères (orge) n'ont en général pas eu d'écho auprès des éleveurs. *Leurs décisions et les pratiques qui en découlent apparaissent dirigées en premier lieu vers la recherche d'une optimisation de l'interface entre les animaux et les ressources pastorales disponibles, plutôt que vers des modifications des composants de leur système.* Ceci a bien entendu des conséquences importantes pour les chercheurs ou les agents de développement amenés à proposer des améliorations dans le fonctionnement du système.

### *Le traitement chimique d'un fourrage de parcours comme outil pour une meilleure sécurisation de l'alimentation animale*

Dans un essai de synthèse interdisciplinaire<sup>2</sup>, nous avons tenté d'analyser les conditions de reproduction de ces systèmes qui, comme dans beaucoup de parties du monde (Digard *et al.*, 1994), sont en crise. Une amélioration de la viabilité économique des systèmes pastoraux de l'altiplano aride bolivien est, entre autres aspects, ressentie comme nécessaire ; elle passe par des innovations et des changements à la fois sur les plans technique et socio-économique (Genin et Picht, 1995). Dans une perspective technique, l'analyse fait ressortir deux facteurs limitants principaux : d'une part une sensibilité importante vis-à-vis des aléas climatiques majeurs<sup>3</sup> — phénomènes fréquents qui entraînent une forte mortalité animale mettant parfois en péril l'existence même de l'unité de production — et d'autre part et une très faible productivité.

Etant donné ces fortes limitations et le type de fonctionnement qui nous semble être représentatif de la zone, nous avons orienté nos recherches vers le traitement chimique d'un fourrage de parcours très abondant dans la zone, la paja brava (*Festuca orthophylla*) qui est une graminée dure très consommée par les animaux mais dont la valeur fourragère est très faible. L'idée est d'obtenir un produit qui permette de sécuriser l'alimentation animale dans les périodes les plus critiques, en constituant une réserve fourragère à partir d'une ressource directement disponible dans le milieu et sans apport d'intrants coûteux.

<sup>2</sup> Voir le livre : « Waira pampa : un sistema pastoril camélicos-ovinos del altiplano árido boliviano » (Genin *et al.*, 1995).

<sup>3</sup> Sécheresse prolongée ou fortes chutes de neige.

Les résultats expérimentaux acquis montrent, sur le plan technique, une amélioration importante de la digestibilité *in vivo* de la paja brava traitée avec 3 % de soude et 3 % d'urée, qui passe de 40 % à plus de 55 % chez des ovins (Choque et Genin, 1995). Chez le lama la dégradabilité *in situ* passe de 52 à 69 %. Des essais de complémentation sur une plus longue période de jeunes ovins sevrés ont montré des gain de poids d'environ 60 g/j en période sèche, ce qui est tout à fait intéressant dans les conditions de la zone. Sur le plan économique, les premières évaluations indiquent une marge nette de l'ordre de 0,10 boliviens/animal/jour et des coûts de production compatibles avec les possibilités économiques des paysans de la zone. Cependant la soude est un produit contrôlé en Bolivie étant donné son utilisation dans la fabrication de stupéfiants (cocaïne), ce qui peut occasionner des problèmes d'approvisionnement et de légalité. Nous avons donc orienté nos recherches vers le remplacement de la soude par un autre produit fortement alcalin : la cendre de déjection animales. Les résultats sont très prometteurs, en particulier chez le lama où la *paja brava* traitée est très bien appréciée et la digestibilité *in vivo* subit une augmentation de plus de 40 % par rapport au témoin (Genin *et al.*, en préparation). Des essais de diffusion de cette alternative sont envisagés et pourraient permettre d'évaluer la pertinence de la démarche suivie.

## Un système agro-pastoral de l'altiplano central

### *Le milieu*

La zone étudiée (communautés de Pumani et Vituyu Ayo Ayo) est localisée dans le Département de La Paz, à une centaine de kilomètres au sud de cette ville. Les conditions climatiques et de production sont représentatives de l'altiplano central bolivien : altitude de 3 900 m, environ 450 mm de précipitations annuelles, une température moyenne annuelle de 8 °C avec des gelées fréquentes (170 jours par an) et un fort rayonnement solaire.

Les systèmes de production combinent traditionnellement agriculture et élevage. Il s'agit d'une activité principalement d'autosubsistance, de type familial, mais où existe une forte interdépendance entre unités de production au sein de la communauté villageoise (Hervé *et al.*, 1994a). La structure moyenne des exploitations de la communauté de Pumani est présentée dans le tableau 1.

Tableau 1  
Structure des exploitations de la communauté de Pumani  
(Genin et Fernandez, 1994)

	Moyenne	Min.	Max.
Cultures (ha)			
Orge	3,85	1	12
Pomme de terre	0,47	0,1	2
Quinoa	0,29	0	1,4
Autres (blé, avoine)	0,05	0,01	0,15
Elevage (nb. de têtes)			
Bovins	4,05	0	13
Ovins	45,00	2	130

*La diversification des activités et leur forte interrelation :  
un exemple d'association agriculture-élevage au sein  
de l'unité de production familiale.*

Contrairement à l'Afrique où, jusqu'à un passé récent, « la problématique des relations entre l'agriculture et l'élevage [rejoignait] souvent celle des rapports entre agriculteurs et éleveurs pratiquant sur des espaces communs ou voisins des activités différentes » (Bernus, 1974), ces deux activités ont, au sein même des unités de production des liens très forts et sont conçues de manière globale par les paysans andins. Cette situation était déjà bien réelle par exemple lors du recensement agricole effectué en 1916 où la communauté possédait près de mille têtes d'animaux (ovins, bovins, asins et camélidés). La complémentarité entre agriculture et élevage est presque unanimement avancée pour justifier leur association au sein de l'activité productive, même si ces deux ateliers sont parfois en concurrence (Vincze, 1980). D'autre part, dans les communautés étudiées, le même espace — celui de la communauté toute entière — est utilisé successivement pour l'agriculture et pour l'élevage, à part celui des *ch'illiwares*<sup>4</sup> qui constituent des espaces fourragers permanents mais qui occupent des superficies restreintes. Les agro-pasteurs andins ont ainsi affiné des systèmes de gestion des terres, alliant l'individuel et le collectif et intégrant différentes échelles spatiales et temporelles (Kervyn, 1992). On retrouve dans cette forme d'association agriculture-élevage les trois piliers communément avancés pour ce concept : l'utilisation de la traction animale, la présence d'une sole fourragère dans la rotation culturale et l'utilisation de la

<sup>4</sup> Milieux généralement localisées en bas-fond dominés par une bonne fourragère *Festuca dolichophylla* et utilisés uniquement pour le pâturage.

fumure animale qui, avec la pratique de la jachère, est l'instrument principal de maintien de la capacité à produire des terres.

Dans une première étape de notre recherche, nous avons donc cherché à caractériser ces relations entre agriculture et élevage. Une enquête de structure des unités de production de la communauté de Pumani a été réalisée entre 1992 et 1993 sur un échantillon de 82 exploitations sur un total de 201. Les données collectées ont porté sur des informations concernant des estimations de superficies cultivées, possession d'animaux (ovins et bovins), localisation du siège de l'exploitation, quantité de main d'oeuvre disponible, etc. (Fernandez, 1994). Les résultats ont montré une forte relation positive entre les superficies cultivées en pomme de terre et quinoa et la quantité d'animaux élevés. Les activités d'élevage et agricoles sont très dépendantes les unes des autres pour pouvoir répondre aux objectifs de production des agropasteurs andins. Il s'agit donc d'analyser cette interdépendance en terme de flux entre les deux activités et, plus globalement, au sein de l'unité domestique. Nos travaux spécifiques ont concerné deux aspects : les systèmes d'alimentation du bétail et la fonction de transfert de fertilité des troupeaux ovins.

En ce qui concerne les transferts de fertilité, les déjections ovines jouent un rôle critique pour la production agricole car elles constituent la seule source de fertilisation, nécessaire à la culture de pomme de terre qui est la tête de rotation. Ainsi la totalité des exploitations familiales de la communauté de Pumani possède un troupeau ovin. Jamgaart (1984), dans les Andes péruviennes, insiste sur l'importance de cette fonction et interprète les cas de surpâturage parfois observés par la nécessité d'avoir des troupeaux importants, même peu productifs, pour satisfaire les besoins des cultures. Des suivis ont été réalisés pour quantifier la production et l'utilisation des déjections ovines (Genin *et al.*, sous presse).

En ce qui concerne les systèmes d'alimentation du bétail, nous avons effectué des suivis des pratiques d'alimentation des troupeaux qui nous ont permis de caractériser le spectre global de la composition du régime alimentaire des ovins et des bovins (Fernandez, 1994 ; Genin *et al.*, 1994). Pour résumer, l'alimentation ovine repose essentiellement sur le pâturage en zones de jachère et sur les résidus de cultures (fanés de pomme de terre, de quinoa, son de quinoa), alors que celle des bovins dépend en premier lieu de l'orge. Cependant, on observe des différences de conduite de l'alimentation au sein des exploitations, qui peuvent constituer un bon indicateur des stratégies de paysans et apporter des éléments intéressants sur les grands traits du fonctionnement des systèmes d'élevage en présence.

## Vers une typologie des pratiques d'utilisation des ressources fourragères

A partir de l'enquête de structure réalisée à Pumani, une étude a été conduite pour caractériser la diversité des modes d'utilisation des ressources fourragères. Pour cela, nous avons repris la démarche proposée par Jamgaart (1984) afin de déterminer l'intensité d'utilisation des différentes ressources fourragères disponibles au niveau des unités de production en fonction de l'espèce animale (bovin ou ovin). Ceci nous a permis d'établir une matrice rendant compte du nombre de mois, au cours d'un cycle annuel, pour lesquels telle ressource fourragère est utilisée pour l'alimentation des troupeaux bovins et ovins (voir tabl. 2).

La méthodologie utilisée a consisté à réaliser une analyse en composantes principales sur ces variables brutes afin d'éliminer les colinéarités entre variables et de concentrer l'information, et à effectuer ultérieurement une classification automatique sur les unités de production observées (Hervé *et al.*, 1994b). Cette méthode a l'avantage de ne pas introduire de subjectivité *a priori* quant à la structuration des données.

Les résultats de l'ACP montrent une forte discrimination de la part des variables liées aux aspects d'intensification de l'alimentation, bovine en particulier (tabl. 2). En effet, l'axe 1, qui rend compte à lui seul de 41,2 % de la variation totale des données, est lié positivement aux variables concernant le pâturage bovin et ovin sur *ch'illiwares* et la distribution de luzerne aux bovins ; négativement aux variables concernant le pâturage bovin sur jachères et l'utilisation des résidus de cultures pauvres. Cet axe correspond à un gradient d'intensification en terme de conduite de l'alimentation. L'axe 2, qui explique 16 % de la variation totale du nuage de points, est essentiellement influencé par la variable « foin d'orge dans l'alimentation bovine ». Quant à l'axe 3 de l'ACP, il permet de caractériser les exploitations ayant une conduite très extensive de l'alimentation de leur troupeau ovin, basée essentiellement sur le pâturage sur jachères et l'utilisation des résidus de cultures pauvres (chaumes de quinoa, fanes de pomme de terre, etc.), ceci de manière relativement indépendante de la conduite de l'alimentation bovine. Ainsi, de manière très schématique, dans le plan 1-3 de l'ACP, on peut visualiser, horizontalement, un gradient d'intensification de l'alimentation bovine et, verticalement, un gradient d'intensification de l'alimentation ovine. Il existe des logiques relativement indépendantes dans les stratégies d'alimentation de ces deux types de troupeaux.

A partir des coordonnées des exploitations enquêtées sur les quatre premiers axes de l'ACP, la classification automatique a permis de distinguer quatre



groupes en ce qui concerne la conduite de l'alimentation des troupeaux (Hervé *et al.*, 1994). Il faut préciser que les quatre groupes décrits correspondent uniquement à leurs modes de conduite de l'alimentation des troupeaux et peuvent ne pas être toujours pertinents pour les activités liées à la production végétale ou pour représenter des entités sociales cohésives, bien que des relations claires apparaissent avec les données collectées dans d'autres champs disciplinaires (Pacheco, 1994).

Tableau 2  
Coefficients de corrélation entre les variables  
et les trois premiers axes de l'analyse en composantes principales

	Axe 1	Axe 2	Axe 3
Contribution à la variance	41,2	16,0	11,1
Variables bovins			
Foin d'orge	0,07	0,70**	0,06
Ch'lliwares	0,87**	0,46**	0,01
Jachère	-0,43**	-0,07	-0,23
Luzerne	0,35*	-0,04	0,40*
Orge vert	-0,04	0,08	0,02
Stipa ichu	0,04	0,07	-0,30*
Résidus riches	-0,31*	0,13	-0,03
Résidus pauvres	-0,14	0,20	-0,32*
Variables ovins			
Jachère	-0,20	0,38	-0,87**
Ch'lliwares	0,85**	-0,47**	-0,17
Résidus pauvres	-0,10	-0,15	-0,56**
Résidus riches	-0,06	-0,05	-0,35*

Seuil de signification du coefficient de corrélation : \* :  $p < 0,05$  ; \*\* :  $p < 0,01$

Le groupe 1 englobe 16,5 % des unités de production étudiées. Il correspond à un mode de conduite très extensif du troupeau bovin et ovin. La particularité la plus flagrante est l'utilisation des jachères comme ressource fourragère pour les bovins. En moyenne, ces derniers y pâturent pendant près de trois mois.

Le groupe 2 regroupe près de la moitié des exploitations enquêtées et représente les unités de production traditionnelles « moyennes » de la zone. Les ressources fourragères utilisées sont variées. On peut observer, à l'intérieur de ce groupe, une certaine hétérogénéité quant au degré d'extensification dans la conduite du troupeau ovin.

Le groupe 3 est formé de seulement cinq exploitations des 79 étudiées, qui sont caractérisées par une utilisation intensive du foin d'orge pour l'alimen-

tation bovine. Il existe peu de cultures fourragères de très bonne qualité comme la luzerne.

Le groupe 4 couvre 27 % des unités de production enquêtées, caractérisées par une plus forte intensification de l'alimentation bovine (foin d'orge, chilliwares, luzerne). Ces exploitations se situent essentiellement dans les zones les plus basses de la communauté, ayant un accès plus important aux terres les plus productives.

Il est à noter que l'on ne trouve pas de différences significatives entre les groupes d'exploitations en ce qui concerne la taille des troupeaux, si ce n'est un nombre plus élevé de bovins dans le groupe 4 (tabl. 3). Par contre, la proportion d'animaux de races améliorées au sein des troupeaux, à la fois bovin et ovin, est très différenciée entre groupes.

Tableau 3  
Tailles des troupeaux et proportion d'animaux de races améliorées  
selon les groupes d'exploitation.

Groupes	1	2	3	4
Nombre de bovins	3,6	3,8	3,5	5,0
% d'animaux de races améliorées	21,3	30,1	23,5	42,3
Nombre d'ovins	46,1	45,2	46,0	43,8
% d'animaux de races améliorées	20,4	23,6	10,9	45,7

## *Applications à l'analyse des dynamiques actuelles*

### **Des fonctions différenciées des troupeaux et des produits d'élevage différents**

L'analyse des différents modes de conduite de l'alimentation des troupeaux nous permet de confirmer et d'affiner les différentes fonctions assignées à l'élevage.

Pour les bovins, outre les fonctions classiquement assignées aux bovins dans le monde andin comme force de traction pour l'agriculture et l'utilisation de leurs déjections comme combustible, deux stratégies d'élevage apparaissent bien se différencier dans la communauté de Pumani.

L'une est orientée essentiellement vers la production de viande. Il s'agit d'animaux, généralement de race rustique créole, que l'on « engraisse », grâce au foin d'orge et à l'utilisation des résidus de culture et des ressources fourragères de la jachère dont les coûts d'opportunité sont faibles ou nuls. Ces animaux, nés sur l'exploitation ou achetés jeunes (entre six mois et deux ans),

sont revendus vers l'âge de 5-6 ans et permettent de dégager un revenu, fondamental pour les besoins monétaires des familles.

L'autre est beaucoup plus orientée vers la production laitière, avec des animaux améliorés (races Holstein et Brune des Alpes) et le développement de cultures fourragères comme la luzerne. Cependant, ce type d'activité demande des conditions de production et des circuits de commercialisation qui sont encore très limitants dans beaucoup de zones de l'altiplano bolivien.

Ces deux types de stratégies dépendent beaucoup, dans la communauté de Pumani, de la localisation des exploitations, et sont à mettre en relation avec les différenciations sociales observées et avec la tendance de certaines exploitations à concentrer leurs terres en *sayaña*<sup>5</sup> (Pacheco, 1994).

Pour les ovins, dans la grande majorité des exploitations, le troupeau ovin est conduit de manière traditionnelle et ses fonctions principales sont la fourniture d'éléments fertilisants indispensables pour l'agriculture, la fourniture de viande pour l'autoconsommation et pour satisfaire les besoins sociaux et rituels, la constitution d'une caisse de trésorerie immédiatement mobilisable en cas de besoin, grâce à la vente d'animaux sur pieds ou de carcasses.

La conduite très extensive de ces troupeaux répond tout à fait à ces fonctions, grâce notamment à de très faibles intrants. La main d'oeuvre est constituée par les enfants et les personnes âgées dont, là encore, le coût d'opportunité est très faible. On observe cependant dans quelques exploitations une tendance à une intensification vers la production de viande. Reste à savoir si celle-ci peut être bien valorisée dans les circuits de commercialisation actuels.

### **Conséquences d'une réduction de la durée de la jachère**

Les systèmes agro-pastoraux andins pratiquent communément la jachère longue pâturée (3 à 15 ans selon les cas), dont les fonctions sont diverses, à la fois sur le plan technique (Hervé, 1994), socio-économique et culturel (Pacheco, 1994). Or on assiste actuellement à des dynamiques qui tendent à une réduction de la durée de la jachère et à une intensification de l'utilisation des terres (Hervé *et al.*, 1994a). Ces dynamiques ont des causes d'origines diverses (Genin *et al.*, 1994b) et peuvent avoir des conséquences importantes sur l'organisation de l'activité agro-pastorale. Les études que nous avons menées à Pumani suggèrent que, d'un point de vue strictement pastoral, la jachère représente une ressource fourragère de très faible qualité. En effet, on assiste au cours de la succession à un fort développement d'arbustes de la

---

<sup>5</sup> Parcelles d'utilisation individuelle exclusive.

famille des composées, peu consommables, alors que les herbacées annuelles ne représentent un apport significatif à la biomasse que durant les toutes premières années de jachère (Genin et Fernandez, 1994). Pourtant les superficies concernées par la jachère représentent plus de 65 % du territoire de la communauté. Elle sont la base de l'alimentation des troupeaux ovins. Une réduction de la durée de la jachère, de 10 à 5 années par exemple dans le cas étudié, n'affecterait pas beaucoup la disponibilité de fourrages par unité de surface, mais entraînerait un bouleversement profond des caractéristiques des ressources fourragères disponibles au niveau de l'unité de production, qui tendrait à promouvoir fortement l'élevage bovin. Cependant, on peut se demander si une forte réduction ou l'élimination des troupeaux ovins est une perspective réaliste, étant donné leur rôle fondamental dans le fonctionnement du système de production, en particulier pour les transferts de fertilité.

*Un fonctionnement basé sur des pratiques plus directives  
visant une gestion des ressources et des animaux  
dans le cadre de la conduite intégrée  
des activités agricoles et d'élevage*

Dans la zone agro-pastorale de l'altiplano bolivien, l'élevage est une des activités du système de production. Nous avons vu que ses fonctions sont multiples et très liées aux activités purement agricoles.

En ce qui concerne la conduite de l'alimentation par exemple, le paysan dispose de ressources fourragères diversifiées et « organisables », qui permettent différentes options de gestion ; il a gérer au cours du temps à la fois les besoins des animaux et les variations des ressources fourragères disponibles. Ceci est commun à toute activité d'élevage, mais, contrairement à ce qui se passe dans la zone purement pastorale présentée ci-avant, ces ressources fourragères peuvent être induites par la mise en culture et par des réserves de fourrages de divers types (foin d'orge, résidus de cultures en particulier). Nous pensons que *dans ce système agro-pastoral les produits attendus de l'élevage guident des pratiques directives concernant la nature des ressources fourragères et les types d'animaux à élever*. En d'autres termes, il ne s'agit plus de chercher à optimiser l'expression des interactions entre des animaux et une végétation native, mais d'imposer un type d'interface animaux-ressources fourragères en fixant les caractéristiques des composants de cet interface (une culture fourragère, des animaux spécialisés). Nous sommes donc dans une stratégie certes encore d'adaptation à un milieu difficile, mais également d'artificialisation de celui-ci.

## *Vers une meilleure intégration agriculture-élevage : l'amélioration fourragère des jachères comme outil de gestion des ressources fourragères intégré au fonctionnement du système de production*

Dans le contexte andin, les relations agriculture-élevage apparaissent comme des indicateurs pertinents des stratégies globales de production des paysans et constituent un problème clé pour l'avenir des sociétés rurales considérées. On retrouve ainsi, à un niveau plus général, la dialectique de l'intégration agriculture-élevage dans les sociétés agro-pastorales exposée par Vincze (1980), lequel insiste sur le fait que le type d'élevage mis en oeuvre dans ces formes de production est très dépendant de l'état de développement de la technologie purement agricole. Le fait qu'une culture fourragère (l'orge) soit depuis très longtemps intégrée dans la rotation des cultures offre des perspectives techniques de recherche d'amélioration des systèmes agro-pastoraux. L'introduction de bonnes espèces fourragères ou l'amélioration pastorale des jachères apparaissent également être des voies de recherche à développer. Des essais, en communauté paysanne, de semis d'espèces fourragères (*Eragrostis curvula*, *Vicia villosa*, *Vicia sativa*, *Medicago sativa*) sur des zones en jachère gérées collectivement sont en cours d'évaluation ; ils semblent très prometteurs techniquement et économiquement. Cependant, il faut évaluer constamment quelles sont les conditions pour que ce type d'innovation soit socialement recevable par les communautés paysannes andines. Les premiers éléments dont nous disposons pour une communauté (Vituyu Ayo Ayo) indiquent un enthousiasme réel de la part des paysans qui ont mis en place des travaux collectifs et réglementé l'utilisation de la zone semée ; ils manifestent aussi leur intérêt pour conserver ces espaces améliorés (interdiction de pâturage durant les deux premières années) et les étendre (récolte des semences produites afin de les semer dans d'autres zones). On peut par contre se demander si cette action ne va pas favoriser l'abandon du cycle cultures-jachère pour promouvoir un espace fourrager permanent, utilisé en particulier pour l'alimentation bovine, ce qui montrerait les limites du raisonnement ayant conduit à la proposition de cette alternative.



## Conclusion

La recherche de nouvelles méthodologies pour représenter le fonctionnement des exploitations est ressentie comme nécessaire depuis une vingtaine d'années, pour permettre d'avancer dans la compréhension des systèmes de

production dans leur globalité et tenter d'apporter des éléments de réponse à certains problèmes qu'ils soulèvent en terme de développement. Ceci implique de dépasser le cadre des sciences expérimentales et la démarche systémique en est une voie privilégiée. Certains travaux récents montrent la richesse qui peut en découler (Landais, 1993 ; Darré *et al.*, 1993). Mais elle demande encore d'être affinée et évaluée sur le cadre d'une recherche-action. Dans cet article j'ai tenté, à partir d'une réflexion sur le cadre théorique concernant la notion de fonctionnement des systèmes d'élevage, d'en explorer certaines applications en matière d'aide à la décision, que ce soit au niveau du chercheur (orientation de thèmes de recherche) ou de l'éleveur (alternatives de production). Cependant le recul n'est pas suffisant pour en évaluer la pertinence et les risques d'erreurs d'appréciation sont importants. En ce sens il apparaît fondamental d'impliquer, sur un pas de temps assez long, les éleveurs eux-mêmes pour affiner ensemble les modes de pensée et de représentation de l'activité productive et, dans ce cadre, explorer des alternatives adaptées aux problèmes rencontrés.

## Références bibliographiques

- ALZERRECA H., 1986 – Campos nativos de pastoreo de la zona Altiplanica y altoandina de Bolivia. Primera convencion nacional en produccion de camélidos sudamericanos, Oruro (Bolivia), Julio 2-4, PMPR-Cordeor-CEE-Infol-IBTA-Abopa, pp. 155-191.
- ALZERRECA H., GENIN D., 1992 – *Los sistemas ganaderos de la zona andina boliviana : del concepto a una caracterizacion.* Orstom-IBTA, Inf. n°30, La Paz, Bolivia, 37 pages.
- BERNUS E., 1974 – L'évolution récente des relations entre éleveurs et agriculteurs en Afrique tropicale, l'exemple du sahel nigérien. *Cah. Orstom, sér. Sci. Hum.*, 11(2) : 137-143.
- CHOQUE S., GENIN D., 1995 – Para un mejor aprovechamiento de los forrajes nativos : el tratamiento químico de la paja brava y thola. *In* : Genin D., Picht J., Lizarazu R., Rodriguez T. (éd.), pp. 167-180.
- DARRE J.P., 1985 – *La parole et la technique. L'univers de pensée des éleveurs du Temois.* Paris, L'Harmattan, 196 pages.
- DARRE J.P., LASSEUR J., LANDAIS E., HUBERT B., 1993 – Les raisons d'un éleveur. *Études Rurales*, 131-132 : 109-181.
- DIGARD J.P., LANDAIS E., LHOSTE PH., 1993 – La crise des sociétés pastorales. Regards pluridisciplinaires. *Rev. El. Méd. Vét. Pays Trop.*, 46 (4), 683-692.
- FERNANDEZ J., 1994 – *Calendarios forrajeros y prácticas ganaderas en una comunidad agropastoril del altiplano central.* Tesis Ing. Agr., U.M.S.A., La Paz, Bolivia, 107 pages.
- GENIN D., FERNANDEZ J., 1994 – Uso pastoril de las tierras en descanso en una comunidad agropastoril del altiplano boliviano. *In* : Hervé D., Genin D., Rivière G. (éd.) :

*Dinámicas del descanso de la tierra en los Andes*. Orstom-IBTA, La Paz, Bolivia, pp. 201-214.

GENIN D., PICTH J., 1995 – A modo de conclusión... Condiciones de reproducción de los sistemas pastoriles del altiplano árido. In : Genin D., Picht J., Lizarazu R., Rodriguez T. (éd.), pp. 229-241.

GENIN D., PICH J., Lizarazu R., Rodriguez T. (éd.), 1995 – *Waira Pampa, un sistema pastoril camélidos ovinos del Altiplano árido boliviano*. Orstom-Conpac-IBTA, La Paz, Bolivia, 245 pages.

GENIN D., TICHIT M., 1997 – Degradability of andean range forages in llamas and sheep. *J. Range Manage.*, 50 : 381-385.

GENIN D., CHOQUE S., MAGNE J., en préparation – The effect of chemical treatments on digestibility of an andean range forage by llama and sheep. A soumettre à *Animal feed Science and Technology*.

GENIN D., VILLCA Z., ABASTO P., 1994a – Diet selection and utilization by llama and sheep in a high altitud-arid rangeland of Bolivia. *J. Range Manage.*, 47 : 245-248.

GENIN D., HERVE D., RIVIERE G., 1994b – Reproduction des systèmes de culture à jachère longue pâturée dans les Andes : un enjeu technique et socio-culturel. Symposium international sur les recherches-système en agriculture et développement rural, Montpellier, 21-25/11/1994, pp. 466-470.

GENIN D., PICTH J., LIZARAZU R., RODRIGUEZ T. (éd.), 1995 – *Waira Pampa, un sistema pastoril camélidos-ovinos del altiplano árido boliviano*. Orstom-Conpac-IBTA, La Paz, Bolivia, 303 pages.

GENIN D., FERNANDEZ J., VICTORIA Z., DE QUEIROZ J., sous presse – Relaciones agricultura-ganadería en el altiplano boliviano. 8e Congreso internacional sobre sistemas agropecuarios andinos, Valdivia, (Chile), Mars 1994.

HERVE D., 1994 – Desarrollo sostenible en los Andes altos : los sistemas de cultivo con descanso largo pastoreado. In : Hervé D., Genin D., Rivière G. (éd.) : *Dinámicas del descanso de la tierra en los Andes*. Orstom-IBTA, La Paz, Bolivia, pp. 15-36.

HERVE D., GENIN D., RIVIERE G. (éd.), 1994a – *Dinámicas del descanso de la tierra en los andes*. Orstom-IBTA, La Paz, Bolivia, 356 pages.

HERVE D., GENIN D., RIVIERE G., MIGUEIS J., PACHECO L., 1994b – *Jachères et dynamiques socio-économiques dans les Andes : états, représentation et gestion du milieu*. Rapport scientifique, CNRS, 53 pages.

HUBERT B., GIRARD N., LASSEUR J., BELLON S., 1993 – Les systèmes d'élevage ovin préalpins : derrière les pratiques, des conceptions modélisables. In : Landais E. (éd.) : *Pratiques d'élevage extensif*. Paris, Inra, *Etudes et recherche*, pp. 351-385.

JAMGAART K., 1984 – *Limits on common pasture use in a agropastoral community : the case of Toqra, Peru*. SR-CRSP, Technical report n° 42.

KERVYN B., 1992 – L'économie paysanne au Pérou : théories et politiques. In : Morlon P. (Coord.) : *Comprendre l'agriculture paysanne dans les Andes centrales*. Inra, pp. 437-470.

LANDAIS E. (éd.), 1993 – *Pratiques d'élevage extensif : identifier, modéliser, évaluer*. Paris, Inra, *Etudes et recherches*, 385 pages.

LANDAIS E., 1994 – Système d'élevage : d'une intuition holiste à une méthode de recherche, le cheminement d'un concept. In : Blanc-Pamard C. et Boutrais J. (Coords.) : *À la croisée des parcours. Pasteurs, éleveurs, cultivateurs*. Paris, Orstom, pp. 15-50.

LANDAIS E., LASSEUR J., 1993 – Une application du concept de « modèle d'action ». Pour une lecture zootechnique des pratiques d'élevage. *Etudes rurales*, 131-132 : 165-181.

LANDAIS E., LHOSTE PH., MILLEVILLE P., 1987 – Points de vue sur la zootechnie et les systèmes d'élevage tropicaux. *Cah. Sci. Hum.*, 23 : 421-438.

LHOSTE Ph., 1984 – Le diagnostic du système d'élevage. *Cah. Rech. Dév.*, 3-4 : 84-88.

MILLEVILLE P., 1987 – Recherches sur les pratiques des agriculteurs. *Cah. Rech. Dév.*, 16 : 3-7.

OSTY P.L., LANDAIS E., 1991 –  
Fonctionnement des systèmes d'exploitation  
pastorale. IVe Congrès international des terres  
de parcours, Montpellier, France. Actes,  
Tome 3, pp. 1137-1146.

PACHECO L., 1994 –  
El sistema de aynuqa en Pumani. Dinámicas y  
tendencias. In : Hervé D., Genin D., Rivière G.  
(Ed.) : *Dinámicas del descanso de la tierra en  
los Andes*. Orstom-IBTA, La Paz, Bolivia,  
pp. 271-290.

SEBILLOTTE M., SOLER L.G., 1988 –  
Le concept de modèle général et la  
compréhension du comportement de  
l'agriculteur. *C. R. Acad. Agr. Fr.* 74 : 59-70.

TICHIT M., 1993 –  
*L'association camélidés-ovins dans un*

*système pastoral de l'altiplano désertique de  
Bolivie*. M.Sc. Tesis, IAMZ, Zaragoza,  
España, 202 pages.

TICHIT M., 1995 –  
Diversidad de la actividad ganadera en las  
unidades de producción de Turco. In : Genin  
D., Picht J., Lizarazu R., Rodriguez T. (éd.) :  
*Waira Pampa, un sistema pastoril camélidos-  
ovinos del altiplano árido boliviano*. Orstom-  
Conpac-IBTA, La Paz, Bolivia, pp. 75-91.

TICHIT M., GENIN D., 1996 –  
Factors affecting herd structure in a mixed  
camelid-sheep pastoral system in the arid  
puna of Bolivia. *J. Arid Envir.*, 36 : 167-180.

VINCZE L., 1980 –  
Peasant animal husbandry : a dialectic model  
of techno-environmental integration in agro-  
pastoral societies. *Ethnology*, 19(4) : 387-403.



# Pression parasitaire, pratiques paysannes et viabilité des systèmes cotonniers en Thaïlande<sup>1</sup>

Jean-Christophe Castella

## Introduction

La production cotonnière thaï doit aujourd'hui faire face à une crise sans précédent (Grimble, 1971 ; Collins, 1986 ; Evenson, 1987a ; Castella, 1995). Les conséquences écologiques négatives des pratiques agricoles intensives, combinées aux fluctuations des cours mondiaux et aux conflits d'intérêts entre acteurs de la filière, sont à l'origine de la chute marquée des surfaces cotonnières. L'analyse historique des modes de contrôle du parasitisme révèle, comme dans d'autres régions du monde, des phénomènes récurrents caractérisés par des épisodes successifs qui mènent d'une phase de subsistance (fondée sur des variétés rustiques faibles consommatrices d'intrants) à une période plus récente totalement dépendante des pesticides. Six étapes principales ont été identifiées par Falcon et Smith (1973), puis largement reprises dans la littérature (Bottrell et Adkisson, 1977) : 1. Phase de subsistance, 2. Contrôle écologique des ravageurs, 3. Phase d'exploitation, 4. Phase de crise, 5. Désastre, 6. Lutte intégrée (fig. 1). La Thaïlande a déjà aujourd'hui parcouru les cinq premières étapes pour la seconde fois dans l'histoire de sa culture cotonnière, mais n'est jamais parvenue à atteindre la sixième à grande échelle.

---

<sup>1</sup> Ce texte reprend les grandes lignes d'une contribution en anglais à la 1ère Conférence mondiale sur les recherches cotonnières, Février 1994, Brisbane, Australie.

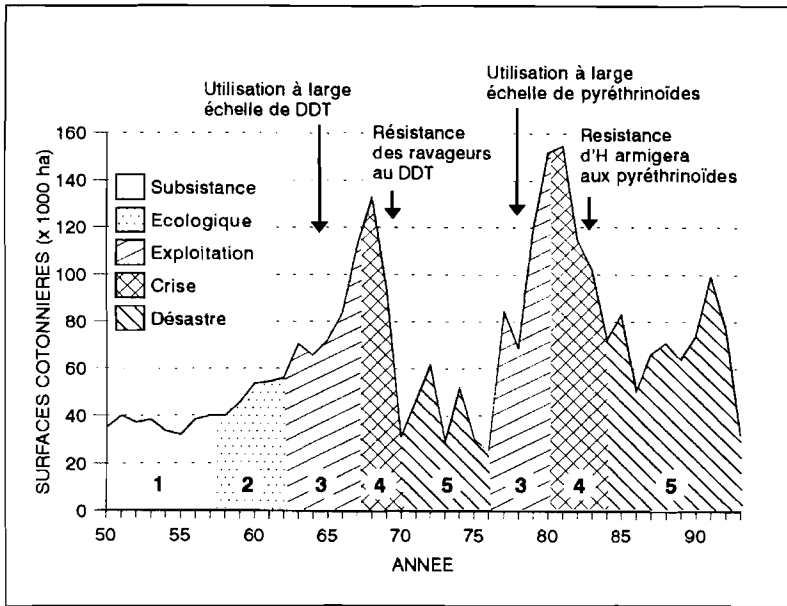


Figure 1 — Evolution des surfaces cotonnières en Thaïlande et principales phases historiques en protection de la culture (1950-1993).

Source : Ministère de l'agriculture et coopérative, Bangkok.

Les termes employés pour décrire les différentes phases d'évolution des systèmes cotonniers sont ceux communément utilisés dans la littérature anglo-saxonne (Falcon et Smith, 1973).

- 1) Phase de *subsistance* : Culture traditionnelle sans intrants de variétés rustiques de faible productivité et qualité de fibre médiocre, généralement destinées à l'autoconsommation familiale.
- 2) Phase *écologique* : Introduction de variétés présentant des critères de qualité adaptés à la transformation par l'industrie textile. Les cultivars sont relativement tolérants aux attaques d'insectes ravageurs (pilosité foliaire, autres caractéristiques morphologiques, etc.). La protection phytosanitaire est gérée grâce aux rotations culturales ou à la sélection variétale.
- 3) Phase d'*exploitation* : La culture de variétés à forte productivité et bonne qualité de fibre, mais sensibles au parasitisme, est associée à l'utilisation systématique de produits insecticides.
- 4) Phase de *crise* : L'utilisation abusive des insecticides entraîne des phénomènes de résistance des ravageurs, dont les populations ne sont plus maîtrisables. Les pertes de récolte sont très importantes.
- 5) Phase de *désastre* : Crise brutale de la protection phytosanitaire incitant les agriculteurs à développer différentes stratégies s'ils souhaitent maintenir la compétitivité de la production, sinon nette réduction des surfaces plantées en cotonnier.

Cependant, de nombreuses recherches ont été menées, qui ont apporté des solutions aux problèmes engendrés par une mauvaise utilisation des pesticides et ont testé avec succès des stratégies alternatives. Ces dernières, généralement regroupées sous le terme de lutte intégrée, consistent par exemple à développer les facteurs de résistance de la plante hôte vis à vis des ravageurs

et(ou) à maintenir les populations de ravageurs à des niveaux économiquement supportables grâce à des pratiques culturales adaptées, au contrôle biologique des ravageurs, à la gestion des insectes auxiliaires, à l'utilisation raisonnée de produits insecticides à spectre d'action limité, etc. (Stern *et al.* 1959 ; Oudejans, 1991). Ces pratiques ont montré, dans le cadre de programmes de protection intégrée conduits en station ainsi qu'en milieu paysan, qu'il est possible de produire du coton de façon durable en respectant les contraintes écologiques et économiques auxquelles les producteurs sont confrontés (Deema *et al.*, 1974 ; Evenson, 1987b ; Gips, 1987). La lutte intégrée est donc aujourd'hui dans tous les discours académiques, comme elle l'était au début des années soixante dix avant d'être littéralement balayée par l'apparition des insecticides pyréthrinoïdes. Cependant, elle n'a jamais encore été appliquée par les agriculteurs thaïs bien que les services de vulgarisation s'emploient à les sensibiliser à ces pratiques respectueuses de l'environnement. Le comportement des agriculteurs face au risque est souvent considéré par les chercheurs et les vulgarisateurs, comme un obstacle à la mise en oeuvre de programmes de lutte intégrée (Cauquil et Vaissayre, 1994). La surconsommation d'insecticides résulterait, selon ces derniers, d'une perception déformée du risque réel de dégâts et/ou d'une méconnaissance des techniques de protection (Reddy *et al.*, 1990). En conséquence, bon nombre de recommandations ne sont pas adoptées par les producteurs car celles-ci se focalisent sur le contrôle des ravageurs du cotonnier avant de prendre en compte les objectifs et les besoins de leurs utilisateurs potentiels (Napompeth, 1993). Une meilleure compréhension des pratiques paysannes dans le domaine de la protection de la culture devrait être un préalable à la conception de programmes de lutte intégrée adaptés à des contextes de production diversifiés. L'approche interdisciplinaire présentée ci-dessous s'est attachée à considérer l'agriculteur comme l'acteur central du processus d'évolution vers la lutte intégrée. L'exemple du choix de la date de semis illustre l'impact du mode de fonctionnement des exploitations agricoles sur les décisions tactiques et stratégiques en protection des cultures.

## Méthodes

La démarche de diagnostic, développée dans le cadre du projet DORAS<sup>2</sup>, a privilégié trois échelles d'analyse.

---

<sup>2</sup> Development-oriented research on agrarian systems : projet développé depuis 1989 à l'Université Kasetsart, en partenariat avec le Cirad et l'Orstom, dans le cadre d'un programme de coopération bilatérale franco-thaïlandais.

## Niveau régional

L'étude concerne deux régions d'agriculture pluviale situées à la périphérie de la Plaine Centrale de Thaïlande : Kanjanaburi à l'ouest, zone de front pionnier aux systèmes écologiques en voie de dégradation rapide (déforestation, érosion, pression parasitaire importante...) et Lopburi au nord, zone d'exploitation agricole plus ancienne, plus avancée dans le processus d'artificialisation du milieu naturel dans un contexte économique et social très différent de la précédente. Le choix de ces terrains complémentaires se justifie, non seulement par leur importance relative en terme de production cotonnière, mais aussi par la nature contrastée de systèmes de culture où le cotonnier joue des rôles différenciés.

Les potentialités des écosystèmes pour la culture cotonnière ont été évaluées en articulant des méthodes d'analyse spatiale et temporelle :

- le zonage agro-écologique (faisant appel aux techniques de télédétection) a consisté à identifier des zones relativement homogènes en terme de problématique de développement agricole, qui permettent de délimiter un domaine géographique d'extrapolation pour une innovation ou une recommandation technique (Trébuil et Kaojarern, 1995) ;
- l'analyse fréquentielle du climat, le profil parasitaire saisonnier (probabilité de distribution des populations de ravageurs, (Castella, 1995)) ainsi que le suivi du niveau de résistance des insectes aux pesticides (Caron *et al.*, 1992) permettent de caractériser le contexte agroécologique auquel les agriculteurs se réfèrent pour prendre leurs décisions techniques ;
- des enquêtes informelles auprès de personnes ayant une bonne connaissance de l'histoire régionale (agriculteurs, bonzes, instituteurs, commerçants, etc.) ont permis de reconstituer les transformations des systèmes agraires de chaque zone d'étude. L'objectif était de mettre en relation les événements et les évolutions qui ont touché l'agriculture avec les changements déterminants du contexte économique et social, tout particulièrement ceux concernant le foncier, le marché du travail, l'accès au capital, les conditions de commercialisation des produits, les relations des agriculteurs avec les autres agents économiques, ainsi que les modalités d'intervention de l'état (Trébuil *et al.*, 1994). L'étude des processus de différenciation des exploitations agricoles a permis de sélectionner des échantillons couvrant toute la gamme de variation des systèmes de production issus de l'histoire récente pour la phase suivante.

## *Fonctionnement des systèmes de production agricoles*

Des enquêtes ont été menées sur une trentaine d'exploitations par région tout au long d'une saison de culture, sur la base d'une visite mensuelle. La connaissance acquise sur la diversité du fonctionnement des exploitations agricoles est organisée sous forme de typologie (Capillon et Manichon, 1988 ; Capillon, 1993). Les systèmes de production sont classés selon des critères qui témoignent des grandes orientations de l'unité de production, des objectifs économiques et sociaux de l'agriculteur ainsi que des stratégies mises en oeuvre afin de les atteindre (Trébuil et Dufumier, 1993). Les critères de classification retenus pour identifier les différents types de Système de production agricole (SPA) ont ensuite été utilisés pour mener une enquête rapide sur des échantillons de plus grande taille : 823 et 538 exploitations pour les provinces de Lopburi et Kanjanaburi respectivement. Cette étape a permis de valider la typologie et d'évaluer la fréquence de chaque type d'exploitation à l'échelle régionale.

## *Niveau de la parcelle cotonnière*

Les modalités de prise de décision au jour le jour de l'agriculteur se concrétisent à l'échelle de la parcelle par le système de culture mis en oeuvre. Un diagnostic agronomique sur la culture cotonnière a été mené chez les agriculteurs de l'échantillon qui pratiquaient cette production (environ 15 par zone d'étude). Il a consisté en un suivi hebdomadaire des itinéraires techniques (opérations culturales, gestion des intrants et de la main d'oeuvre, données économiques, etc.) ainsi que de ses effets sur l'évolution conjointe du peuplement végétal (croissance, dégâts d'insectes, architecture des plants, etc.) et des états du milieu (structure du sol, infestations d'adventices, populations de ravageurs, etc.). Les enquêtes ont été associées à des expérimentations en parcelles paysannes, ces dernières complétant un référentiel agronomique indispensable à l'interprétation des premières. En effet, elles ont permis de se placer dans des situations extrêmes afin d'expliquer des mécanismes d'élaboration du rendement essentiels à la compréhension des situations observées au cours des enquêtes. Des essais en milieu paysan comparant quatre niveaux de protection phytosanitaire (pas de protection, traitement contre les insectes piqueurs-suceurs afin de protéger la culture en phase végétative, interventions sur seuils économiques et enfin pulvérisation hebdomadaire d'insecticide sur calendrier) ont été mis en place au cours de trois années consécutives afin de suivre les interactions « ravageur - peuplement végétal » tout au long du cycle cultural, ainsi que d'évaluer leur variabilité interannuelle.

Finalement, des innovations techniques compatibles avec la lutte intégrée ont été proposées pour chaque type de système de production cotonnier selon ses caractéristiques, et ont été testées en station de recherche. La démarche de diagnostic est en effet étroitement articulée avec des expérimentations en station, qu'elle alimente en thèmes de recherche adaptés à la réalité de la production cotonnière paysanne.

## Résultats et discussion

Le présent article se limite à l'étude des pratiques paysannes dans le domaine de la protection de la culture cotonnière et tente d'établir la relation entre la variabilité observée et la diversité du fonctionnement des SPA.

### *Une typologie des SPA producteurs de coton dans les régions de Kanjanaburi et Lopburi*

Cinq types d'exploitations ont été identifiés selon la place occupée par la culture cotonnière (tabl. 1). Un nombre limité d'indicateurs simples, caractérisant chaque type de SPA, permet de classer n'importe quelle exploitation, prise au hasard dans le domaine de validité de la typologie, dans l'une des cinq catégories. La pertinence de ces critères de sélection pour différencier plusieurs stratégies de gestion en protection phytosanitaire et comprendre leur origine a été établie grâce à un suivi agronomique sur un nombre limité (30) de SPA cotonniers.

Le *type A* regroupe de petites exploitations caractérisées par une disponibilité importante en main d'oeuvre familiale mais très limitées en capital. Malgré une augmentation constante des coûts de production qui tendent à réduire leur marge et à accroître le risque d'échec financier, elles continuent à produire du coton car elles n'ont pas d'alternative plus rémunératrice par unité de surface dans les conditions agro-écologiques et économiques locales. Leur itinéraire technique vise à minimiser le risque (une absence de revenu est préférable à un résultat négatif qui les feraient entrer dans le cercle vicieux de l'endettement) grâce à une très faible utilisation d'intrants (pas d'engrais, sous-dosage de formulations insecticides de qualité douteuse). Ils parient sur une « bonne saison cotonnière » (faible pression parasitaire, répartition régulière des pluies au cours de la saison) pour dégager un bénéfice et dans le pire des cas éviter de perdre le capital investi. Ces systèmes de culture associent généralement le cotonnier avec d'autres productions moins risquées, comme le maïs ou le sorgho, de façon à garantir un revenu minimum à la famille. Un revenu complémentaire est généralement recherché hors exploitation dès la fin de la saison des pluies.

**Tableau 1**  
Principales caractéristiques des systèmes de production cotonnière des deux zones d'étude et leurs fréquences

Type de SPA	A	B	C	D	E
<b>Fréquence (% des SPA)</b>					
Zone Kanjanaburi (échantillon 538 SPA)	10	5	70	15	0
Zone Lopburi (échantillon 823 SPA)	10	20	0	50	20
<b>Caractéristiques des SPA</b>					
Surface cultivée par actif familial (ha)	0.3 - 0.5	1 - 2	1 - 2	3 - 5	> 8
Surface cotonnier/surface totale (%)	40 - 60	> 70	95 - 100	5 - 20	< 10
Travail (F=Familial, S=Salarié)	F seulement	F > S	F > S	F > S	S > F
Equipement pour traitement insecticide	Manuel (pulvérisateur à dos)	Moteur (pulvérisateur à dos)	Moteur (pulvérisateur à dos)	Pompe sur petit tracteur	Pompe sur gros tracteur
<b>Capital</b>					
Coût insecticide (# kg coton graine/ha)	50 - 80	400 - 600	300 - 800	200-400	300 - 500
Coût insecticide/coût total (%)	30 - 50	60 - 80	40 - 70	50 - 70	60 - 80
<b>Indicateurs de conduite de la culture</b>					
Date de semis	Début juin	Début juin	Début juillet	Fin juillet	Début juillet
Densité (x 1000 plants/ha)	10 - 15	18 - 25	21 - 23	18 - 25	12 - 16
Nombre de pulvérisations insecticides	3 - 7	10 - 15	10 - 20	8 - 12	8 - 12
Quantité d'insecticide (l/ha)	2 - 5	12 - 20	10 - 30	7 - 15	12 - 20
Rendement (kg coton graine/ha)	150 - 800	1500 - 3000	1000 - 1500	1500 - 2500	1000 - 2000
Objectifs socio-économiques en production cotonnière	Risque minimum, économie de temps pour activités hors de l'exploitation.	Maximisation du revenu agricole par unité de surface.	Diminuer la dépendance vis à vis des commerçants locaux	Maximisation de la productivité du travail familial	Maximisation du profit

Les agriculteurs de *type B*, aussi à la tête de très petites structures d'exploitation, ont recours à la culture cotonnière pour maximiser le revenu familial sur la surface cultivable disponible, qui représente le facteur limitant principal. Une application hebdomadaire d'un cocktail insecticide de qualité supérieure mais particulièrement coûteux (matières actives formulées par les firmes multinationales d'agrochimie) vise à éviter tout risque d'attaque inattendue et incontrôlable d'insectes ravageurs. Cette stratégie fondée sur la monoculture cotonnière présente de hauts risques économiques en raison des avances de trésorerie investies, notamment en protection phytosanitaire (environ 80 % du coût des intrants). Tous les efforts d'une saison peuvent être anéantis par une soudaine explosion des populations de ravageurs, conséquence dramatique de ce type de protection peu respectueuse des équilibres écologiques entre les insectes nuisibles et leurs prédateurs. Il n'est pas rare de voir ce type d'agriculteur dans l'obligation de céder son exploitation au commerçant local, pour rembourser ses dettes après une série de mauvaises saisons.

Le *type C* est largement représenté dans la zone de Kanjanaburi comme dans toutes les régions frontalières de Thaïlande. Il est constitué de migrants illégaux (ici des Mòns originaires de Birmanie) qui se placent sous la dépendance économique et sociale de commerçants locaux. Un système de culture dérobée maïs - cotonnier leur est imposé par leur « protecteur », de même que l'utilisation d'intrants à des taux de crédit élevés (3 à 5 % par mois). Ces agriculteurs utilisent de fortes quantités de pesticides, souvent sans aucune précaution, qui leur font courir des risques d'empoisonnement considérables. Ils reçoivent des conseils techniques de leur intermédiaire de culture dont l'objectif est de maximiser l'utilisation d'intrants et le rendement par la même occasion, car ce dernier dégage une marge importante sur chacun d'eux. Les pratiques de protection des cultures ne sont évidemment ni écologiquement, ni économiquement durables, mais leur existence peut être expliquée par la relation sociale de dépendance existante.

Le *type D* est caractérisé par une diversification des activités agricoles grâce à une meilleure disponibilité financière et à l'accès au crédit bancaire. Les pratiques de protection de la culture reflètent une excellente maîtrise technique (choix de matières actives à spectre étroit ciblées sur chaque type de ravageur, intervalle de 10 jours entre applications pouvant être raccourci si les populations d'insectes atteignent le seuil économique) garantissant la compétitivité de la production cotonnière. Cette culture représente moins de 20 % de la surface cultivable et le recours à la main d'oeuvre salariée est fréquent de façon à maximiser la productivité du travail familial.



Les exploitations de *type E* bénéficient de moyens de productions (terres, capitaux, équipements, etc.) supérieurs aux catégories précédentes. Elles associent généralement une culture intensive (cotonniers, soja, etc.) avec des productions plus extensives (maïs, sorgho, etc.) car ici la disponibilité en travail est limitante. L'itinéraire technique en parcelle cotonnière est adapté à la mécanisation : une distance de 1,5 à 2 m entre les lignes permet par exemple d'effectuer le sarclage au tracteur durant la phase végétative et d'utiliser une pompe de pulvérisation pour les traitements insecticides. Le recours à la main d'oeuvre salariée est systématique.

Cette typologie a permis d'étudier les déterminants des pratiques culturales, replacées dans le contexte de systèmes de production diversifiés.

### *Impact du type de fonctionnement des SPA sur les décisions stratégiques et tactiques en culture cotonnière : exemple du choix de la date de semis*

Le choix de la date de semis constitue un élément essentiel d'un programme de protection en culture cotonnière. Les enquêtes en milieu paysan ont montré que cette décision intègre trois niveaux complémentaires d'analyse ayant trait au milieu biophysique, à l'environnement écologique ainsi qu'aux contraintes imposées par le fonctionnement du système de production.

L'analyse du processus décisionnel s'attache à mettre en évidence les relations entre les différentes composantes d'un système plutôt que d'analyser chacune d'elle prise indépendamment des autres. Le choix de la date de semis résulte ici d'interactions entre trois domaines de contraintes différents (fig. 2). Les déterminants de cette pratique sont analysés en superposant ces cadres deux à deux (interactions plante-ravageur, stratégies de protection, systèmes de culture), puis en intégrant l'ensemble de l'information représentée dans les trois cadres.

#### **Le cadre des contraintes agro-écologiques**

##### *Interactions plante-climat*

Les agriculteurs raisonnent en terme de risque lorsqu'ils considèrent tous les éléments extérieurs interférant avec le système qu'ils pilotent. La logique du choix de la date de semis peut être évaluée grâce à une analyse fréquentielle du climat qui souligne les risques relatifs de chaque alternative (cadre (a) de la fig. 3). Un semis précoce maximise le potentiel physiologique de croissance

grâce à l'accroissement des disponibilités en eau au cours du cycle cultural. Cependant, il accroît la probabilité de sécheresse au moment de la levée qui peut perturber l'établissement des plantules (un resemis complet n'est pas rare dans ces cas là) et accentue le risque d'une première récolte de coton graine en conditions pluvieuses. Un semis tardif présente les avantages et contraintes opposés par rapport à la distribution fréquentielle des pluies au cours de la saison.

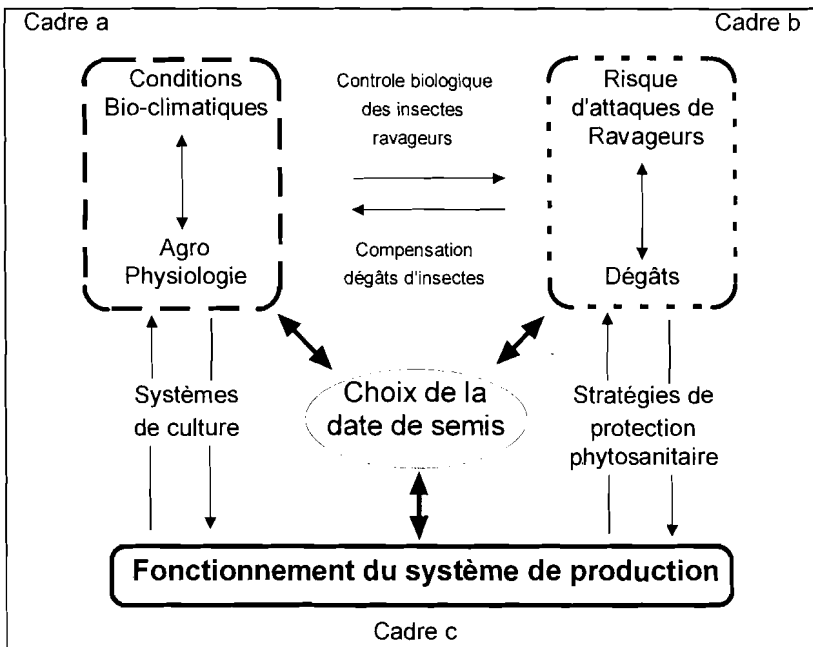


Figure 2 — Modèle d'interaction entre les trois cadres de contraintes pris en compte par les agriculteurs pour le choix d'une date de semis.

### Interactions plante-ravageur

La compilation des données expérimentales collectées sur cinq sites au cours de trois années consécutives d'observation a permis d'établir la courbe de distribution des populations des deux principaux insectes ravageurs du cotonnier en Thaïlande : la chenille carpophage *Helicoverpa armigera* et le jasside *Amrasca biguttula*. Les graphes de la figure 3 (cadre (b)) présentent pour chaque espèce le niveau d'infestation qui a une probabilité 0,5 d'être atteint tout au long de la saison culturale. Nous faisons ici l'hypothèse qu'un événement qui peut survenir une année sur deux est considéré par les agriculteurs comme extrêmement risqué. Le bien-fondé de leurs décisions au regard de la

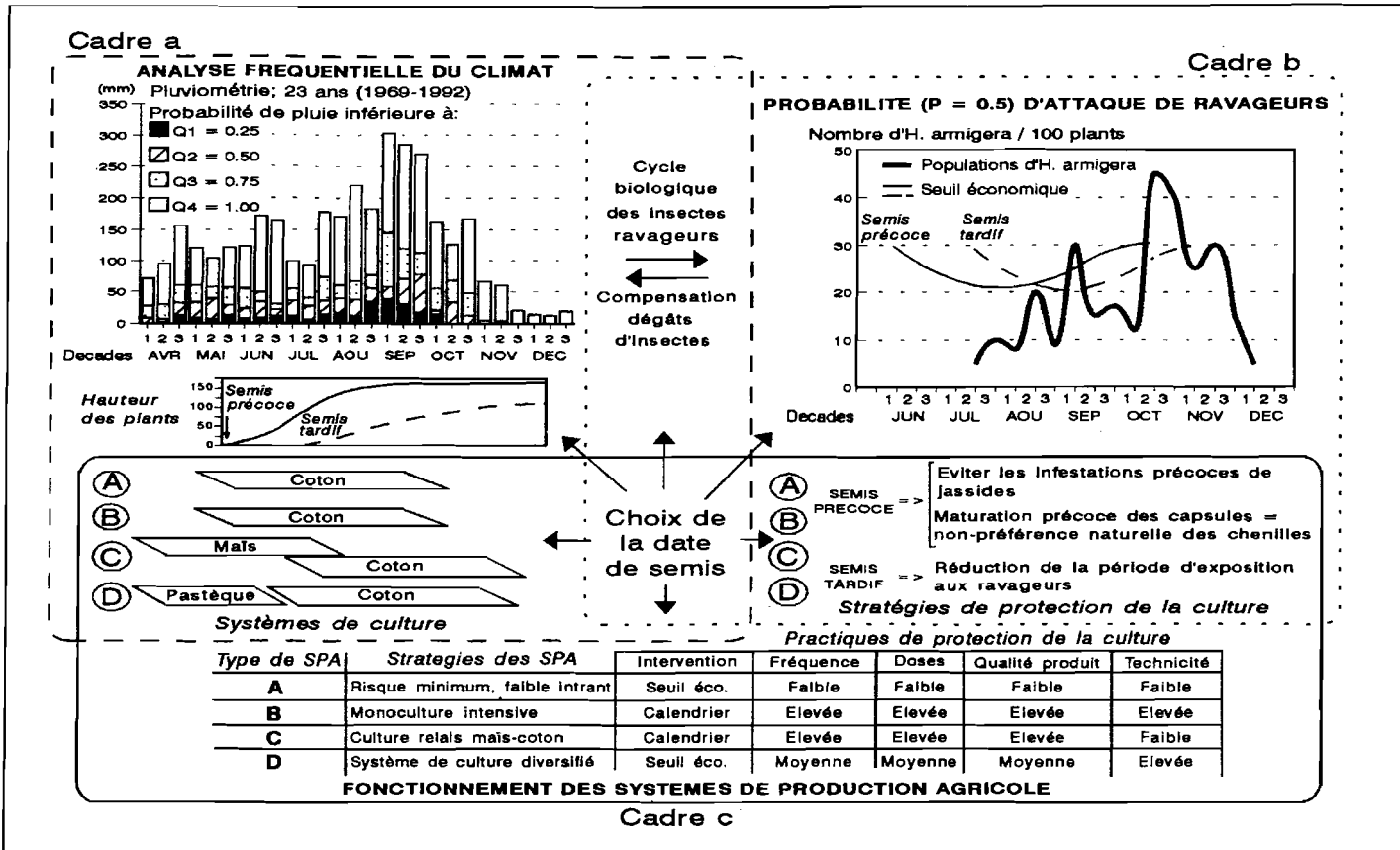


Figure 3 — Représentation schématique du processus décisionnel pour le choix de la date de semis en culture cotonnière.

distribution des probabilités d'attaques d'insectes a donc été évalué en superposant une courbe de seuil économique<sup>3</sup> au graphe précédent. Un semis précoce permet de réduire les risques liés à de fortes pressions de jassides en début de cycle (Castella, 1995). De plus, une maturation précoce des premières capsules leur confère des propriétés de tolérance vis à vis des attaques de chenilles (Genay, 1994).

### **Intégrer les contraintes agro-écologiques au contexte socio-économique du système de production**

Juger du bien-fondé de pratiques culturales à travers leurs effets sur le peuplement végétal dans un contexte agro-climatique donné ne permet pas, en soi, d'appréhender une stratégie de protection de la culture. En effet, une même pratique peut relever de deux logiques de production différentes. Les exploitants de type A et B pratiquent un semis précoce pour les mêmes raisons agro-écologiques mais l'objectif du second est de maximiser le nombre de capsules récoltables par unité de surface en calant le cycle cultural dans des conditions optimales par rapport aux risques d'attaques d'insectes ainsi qu'à grand renfort de pesticides, alors que le premier cherche à sécuriser un rendement minimal en évitant d'exposer la culture à de fortes populations de ravageurs afin de limiter les risques financiers et la demande en main d'oeuvre. De la même manière, les agriculteurs de type C appliquent des techniques de protection phytosanitaire (surdosage, hautes fréquences d'intervention, produits coûteux, etc.) proches de ceux de type B parce qu'ils n'ont pas d'alternative. L'ensemble de leur programme de contrôle des ravageurs leur est imposé par le commerçant local dont ils dépendent pour la fourniture d'intrants à crédit, la location des terrains, etc. Par contre, bien que conscient des avantages que représente un semis précoce pour la protection de la culture cotonnière, les exploitants de type C et D sèment tardivement après récolte du précédent (ou en culture dérobée pour C) afin de répartir le risque entre plusieurs productions au cours de la saison.

Pour l'agriculteur, la rationalité d'une pratique est liée à la perception qu'il a de son environnement naturel ainsi qu'à l'impact prévisible de l'opération culturale sur la parcelle de coton (cadres (a) et (b) fig. 3). Chaque succès ou échec dans la lutte contre les ravageurs est intégré dans un cadre d'expérience qui conduit à une stratégie adaptative. Le décideur applique alors la

---

<sup>3</sup> Niveau de population d'insectes ravageurs pouvant entraîner des dégâts supérieurs au coût du traitement phytosanitaire qui permettrait de les éliminer. Ici le seuil est indexé à l'état de croissance du cotonnier : nombre de chenilles par organe fructifère présent sur le plant et nombre de jassides par feuille.

combinaison de pratiques qui satisfait le mieux, à un moment donné, ses propres préoccupations (cadre (c) fig. 3). En conséquence, toute recommandation technique devrait être cohérente avec la stratégie de protection qui sous-tend la pratique visée.

Finalement, un programme de lutte contre les ravageurs est constitué d'une succession d'opérations faciles à observer et à décrire. Mais, sorties de leur contexte, ces pratiques semblent peu appropriées pour résoudre durablement les problèmes de parasitisme. Les agriculteurs sont alors considérés comme des gestionnaires peu scrupuleux qui mettent en danger la viabilité de leur propre exploitation. De ce point de vue, la plupart des producteurs thaï de coton sont encore bien loin des techniques dites de « lutte intégrée » (tabl. 1). Cependant, ils ont généralement de bonnes raisons de mettre en oeuvre de telles pratiques, dont la logique apparaît lorsque l'on considère leur cadre global de prise de décision.

### *Des pratiques actuelles à la lutte intégrée*

#### **Cahier des charges pour l'adoption des innovations par les agriculteurs**

Afin d'avoir une chance d'être adoptées, les recommandations devraient remplir plusieurs conditions.

- Les agriculteurs sont plus préoccupés par l'optimisation de leur marge économique que la maximisation du rendement, les deux étant rarement compatibles en culture cotonnière. Un programme de recherche se proposant d'améliorer la productivité des systèmes de production agricole doit être concerné par la réduction des coûts de production au même titre que du développement qualitatif et quantitatif de la production. Ainsi, la réintroduction de variétés pileuses en Thaïlande comme facteur naturel de tolérance aux jassides permet de réduire le coût de la protection contre les insectes piqueurs-suceurs (pour les agriculteurs travaillant sur seuil d'intervention). Cependant, le nouveau cultivar devrait avoir des caractéristiques (rendement potentiel, sensibilité à *H. armigera*, etc.) au moins aussi bonnes que celles des autres variétés pour avoir des chances d'être adopté par les agriculteurs.
- La prise en compte du risque est un élément de décision essentiel pour beaucoup d'agriculteurs, dont les pratiques visent à stabiliser les niveaux de production afin de réduire l'éventualité d'un échec. Avant de proposer une technique reposant sur une date uniforme de semis (qui réduirait les populations d'insectes en début de saison en limitant les plantes hôtes), l'agronome

doit donc s'enquérir de la rationalité de dates de semis décalées largement pratiquées actuellement. En établissant des priorités pour un programme expérimental, le chercheur devrait donc tester des alternatives qui n'augmentent pas nécessairement le bénéfice moyen mais aident à réduire la variabilité interannuelle.

— Un autre facteur décisionnel, lié à la gestion du risque, est le fait que les agriculteurs tendent à modifier leurs pratiques de façon graduelle. Ils comparent leurs propres pratiques avec certaines alternatives, qui sont évaluées précautionneusement avant adoption. Toute proposition pour une combinaison de recommandations doit permettre à l'agriculteur d'entreprendre les changements de façon progressive, étape par étape, un paquet technologique complexe ayant toutes les chances d'être rejeté (Cimmyt, 1988).

### **Conditions pour un programme de protection de la culture durable**

Le concept de lutte intégrée émerge comme une solution incontournable à chaque crise de la production cotonnière. Cependant, des enseignements doivent être tirés des expériences passées de programmes de protection phytosanitaire, qui ont échoué en Thaïlande (Deema, 1974 ; Napompeth, 1993) en raison du manque de d'intérêt porté à la capacité réelle des agriculteurs à mettre en oeuvre des combinaisons complexes de techniques. La mise en place d'un programme de lutte contre les ravageurs implique une transformation progressive des pratiques existantes (par exemple : introduction d'un traitement des semences efficace contre les dégâts de jassides durant la phase particulièrement sensible de la croissance végétative, tout en préservant les insectes auxiliaires pour les stades suivants (Genay, 1994)). A court terme, un tel projet consiste en recommandations tactiques, faciles à appliquer par les agriculteurs dans le cadre des contraintes de leur SPA ainsi que des restrictions qu'ils imposent à toute innovation. Par la suite, chaque type de SPA est engagé dans un processus graduel vers un programme de lutte intégrée adapté au contexte particulier à chacun d'eux. Le tableau 2 présente des propositions techniques, qui ont été testées en Thaïlande dans le cadre d'expérimentations menées en station et en milieu paysan, ainsi que leur degré d'adaptation aux différents type de SPA.

## Conclusion

L'entrée dans la sixième phase du cycle de la production cotonnière ne sera pas une entreprise aisée pour la Thaïlande, étant donné :

Tableau 2

Techniques compatible avec la lutte intégrée testées par le projet DORAS en Thaïlande et leurs chances d'adoption [fortes (3), moyenne (2), faible (1)] par les différents types d'agriculteurs (A à E) dans le contexte actuel de la production cotonnière

Techniques de lutte intégrée	Avantages	Contraintes	A	B	C	D	E
Pratique culturale							
Semis précoce	<ul style="list-style-type: none"> <li>- évite les infestations précoces de ravageurs</li> <li>- accroît le potentiel physiologique de production</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- risque de pluie à la première récolte</li> <li>- augmente le temps d'exposition aux ravageurs</li> </ul>	3	3	2	1	-
Sélection variétale							
Variété à cycle court	<ul style="list-style-type: none"> <li>- réduit la période d'exposition aux ravageurs</li> <li>- bien adapté à la mécanisation</li> <li>- date de semis tardive</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- fortes densité de semis, faible pénétration des insecticides dans la canopée</li> <li>- faibles possibilités de compensation</li> </ul>	-	-	-	2	1
Variétés pileuses	<ul style="list-style-type: none"> <li>- rusticité</li> <li>- tolérance naturelle aux jassides</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- augmente l'oviposition d'<i>H. armigera</i></li> <li>- populations accrues d'aleurodes et de thrips</li> </ul>	3	1	1	1	1
Techniques de contrôle des ravageurs							
Traitement de semences	<ul style="list-style-type: none"> <li>- protection précoce contre les insectes piqueurs-suceurs</li> <li>- épargne des insectes auxiliaires</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- choix stratégique coûteux dans la mesure où la distribution des pluies est très incertaine en début de saison</li> <li>- risque de populations accrues d'aleurodes et de thrips due à une compétition réduite avec les jassides</li> </ul>	1	3	2	3	3
Contrôle biologique (Bt, virus, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- alternative au contrôle chimique insecticide</li> <li>- sélectivité, protection des insectes auxiliaires, pas de dégradation environnementale</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- coûteux et non-disponible chez les commerçants locaux en raison des stratégies des compagnies d'agrochimie</li> <li>- manipulation peu aisée</li> <li>- risque d'apparition de résistance d'insectes si utilisé sans précautions</li> </ul>	1	2	1	2	3
Collecte manuelle	<ul style="list-style-type: none"> <li>- élimination des stades larvaires avancés de chenilles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- très consommateur en main d'oeuvre, réservé à des surfaces limitées</li> <li>- les dégâts sont déjà faits</li> </ul>	3	3	2	1	1
Programmes de pulvérisation							
Programme dose - fréquence	<ul style="list-style-type: none"> <li>- réduit la quantité de pesticides, première étape vers une intervention sur seuil (Cauquil et Vaissayre, 1994)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- comptage d'insectes, nécessite des aptitudes techniques particulières de la part des agriculteurs, encadrement et formation des services de vulgarisation</li> </ul>	-	3	3	-	-
Programme étagé - ciblé	<ul style="list-style-type: none"> <li>- spectre d'action étroit des insecticides sur des ravageurs ciblés (Deguine et Ekokole, 1994)</li> <li>- moins dommageable pour les insectes auxiliaires</li> <li>- réduit le nombre de traitement</li> </ul>		-	2	1	3	3
Seuil économique d'intervention	<ul style="list-style-type: none"> <li>- économiquement et écologiquement durable</li> </ul>		3	1	1	2	2

- le stade critique déjà atteint dans le processus de dégradation de l'environnement (Trébuil, 1993) ;
- la politique gouvernementale qui soutient l'industrie textile en favorisant les bas prix du coton à l'importation ;
- les nombreuses alternatives, agricoles ou non, qui ont fait leur apparition récemment.

Cependant, des solutions rapides doivent être trouvées dans le sens d'une gestion durable de la protection des cultures avant que cette situation insupportable ne se répande aux autres productions intensives, notamment les vergers et cultures maraîchères. La démarche interdisciplinaire présentée ci-dessus a montré qu'elle pouvait relever le défi et s'attaquer aux composantes interconnectées d'écosystèmes fragiles où des désastres sont survenus à cause d'une gestion non rationnelle de la protection phytosanitaire dans le passé. La lutte intégrée n'est pas un paquet technologique « prêt à l'emploi » mais une approche capable d'adapter les grands principes agro-écologiques au fonctionnement diversifié des systèmes de production (Teng et Savary, 1992). Des recommandations ciblées sur les différents types d'exploitations devraient recevoir un accueil favorable dans la mesure où les futurs utilisateurs ont été impliqués dans les étapes successives de leur élaboration. De la même façon, les vulgarisateurs, et plus largement tous les acteurs du développement agricole régional, devraient prendre part à ce type de recherche ainsi qu'à leur valorisation auprès des agriculteurs.

### Remerciements

Les résultats présentés ici sont issus de travaux de recherche menés dans le cadre du projet DORAS à l'Université Kasetsart. Nous tenons ici à remercier l'ensemble de l'équipe pour l'assistance apportée, notamment dans le cadre des essais multi-locaux et des expérimentations en station.

## Références bibliographiques

BOTTRELL D.G., ADKISSON P.L., 1977 – Cotton insect pest management. *Annual Review of Entomology*, 22 : 451-481.

Capillon A., 1993 – *Typologie des exploitations agricoles, contribution à l'étude régionale des problèmes*



- techniques. Thèse de doctorat. Institut national agronomique Paris-Grignon, 45 pages + annexes.
- CAPILLON A., MANICHON H., 1988 – *Guide d'étude de l'exploitation agricole à l'usage des agronomes*. Paris, Relance agronomique Adeprina - APCA, 53 pages.
- CARON H., GENAY J.-P., POOPROMPAN P., 1992 – Diagnostic studies on the resistance to pyrethroid insecticide in American Bollworm (*Lepidoptera Noctuidae*) strain from Western Thailand. In : DORAS Project (éd.) : *Proceedings of the Tenth Conference on Methodological Techniques in Biological Sciences*, Bangkok, Kasetsart university, pp. 10.
- CASTELLA J.-C., 1995 – *Stratégies de lutte contre les insectes ravageurs dans les systèmes de culture cotonniers en Thaïlande. Logiques actuelles et propositions pour une gestion durable*. Thèse de Doctorat, Institut national agronomique Paris-Grignon. Paris, Orstom éditions, Coll. TDM, 282 pages.
- CAUQUIL J., VAISSAYRE M., 1994 – Protection phytosanitaire du cotonnier en Afrique tropicale. *Agriculture et développement* 3 : 13-23.
- CIMMYT, 1988 – From agronomic data to farmer recommendations : *An economics training manual. Completely revised edition*. Mexico, Cimmyt economic program, 78 pages.
- COLLINS M.D., 1986 – Pyrethroid resistance in the cotton bollworm, *H. armigera* - A case study from Thailand. In : *Proceedings of the British crop protection conference - Pest and diseases*, pp. 583-589.
- DEEMA P., THONGDEETA S., HONGTRAKULA T., OONCHITRAWATTANA T., SINGHASENEE Y., LIPPOLD P., 1974 – Integrated control of cotton pests in Thailand. *Plant protection service technical bulletin*, vol. 23, Bangkok, department of agriculture, ministry of agriculture & cooperatives of Thailand, 27 pages.
- DEGUINE J.-P., EKUKOLE G., 1994 – Nouveau programme de protection en culture cotonnière au Cameroun. *Agriculture et développement*, 1 : 59-63.
- EVENSON J.P., 1987a – *A Report on Cotton Research in the Thai Department of Agriculture*. Bangkok, Australian cooperation with the national agricultural research project (ACNARP), ministry of agriculture and cooperatives of Thailand, 28 pages.
- EVENSON J.P., 1987b – A case study of pest management on cotton in Queensland. In : Tait J. et Napompeth B. (éd.) : *Management of Pest and Pesticides : Farmers' Perceptions and Practices*. Boulder, Westview Studies Press, pp. 49-57.
- FALCON L.A., SMITH R.F., 1973 – *Guidelines for integrated control of cotton insect pests*. Rome, FAO, 144 pages.
- GENAY J.P., 1994 – *Trois Années d'Expérimentation Phytosanitaire sur Cotonnier en Thaïlande (1991-1993) : Bilan et Perspectives*. Montpellier, Documents de travail du Cirad-CA, n°4-94, 38 pages.
- GIPS T., 1987 – A case study of insect pest management in cotton: success with IPM. In : International organization of consumers Unions (éd.) : *Breaking the Pesticide Habit : Alternative to Twelve Hazardous Pesticides*. Singapore, IOCU, pp. 40-57.
- GRIMBLE R.J., 1971 – *The Economics of Cotton Production*. Bangkok, Foreign and Commonwealth office, Overseas development administration cooperation with the department of agriculture, ministry of agriculture and cooperative, 49 pages.
- NAPOMPETH B., 1993 – Integrated pest management in Thailand. *BIOTROP Special Publication*, 50 : 27-35.
- OUDEJANS J.H., 1994 – Principles of integrated pest control. In : Oudejans J.H. (éd.) : *Agro-Pesticides : Properties and Functions in Integrated Crop Protection*. Bangkok, ESCAP-United Nations, pp 2-28.
- REDDY G.P.V., MURTHY M.M.K., DEVAPRASAT V. 1990 – Integrated pest management in cotton with special reference to *Heliothis* and *Bemisia* control. In : Holly K., Copping L.S., Brooks G.T. (éd.) : *Proceedings of the international seminar : Recent development in the field of*

*pesticides and their application to pest control.* China, Shenyang, pp. 350-370.

STERN V.M., SMITH R.L.,

Van den Bosch R., Hagen K.S., 1959 –  
The integrated control concept. *Hilgardia*,  
29 : 81-101.

TENG P.S., SAVARY S., 1992 –  
Implementing the systems approach in pest  
management. *Agricultural Systems*,  
40 : 237-264.

TREBUIL G., 1993 –  
Agriculture pionnière, révolution verte et  
dégradation de l'environnement en Thaïlande :  
Le cinquième dragon ne sera pas vert. *Tiers  
Monde*, 134 : 365-383.

TREBUIL G., DUFUMIER M., 1993 –  
Regional agrarian systems and sustainability of

agricultural production systems in Thailand.  
*Journal of Asian Farming Systems  
Association*, 1 : 557-568.

TREBUIL G., KAOJARERN S.A., 1995 –  
Télé-détection et systèmes agraires en  
Thaïlande occidentale. *Agriculture et  
développement*, 5 : 4-15.

TREBUIL G., KAOJARERN S.A.,  
TRIMONGKONKOOOL P.,  
NGERNPRASERTSRI N., CASTELLA J.C., 1994 –  
*Dynamics of Agrarian Landscapes in Mae  
Nam Kwae Noi Valley Western Thailand.*  
Bangkok, DORAS project - Kasetsart  
university & INRDM program - Asian institute  
of technology, 86 pages.

# Prise de décision et réalisation des semis de la culture cotonnière dans la région Nord du Cameroun

Isabelle Dounias

## Introduction

Le climat de la zone agricole entourant la ville de Garoua dans le Nord du Cameroun se caractérise par une seule saison des pluies répartie sur sept mois de l'année. En moyenne, la pluviométrie s'élève à 1 000 mm, et la durée de la saison humide est de 180 jours (Cochemé et Franquin, 1967). Les systèmes de culture en présence se composent de quatre principales cultures pluviales : le cotonnier, le maïs, le sorgho et l'arachide.

De nombreux travaux expérimentaux portant sur des zones climatiques proches ont montré l'influence de la date de semis du cotonnier sur le rendement final obtenu (Boulanger, 1956 ; Braud et Richez, 1963 ; Megie, 1963 ; Milleville, 1976). Des observations menées en Côte d'Ivoire ont permis d'estimer la baisse de rendement entre 200 et 300 kg/ha par décade de retard à compter de la date de semis optimale (Crétenet, 1987). Nos observations, réalisées en 1993 sur les parcelles d'un échantillon de 16 unités de production prises dans deux villages de la région de Garoua, vont dans ce sens (fig. 1), même si d'autres facteurs interviennent pour expliquer les rendements obtenus, les techniques culturales comme les doses d'engrais épandues variant selon les dates de semis. Or le suivi de ces unités de production montre un étalement important des dates de semis du cotonnier, allant du 20 mai au 15 juillet (fig. 2), une même unité pouvant connaître plusieurs périodes de semis. Nous nous sommes donc intéressés à la prise de décision amenant à la réalisation des semis de la culture cotonnière.

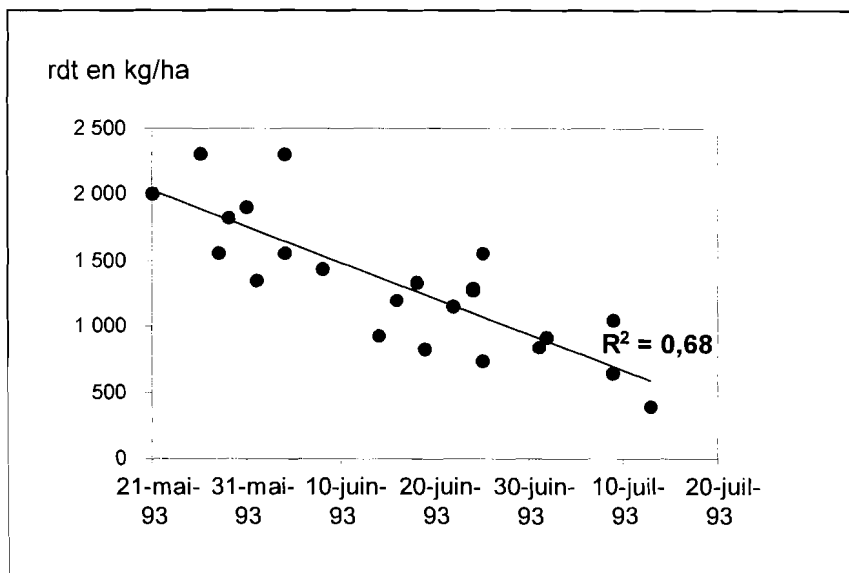


Figure 1 — Date de semis et rendement du cotonnier.

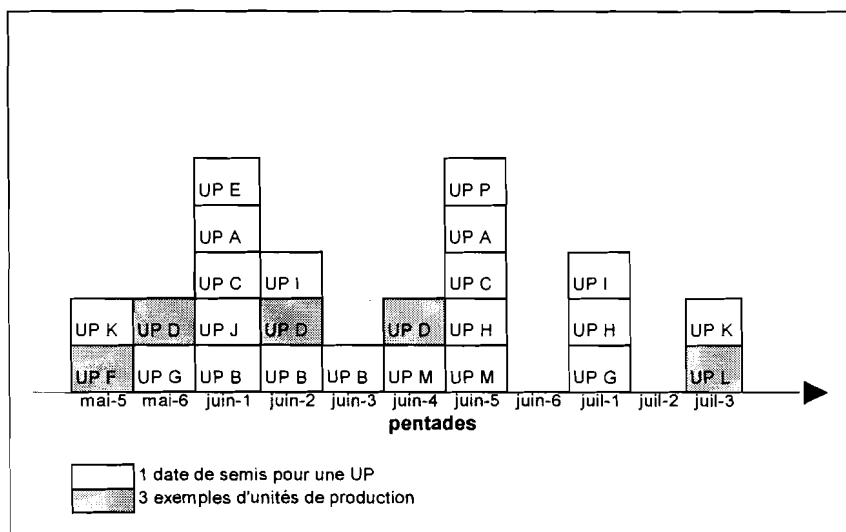


Figure 2 — Répartition des unités de production (UP) en fonction des pentades de semis du cotonnier en 1993.

Un recensement des caractéristiques de structure de l'ensemble des unités de production sur les deux villages concernés, a montré la présence simultanée des quatre cultures pluviales dans la majorité de ces unités. Les variétés utilisées présentent des longueurs de cycle peu différentes, de 110 jours pour

le maïs à environ 130 jours pour le cotonnier, ce qui oblige les agriculteurs à planter la totalité de leur assolement sur une période assez courte (70 jours), caractérisée par des épisodes pluviaux irréguliers. Les résultats du recensement révèlent aussi le sous-équipement présent dans les sites étudiés : 30 % seulement des unités production disposent d'un ou plusieurs attelages bovins, et 10 % d'un attelage asin, la motorisation étant quasiment absente. De même, les moyens en main d'oeuvre sont apparus limités au vu des surfaces cultivées, la surface cultivée par actif agricole étant supérieure à 1 ha. Ces faits laissent supposer que les agriculteurs sont confrontés à une demande en travail élevée aux moments des implantations, et que les moyens limités dont ils disposent les obligent à établir des priorités dans l'attribution de ces moyens. Nous supposons alors que l'analyse précise de l'organisation du travail à l'échelle de l'unité de production va nous permettre de comprendre comment les agriculteurs résolvent ce problème, et en conséquence, d'expliquer les dates de semis du cotonnier.

En s'inspirant des travaux réalisés sur les prises de décisions agricoles (Cerf et Sebillotte, 1988 ; Duru *et al.*, 1988 ; Aubry, 1995) et notamment sur l'étude de l'organisation du travail (Laporte *et al.*, 1986 ; Papy *et al.*, 1990 ; Cerf *et al.*, 1994 ; Chatelin *et al.*, 1994), nous sommes partis de l'hypothèse de l'existence d'une organisation planifiée des décisions de l'agriculteur en début de campagne et de celle d'une formalisation possible de ces décisions par les modèles d'action définis par Duru *et al.* (1988), Sebillotte et Soler (1988, 1990). Cette notion de modèle d'action représente sous forme d'objectifs, de programmes prévisionnels et de règles de décisions, la façon dont les agriculteurs conçoivent l'organisation de leurs décisions techniques.

L'étude de plusieurs unités de production nous a permis de montrer qu'il était en effet possible de représenter par la structure d'un modèle d'action le comportement décisionnel des agriculteurs interrogés. C'est ce que nous nous proposons d'illustrer à partir de l'exemple de trois unités de production.

## Le contexte agricole

### *Une homogénéisation apparente des pratiques culturales*

#### **Une culture pivot : la culture cotonnière**

D'après les statistiques de la société cotonnière sur la région Garoua-Ouest nous concernant, en 1993, le cotonnier représente 30 % des surfaces cultivées, tout comme le maïs, la part respective de l'arachide et du sorgho s'élevant à

20 %. Le cotonnier tient donc une place importante dans les assolements, place qui progresse en 1994 jusqu'à 40 % des surfaces cultivées.

Depuis 1974, la filière cotonnière est encadrée par une société para-étatique (la Sodécoton), chargée du suivi de la culture, du conseil technique aux agriculteurs, de la fourniture des intrants à crédit et de la commercialisation des récoltes. Elle fournit aussi aux planteurs de cotonnier des crédits pour l'achat d'attelages. Palliant le manque d'encadrement agricole sur les autres filières, elle touche aussi d'autres cultures comme le maïs, dont elle a largement contribué au développement observé depuis 1985, le remboursement des intrants étant garanti par la production cotonnière. Le développement de la culture cotonnière dans la région a ainsi plus largement permis l'introduction des intrants (engrais, insecticides et herbicides) et de la mécanisation dans les systèmes de culture. En fait les agriculteurs associent dans leurs systèmes deux types de cultures : d'un côté le cotonnier et le maïs qui nécessitent des intrants, de l'autre le sorgho et l'arachide dont la culture est restée traditionnelle, sans intrant.

La culture cotonnière a aussi induit des entrées d'argent importantes pour les agriculteurs, et favorisé la monétarisation des systèmes de production. Si les autres filières ne font pas l'objet d'un encadrement, la proximité du marché urbain de Garoua rend possible le commerce de vivrier (le maïs et l'arachide), ce qui pousse également à la monétarisation des systèmes.

Ajoutons que la région d'étude, peu peuplée relativement à d'autres zones du Cameroun, accueille de nombreux migrants. La stratégie essentielle de ces migrants est d'obtenir des surplus monétaires grâce à la culture cotonnière, tout en mettant en place des systèmes de culture consommateurs d'espaces (Dounias, 1995).

### **Un encadrement agricole uniforme et directif**

La société cotonnière influence de façon marquante les pratiques agricoles. Elle constitue pratiquement l'unique concepteur et fournisseur d'outils pour le travail mécanisé du sol, d'où une grande homogénéisation des équipements en présence. Pour la préparation des semis, les agriculteurs ont à leur disposition des charrues bovines et asines, et les semis se font manuellement, en ligne, le long de cordes de semis.

Dans la région, la société cotonnière a favorisé le développement des labours mécanisés pour l'implantation du cotonnier : les semis directs sans préparation sont acceptés mais peu valorisés par la Sodécoton. Cependant, depuis trois ans, la société vulgarise un nouvel itinéraire technique jugé performant par ses

dirigeants, un semis direct suivi d'un épandage d'herbicides fournis à crédit aux agriculteurs, à des prix intéressants.

Dans un but d'obtenir des niveaux de production élevés, la Sodécoton favorise les semis précoces du cotonnier (avant le 20 juin) par la réduction des doses d'engrais distribuées pour les surfaces cotonnières emblavées après cette date. Par ailleurs, pour des raisons organisationnelles, la distribution des graines de coton ne débute qu'à partir de la deuxième décade de mai, ce qui empêche les semis antérieurs à cette date.

Pour la lutte contre les adventices, la Sodécoton vulgarise depuis plusieurs années les sarclages mécaniques pour le cotonnier, mais aussi pour les autres cultures. Cependant ces opérations sont encore effectuées en grande majorité de façon manuelle, mobilisant la main d'oeuvre sur de longues périodes.

Concernant le maïs, la Sodécoton a vulgarisé un itinéraire technique impliquant des labours mécaniques. Pour les autres cultures plus traditionnelles comme le sorgho et l'arachide, l'influence des conseils de la société cotonnière est bien moindre ; nous ne les développons donc pas ici.

### **Des références communes aux agriculteurs de la région sur l'ensemble des cultures**

Au sujet du cotonnier, les agriculteurs associent l'obtention de hauts rendements aux semis précoces et au labour mécanique.

Pour les autres cultures, les agriculteurs possèdent un savoir commun à partir de la connaissance des conditions pluviométriques et du comportement des populations végétales. Dans la région, si les conditions pluviométriques sont globalement favorables les risques d'arrêt précoce des pluies existent. Mais surtout, le retour des pluies est irrégulier, comportant des épisodes secs (tabl. 1 et 2). Après la phase d'installation, la persistance des pluies s'accompagne de la prolifération des adventices. Ainsi, plus les semis sont tardifs, plus les parcelles sont au départ enherbées, ce qui compromet la maîtrise de l'enherbement et impose des labours mécaniques, de plus en plus difficiles à pratiquer à mesure que le tapis herbacé se développe. Les agriculteurs tentent donc d'éviter des semis trop tardifs pour toutes les cultures.

Par rapport à ces caractéristiques climatiques, les agriculteurs disposent de variétés d'arachide et de sorgho de 120 jours. Ces dernières, peu photopériodiques, présentent une bonne résistance aux moisissures, ce qui rend possible une phase de maturation des grains avant l'arrêt des pluies. De plus, ces deux cultures, par leur bonne résistance aux épisodes de sécheresse en début de cycle, permettent aux agriculteurs de valoriser les premières pluies

**Tableau 1**  
Précipitations mensuelles moyennes (en mm) des années humides, moyennes et sèches - Garoua de 1965 à 1987

	Fréquence (nombre d'années sur 10)	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Total
Année humide	3	4	79	158	183	266	315	251	102	9	1 367
Année moyenne	5	1	38	102	123	188	228	181	59	1	931
Année sèche	2	-	7	61	79	130	162	129	28	-	596
Moyenne	-	1,3	43,4	110,1	131,8	199,1	240,1	190,7	65,3	2,2	984

Sources : Mission d'étude et d'aménagement de la vallée supérieure de la Bénoué (MEAVSB), Deutsche gesellschaft für technische zusammenarbeit (GTZ), 1987.

**Tableau 2**  
Précipitation mensuelles (en mm) - Boumedgé-Garoua, 1993-1994

		Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Total
1993	Moyenne mensuelle	0	76	165	102	210	273	172	40	0	1 038
	Nb de jours de pluie	0	3	10	7	11	11	12	5	0	59
1994	Moyenne mensuelle	0	59	29	181	276	181	196	79	0	1 001
	Nb de jours de pluie	0	3	6	8	13	13	16	7	0	66

Source : Enquêtes de l'Institut de recherche agronomique du Cameroun (IRA).



irrégulières et d'effectuer des semis directs, l'enherbement étant encore faible. Pour l'implantation du maïs par contre, il est moins risqué d'attendre la persistance des pluies et le cycle plus court (110 jours) permet des semis plus tardifs qui peuvent donc intervenir après l'implantation des surfaces cotonnières. De tout cela découle un calendrier d'implantation « idéal » commun à tous les agriculteurs (fig. 3).

### *Des sources de diversité dans les comportements agricoles*

#### **Une pluviométrie contraignante qui vient perturber un déroulement « idéal » d'implantation**

Le démarrage de la saison pluvieuse présentant des caractéristiques très irrégulières d'une année à l'autre, il peut fortement affecter le déroulement des semis, et mettre en concurrence les différentes cultures entre elles. Par ailleurs, le développement rapide des adventices rend les opérations de sarclages nécessaires avant la fin des semis, ce qui augmente encore la pression du travail. Si ces contraintes s'appliquent à tous les agriculteurs, leurs manières d'y répondre sont variées.

#### **Diversité de structure des unités de production**

Les capacités de réaction des agriculteurs sont tributaires de leurs moyens en main d'oeuvre et en équipement relativement aux surfaces cultivées. Or dans les deux villages d'étude, ces moyens sont très variables d'un agriculteur à l'autre. Cette diversité a été appréhendée à travers la construction d'un échantillon de 16 unités de production, à l'intérieur duquel, par unité, les surfaces emblavées varient de 1,6 à 14,5 hectares, avec une part relative du cotonnier dans les assolements de 0 à 40 % ; la main d'oeuvre disponible, salariée ou familiale, représente 1 à 7,8 unités de travail agricole (UTA), le rapport surface cultivée par UTA variant de 0,4 à 2,5 hectares ; l'équipement est inexistant ou est composé de trois attelages bovins (tabl. 3).

Il faut souligner que dans les deux sites il existe des pratiques d'échanges de main d'oeuvre et d'équipement entre les unités de production. Ces échanges peuvent s'exercer dans le cadre de l'entraide, mais ils font surtout l'objet de tractations monétaires. Concernant la main d'oeuvre, des agriculteurs du village peuvent travailler chez d'autres en tant que journaliers. Sinon, les unités de production peuvent employer des salariés venus de l'extérieur, qu'ils

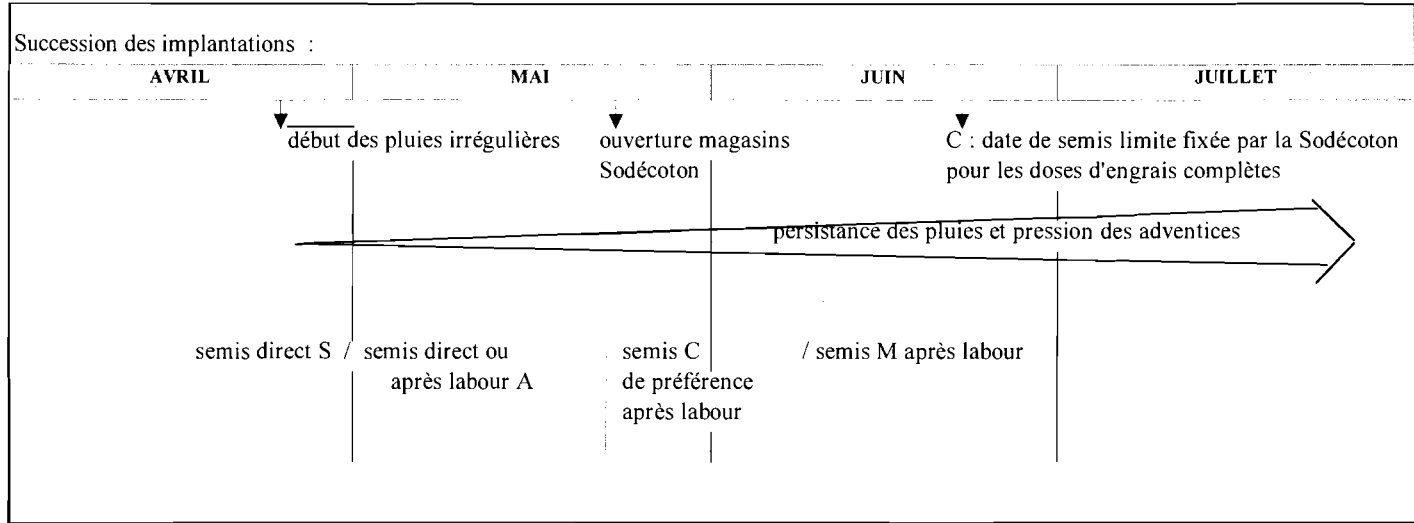


Figure 3 — Références communes pour la succession des implantations des quatre cultures principales.

S : sorgho ; A : arachide ; C : cotonnier ; M : maïs

Les rendements élevés sont associés aux conditions suivantes :

- Sorgho : semis très précoce ;
- Arachide : semis précoce, de préférence après un labour qui permettra à la culture de mieux se mettre en place ;
- Cotonnier : semis précoce après un labour ;
- Maïs : semis après un labour, les semis de juillet étant considérés comme risqués par rapport à la fin de la saison des pluies.

Mis à part le sorgho semé aux premières pluies, les agriculteurs préfèrent labourer avant de semer leurs cultures afin de faciliter la lutte contre les adventices.

logent et nourrissent pendant la saison agricole : ce sont des saisonniers. Quant aux locations d'équipement, elles peuvent même s'effectuer à crédit, les prestations étant alors payées lors de la vente du coton en fin de campagne. Cependant, ce type d'échange ne permet pas au demandeur de choisir les dates d'intervention. Ainsi, si tous les agriculteurs ont accès à l'équipement, c'est avec des conditions de disponibilité bien différentes.

**Tableau 3**  
**Caractéristiques générales des unités de production (UP) enquêtées en 1993**  
**par ordre de surface cultivée décroissante**

UP	Surface totale cultivée (ha)	% cotonnier	Main d'oeuvre principale	Unité de travail agricole (UTA)	Surface totale/ UTA (ha)	Matériel de traction		Trésorerie
						Composition	Autonomie	
A	14,45	38	Familiale	7,50	1,93	3 attel. bovins	Moyenne	Bonne
B	9,20	38	Fam. + sal.	7,75	1,26	1 attelage bovin	Totale	Bonne
C	6,60	23	Familiale	3,50	1,89	1 attelage bovin	Totale	Moyenne
D	6,14	16	Familiale	5,00	1,23	1 attelage asin	Totale	Moyenne
E	5,10	12	Familiale	4,00	1,27	1 attelage bovin	Totale	Moyenne
F	5,00	40	Salariée	4,75	1,05	1 attelage bovin	Totale	Bonne
G	4,55	24	Salariée	4,25	1,07	1 attelage bovin	Totale	Bonne
H	3,20	13	Familiale	5,00	0,64	1 attelage asin	Totale	Faible
I	3,20	17	Familiale	1,75	1,83	-	Nulle	Moyenne
J	2,75	18	Familiale	1,50	1,83	-	Nulle	Faible
K	2,50	40	Salariée	1,00	2,50	-	Nulle	Faible
L	2,45	10	Familiale	2,50	0,98	-	Nulle	Faible
M	2,45	35	Familiale	1,50	1,63	-	Nulle	Faible
N	1,67	0	Familiale	1,75	0,95	-	Nulle	Faible
O	1,55	0	Familiale	4,00	0,39	-	Nulle	Faible
P	1,55	29	Familiale	1,00	1,55	-	Nulle	Faible

unités de production retenues pour l'analyse

### Diversité des objectifs poursuivis par les agriculteurs

Au départ, tous les agriculteurs n'ont pas les mêmes objectifs quand ils se lancent dans la culture cotonnière, et celle-ci comporte des enjeux qui dépassent la simple réalisation d'un bénéfice financier. C'est en effet la seule culture qui permet d'accéder à l'engrais à crédit. Or dans les systèmes étudiés qui font intervenir des céréales et notamment du maïs, la fertilisation minérale est primordiale, d'autant plus que l'emploi de la fumure organique est marginal (problème de transport, problème de conservation des résidus de

récolte à cause de la vaine pâture...). Dans ce contexte, la culture cotonnière offre des avantages que nous pouvons détailler.

Tout d'abord, les agriculteurs l'utilisent en tête d'assolement car les itinéraires techniques qui lui sont appliqués en font un précédent de culture très intéressant : fertilisée, elle fait bénéficier d'un arrière-effet engrais les cultures qui lui succèdent ; sarclée plusieurs fois, buttée, elle permet d'obtenir pour l'année suivante des parcelles où la pression de l'enherbement est faible, et où les lignes de buttage sont bien visibles, idéales pour les semis directs. Valorisant ces deux types d'avantages les agriculteurs lui font succéder principalement les cultures de sorgho mais aussi d'arachide, toutes deux ne recevant aucune fertilisation. Certains en feront même bénéficier des petites parcelles de maïs précoce semées sans labour.

Mais plus directement, faire de la culture cotonnière permet aux agriculteurs d'avoir des engrais à crédit pour le maïs, soit officiellement auprès des agents de la Sodécoton, soit le plus souvent en détournant une partie des engrais destinée au cotonnier. Depuis la baisse du prix d'achat du coton aux producteurs en 1989, ces avantages ont d'ailleurs joué un rôle non négligeable pour la poursuite de la culture cotonnière dans la région.

De plus, ajoutons que pour certains agriculteurs, les besoins vivriers peuvent imposer des contraintes fortes pour les dates de semis du maïs. En effet, le maïs avec un cycle plus court que le sorgho, est un moyen de limiter la période de soudure alimentaire s'il est semé précocement, donc avant le cotonnier.

## *Conclusion*

Malgré les incitations fortes de la Sodécoton en matière de date et de mode d'implantation du cotonnier, les agriculteurs ont des objectifs, des priorités et des contraintes qui leur sont propres, et qui les font réagir de façons différentes aux événements pluviométriques. Exploitant les marges de manoeuvre qui leur sont laissées, ils créent ainsi une diversité de pratiques et de résultats que nous cherchons à expliciter.

Les trois unités de production que nous prenons comme exemple seront choisies de façon à faire varier les caractéristiques de structure mais aussi les objectifs des agriculteurs.

## Exemples de modèles d'action

Les trois unités de productions ont été sélectionnées dans un même village (Boumedgé-Garoua) pour avoir des conditions pluviométriques très proches sur leurs parcelles. Parmi elles, deux sont équipées et ont des surfaces cultivées du même ordre de grandeur, mais présentent des différences importantes (tabl. 3 et 4). Le fonctionnement des systèmes de culture de l'une d'entre elles (UP F) repose sur une logique intensive en intrants et en travail : l'agriculteur emploie des saisonniers, réduit la part du sorgho dans les assolements alors que le cotonnier et le maïs en représentent 70 %, et limite à 1 hectare la surface cultivée par actif agricole. L'autre unité de production (UP D) emploie une main d'oeuvre familiale, réserve une place majoritaire au sorgho dans son assolement (35 % des surfaces), et cultive autour de 1,2 hectares par actif. Quant à la troisième (UP L), elle n'a pas d'équipement et possède peu de moyens financiers pour y accéder, tout en cultivant 1 hectare environ par actif.

La formalisation des modèles d'action repose sur trois sources d'informations : les entretiens sur les projets de campagne ; la confrontation entre les prévisions et les réalisations ; un suivi technique des parcelles mises en culture, et ceci sur les années 1993 et 1994. Les caractéristiques contrastées des scénarios pluviométriques rencontrés ont favorisé cette analyse. En effet en 1993, les pluies se mettent en place dès fin avril (tabl. 2). C'est une année favorable qui permet l'étalement des travaux de semis, mis à part un ralentissement des pluies de fin mai à mi juin. Par opposition, l'installation des pluies est difficile en 1994 : si une pluie fin avril a permis l'implantation d'une partie des surfaces de sorgho, la saison agricole ne débutera vraiment que début juin, ce qui compromet tout le calendrier des semis, et exacerbe les concurrences entre les cultures.

Pour représenter les modèles nous nous baserons sur les travaux développés par l'Inra, en utilisant les règles qui ont été formalisées pour les décisions de conduite technique des cultures et pour l'organisation du travail.

### *Unité de production F (UP F)*

#### **Caractéristiques et objectifs**

L'agriculteur possède un attelage bovin. Migrant installé depuis longtemps, il n'est pas limité en surface et ses sols ont un bon potentiel agricole. Par contre la main-d'oeuvre familiale est faible, contrainte qui l'oblige à faire appel à des

Tableau 4  
Caractéristiques et assolements des trois unités de production en 1993 et 1994

	Unité de travail agricole	Equipement de labour	Capacité investissement	Assolement (ha et % surface totale)							Charge en travail (ha / UTA)
				Sorgho	Arachide	Maïs	<i>Coton</i>	Céréales épouses	Arachide épouses	Surface totale	
UP F											
1993	4,75	1 paire boeufs 1 charrue	Forte	0,50 10 %	1,00 20 %	1,50 30 %	2,00 40 %	0,00	0,00	5,00	1,05
1994	Idem	Idem	Idem	Idem	Idem	2,00 40 %	1,50 30 %	Idem	Idem	Idem	Idem
UP D											
1993	5,00	1 âne 1 charrue	Moyenne	2,13 35 %	0,25 4 %	1,38 22 %	1,00 16 %	0,25 4 %	1,13 19 %	6,14	1,23
1994	Idem	Idem	Idem	1,90 33 %	0,75 13 %	0,75 13 %	Idem 17 %	Idem 4 %	Idem 20 %	5,76	1,15
UP L											
1993	2,50	0	Faible	0,60 25 %	0,70 29 %	0,40 16 %	0,25 10 %	0,00	0,50 20 %	2,45	0,98
1994	3,00	Idem	Idem	0,80 25 %	0,50 16 %	0,45 14 %	0,95 30 %	Idem	Idem 16 %	3,20	1,07

salariés saisonniers à qui il prête un peu de terre. Par ailleurs, l'agriculteur a une bonne trésorerie, ce qui lui permet d'acheter des intrants au comptant et d'employer de la main d'oeuvre journalière d'appoint.

Pour les trois cultures principales de son assolement (le cotonnier, le maïs et l'arachide), ses objectifs de rendement sont élevés. Pour le maïs et l'arachide, il s'agit de dégager, en plus de la satisfaction des besoins alimentaires de la famille, des surplus conséquents pour la vente.

### **Modèle d'action**

L'agriculteur dispose d'un schéma prévisionnel d'intervention que nous avons représenté sur la figure 4. Les dates indiquées sont celles données par l'agriculteur, et représentent pour lui les risques climatiques acceptés par rapport à ses objectifs de rendement.

Si nous analysons le programme prévisionnel nous pouvons mettre en évidence :

- des règles définissant des modalités d'intervention : pour la mise en place du cotonnier, l'agriculteur annonce une seule modalité, à savoir un labour mécanique avant semis ; le chantier de labour est constitué par son attelage conduit par les saisonniers ; quant au chantier de semis, il peut être pris en charge soit par la main d'oeuvre familiale complétée par des saisonniers, soit par des journaliers suivant la disponibilité des saisonniers ;
- des règles d'enchaînement entre les opérations : sur une parcelle donnée de cotonnier, les semis ne débutent pas tant que le labour sur cette parcelle n'est pas terminé ;
- des règles de déclenchement d'opérations à la parcelle : si la pluviométrie permet d'avoir un sol humide, les labours pour l'implantation du cotonnier commencent dès le début du mois de mai, de façon à pouvoir débiter les semis lors de la distribution des semences (20 mai) ;
- des règles de fin d'opérations sur une parcelle : le 5 juin constitue une date limite pour les semis du cotonnier, les rendements attendus étant supérieurs à 2 tonnes de coton graine par hectare.

Au niveau maintenant de l'ensemble du système de culture, l'agriculteur prévoit un ordre de succession pour l'implantation de ses différentes spéculations : dans l'ordre chronologique, semis direct de sorgho et semis direct ou après labour de l'arachide (règle de déclenchement : première pluie supérieure ou égale à 20 mm à partir de la deuxième décade d'avril) ; labour et semis d'une partie du maïs (0,5 à 1 ha, afin d'avoir rapidement des épis à manger en

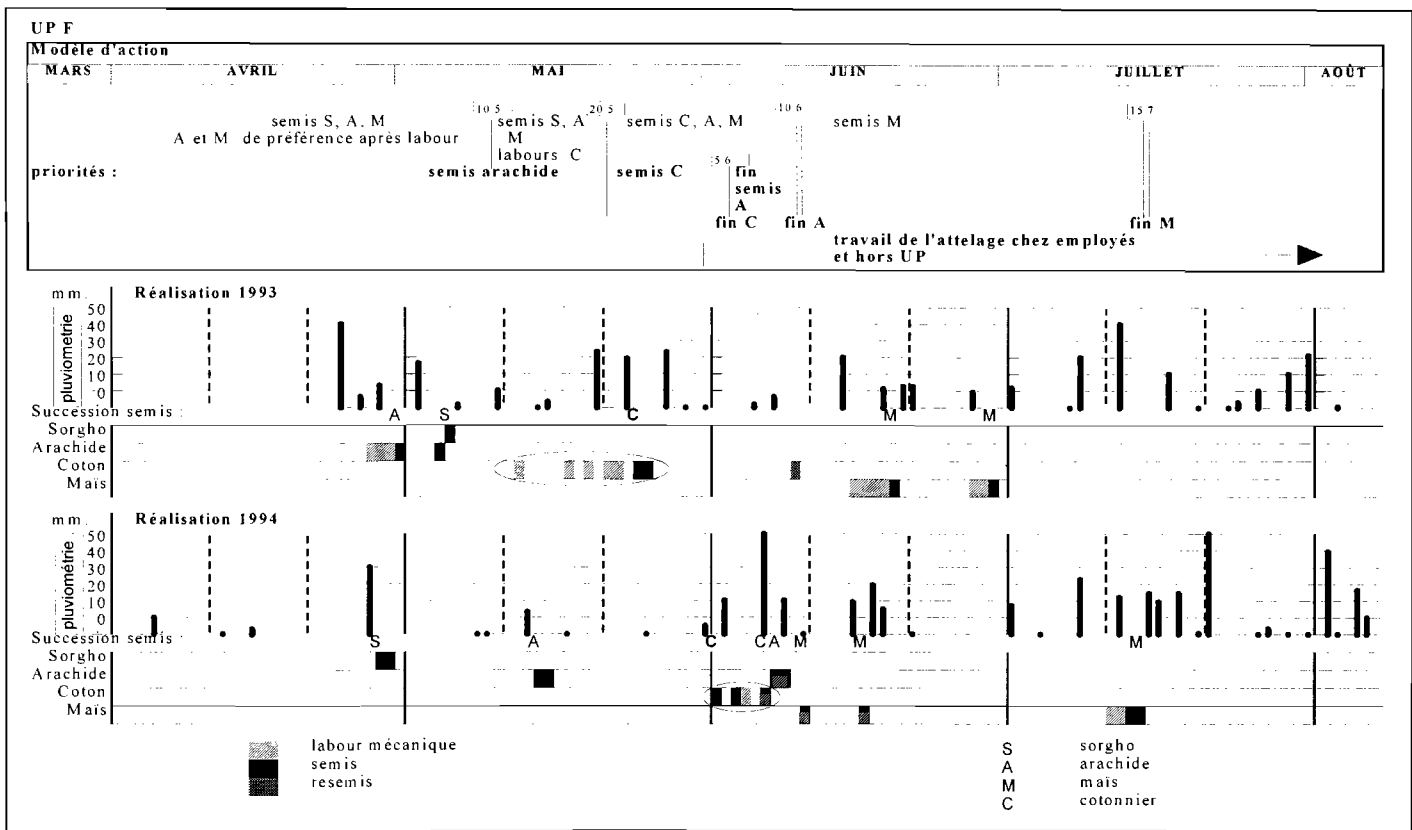


Figure 4 — Contenu du modèle d'action UP F et réalisation en 1993 et 1994.



frais) ; labour et semis du cotonnier ; implantation des parcelles des saisonniers et fin des labours et des semis de maïs (fin des semis de maïs au 15 juillet). Si nous replaçons ces opérations, avec les chantiers correspondants, dans le cadre des conditions climatiques de la région, et ceci sous deux scénarios pluviométriques bien contrastés (tabl. 5), nous pouvons mettre en évidence la concomitance de plusieurs opérations agricoles. Or l'agriculteur ne possède qu'un seul attelage, donc les opérations de labour ne peuvent pas avoir lieu en même temps. De plus, la main d'oeuvre effectue un seul chantier manuel à la fois : les différentes parcelles sont semées les unes après les autres, et les semis et les sarclages ne sont pas réalisés simultanément.

Par contre, en s'appuyant sur l'emploi de journaliers, l'agriculteur peut organiser au même moment des chantiers de labour sur une parcelle, et des semis sur une autre. Compte tenu de tous ces faits, des règles d'arbitrage entre opérations et entre cultures apparaissent nécessaires, et peuvent se résumer de la façon suivante : les semis et les labours de toutes les cultures sont prioritaires sur l'ensemble des sarclages (c'est la raison pour laquelle nous n'avons pas représenté les opérations de sarclage sur la figure 4) ; le labour puis le semis du cotonnier sont prioritaires sur toutes les opérations culturales du 20 mai au 5 juin. Par ailleurs, l'implantation de l'arachide est prioritaire sur celle du maïs, cette dernière pouvant même avoir lieu après les prestations de l'attelage hors de l'unité de production.

Tableau 5  
Composition des chantiers des différentes opérations culturales à réaliser,  
selon deux scénarios pluviométriques contrastés (cas UP F)

Opérations culturales		Composition des chantiers		
		Attelage	Saison.	Famille
Opérations à réaliser en culture cotonnière	Labour	*	*	
	Semis		*	*
Opérations concomitantes en cas de pluviométrie précoce (démarrage fin avril-début mai)	Premier sarclage sorgho et arachide		*	*
	Labour maïs	*	*	
	Semis maïs		*	*
Opérations concomitantes en cas de pluviométrie tardive (démarrage autour du 20 mai et après)	Labour arachide	*	*	
	Semis arachide et sorgho		*	*
	Labour maïs	*	*	
	Semis maïs		*	*

Saison. = travailleurs saisonniers.

### Comparaison avec les réalisations de 1993 et 1994

Le schéma prévisionnel est globalement respecté pour les deux années (fig. 4). En effet, le cotonnier est implanté avant la date limite en 1993, et avec un léger dépassement en 1994. Les règles d'arbitrage entre cultures sont intervenues : en 1993 le maïs précocé n'est implanté qu'après le cotonnier. Et surtout, en 1994 où le scénario pluviométrique est beaucoup moins favorable, la réimplantation (relabour et semis) de l'arachide, les semis directs avant le 20 mai ayant mal levé, a lieu après la mise en place du cotonnier. De plus, la fin de l'implantation du maïs a lieu tardivement, après les labours des parcelles des saisonniers. Pour plus de sécurité, l'agriculteur sème une variété de cycle court fournie par la recherche.

Par contre, certains écarts aux prévisions ont eu lieu en 1994 :

- l'agriculteur met en place 1 hectare de cotonnier en semis direct avec épandage d'herbicides, ce qui correspond à une nouvelle modalité. Cette évolution a pu se faire grâce à la vulgarisation récente de cette innovation par la Sodécoton. L'agriculteur décide de recourir à cette innovation seulement après avoir constaté le retard assez exceptionnel des pluies, donc en s'adaptant *in situ*. Ainsi, suite à la campagne de 1994 le modèle d'action a évolué et comporte dorénavant une nouvelle modalité d'implantation du cotonnier ;
- entre les campagnes agricoles de 1993 et 1994 la dévaluation du franc CFA est intervenue, augmentant le prix d'achat du coton aux producteurs. Au début de la campagne 1994 le prix des intrants n'était pas encore connu, faisant craindre aux agriculteurs une forte augmentation. Face à cette situation, l'agriculteur a décidé de rajouter 0,5 hectare de cotonnier à la surface prévue initialement sans les déclarer à la Sodécoton, afin de diluer le coût des intrants. Les objectifs de rendement sur cette surface supplémentaire de 0,5 hectare sont moindres, ce qui explique le dépassement observé de la date limite sur cette partie. Là encore le modèle d'action a évolué, intégrant une modification des objectifs de l'agriculteur qui se dirige vers une extensification en intrant de son système de culture (augmentation de la part du sorgho dans l'assolement et diminution des doses d'engrais épandues sur le maïs et le cotonnier).

### Unité de production D (UP D)

#### Caractéristiques et objectifs

L'agriculteur est équipé d'un attelage asin, qui travaille plus lentement qu'un attelage bovin. Il n'est pas limité en terre, et la main d'oeuvre familiale est

importante (5 UTA). La trésorerie est faible et limite la possibilité d'accès à la main d'oeuvre d'appoint. Par ailleurs, l'agriculteur fait appel et participe à des entraides collectives de travail.

L'objectif prioritaire de l'agriculteur est l'autosuffisance alimentaire en sorgho, complétée par un revenu monétaire fourni par la vente du coton. Les besoins familiaux en arachide sont couverts par la production des parcelles prêtées aux épouses (1 hectare d'arachide au total complété par un peu de céréales). Mais l'agriculteur plante également pour lui de l'arachide et du maïs, dans le but de diversifier ses revenus et de compléter l'alimentation en céréales. Un semis précoce de maïs lui permet de limiter la période de soudure alimentaire.

L'agriculteur divise sa sole cotonnière en deux parties : une surface de 0,75 hectare, déclarée à la Sodécoton, qui doit permettre de rembourser les crédits de production et pour laquelle les rendements attendus sont élevés, supérieurs à 1,5 tonnes ; une surface supplémentaire de 0,25 hectare, non déclarée, qui représente une assurance de revenu, les objectifs de rendement étant plus faibles. Ajoutons qu'une partie des engrais destinée au cotonnier est détournée au profit du maïs.

### **Modèle d'action**

Les dates-seuils figurant sur le schéma prévisionnel tel que nous l'avons construit (fig. 5) n'ont pas toutes été exprimées par l'agriculteur en dates calendaires. L'agriculteur a fait appel par exemple à la position de la lune pour la date que nous avons approximativement rapprochée du 30 juin. Le découpage du temps fait aussi référence à des événements-seuils, comme la fin du semis de sorgho.

En comparaison avec UP F, le schéma prévisionnel de l'agriculteur se compose des mêmes types de règles mais avec des contenus qui peuvent être différents. Comme l'agriculteur précédent, il annonce une modalité pour l'implantation du cotonnier (un labour mécanique avec son attelage asin), avec des règles d'enchaînement identiques (on laboure avant de semer). Par contre, les règles d'arbitrage entre ces deux opérations diffèrent : en fonction de l'avancée des travaux, les opérations de labour et de semis du cotonnier peuvent avoir lieu simultanément sur des portions de parcelle différentes.

Si les labours peuvent commencer à partir du 20 mai, les règles de fin des semis sont plus complexes : une première règle s'applique à la surface cotonnière déclarée à la Sodécoton, qu'il veut semer avant le 10 juin environ. Pour l'autre partie, la date limite est plus floue et correspond environ à la fin juin.

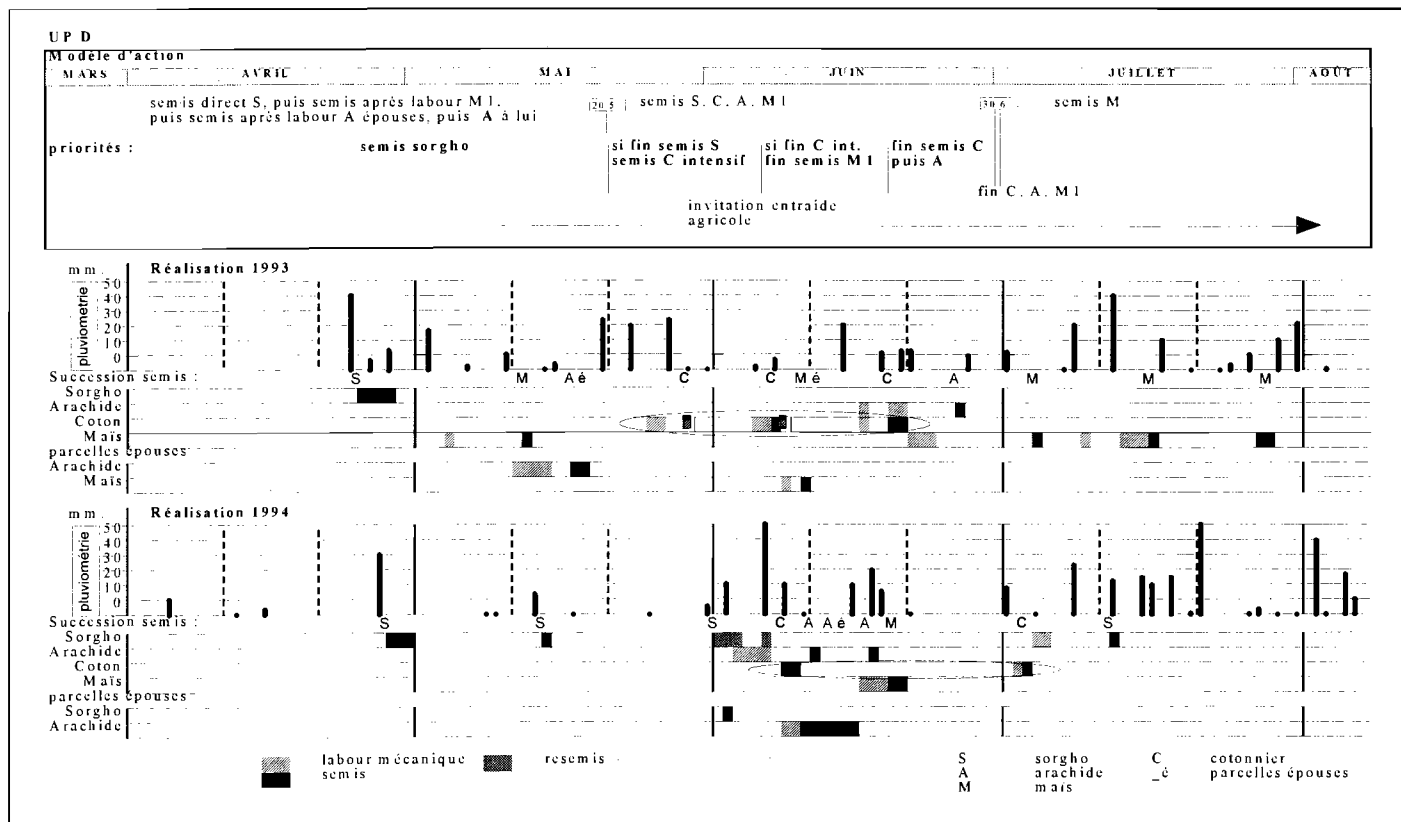


Figure 5 — Contenu du modèle d'action de UP D et réalisation en 1993 et 1994.

Au niveau du système de culture, l'ordre chronologique prévu pour l'implantation des parcelles est le suivant : semis direct de sorgho, semis après labour de maïs précoce, semis après labour des arachides des épouses puis de celles de l'agriculteur, semis après labour du cotonnier puis fin de l'implantation du maïs. On retrouve un schéma proche de celui de l'UP F (tabl. 5), qui présente des opérations concomitantes, avec, tout comme pour UP F, un seul attelage et une main d'oeuvre mobilisée par un chantier manuel à la fois. Ainsi, des règles d'arbitrage entre cultures existent également, mais elles sont différentes et plus complexes. Tout d'abord, un nouveau type de parcelles fait son apparition, composé des parcelles sous la responsabilité des épouses, avec des règles de gestion du travail spécifiques. Concernant leur implantation, l'agriculteur doit labourer les parcelles d'arachide, mais les épouses peuvent louer des attelages ou décider de faire du semis direct.

Détaillons les règles d'arbitrage. Comme pour UP F, les sarclages de façon générale ne sont pas prioritaires. Par contre, les semis de sorgho sont prioritaires tant que toute la surface prévue n'est pas mise en place. Lorsqu'ils sont terminés, du 20 mai au 10 juin la priorité va aux semis de la première et principale partie de la surface cotonnière. Entre la fin des semis de sorgho et le 20 mai, la priorité est donnée au maïs précoce puis aux arachides en commençant par l'arachide des épouses. Sinon, l'agriculteur insérera l'implantation du maïs précoce entre les implantations des deux parties de la surface cotonnière. Une fois les semis de cotonnier terminés, l'implantation des arachides peut continuer, puis enfin celle du maïs. Pour le maïs, l'agriculteur ne se fixe pas de date limite d'implantation. Et si le développement des adventices est tel que l'âne ne peut plus labourer, l'agriculteur peut louer un attelage bovin qui offre une force de traction plus importante. La participation aux entraides collectives de travail (qui concernent essentiellement les sarclages de sorgho) vient se surimposer apportant une autre dimension encore dans l'organisation du travail, mais les semis de sorgho et de la principale partie de la surface cotonnière restent prioritaires par rapport à l'entraide.

### **Comparaison avec les réalisations de 1993 et 1994**

Le schéma prévisionnel est là encore globalement appliqué pour les deux années, et les dates-seuils pour le semis du cotonnier respectées, ce qui a obligé l'agriculteur à effectuer en 1993 une partie des labours du cotonnier en conditions sèches (début juin).

Nous pouvons observer deux écarts importants. En 1994 la règle d'arbitrage concernant les parcelles d'arachide n'est pas appliquée, les semis intervenant

avant la fin de l'implantation du cotonnier, et même avant le maïs précoce. En effet après les mauvais résultats obtenus sur la parcelle d'arachide de l'agriculteur en 1993, mis sur le compte d'un semis tardif, l'agriculteur modifie cette règle, et rend l'implantation de ses parcelles d'arachide prioritaires sur le maïs précoce et sur la deuxième partie des surfaces cotonnières. Les parcelles d'arachide des épouses suivent cette évolution, mais passent dorénavant après les parcelles de l'agriculteur. Dans le même type d'évolution qui correspond au processus d'apprentissage, l'agriculteur évite les semis tardifs de maïs en 1994, préférant semer à la place du sorgho de cycle court. Le deuxième écart important observé vient de l'application d'une modalité que l'agriculteur n'avait pas exprimée : les conditions pluviométriques particulières de 1994 associées à une pression très faible des adventices sur la parcelle destinée à la culture cotonnière lui permettent d'effectuer un semis direct sans herbicide.

Notons que la dévaluation du franc CFA n'a pas affecté le comportement de l'agriculteur en 1994.

### *Unité de production L (UP L)*

#### **Caractéristiques et objectifs**

Si l'agriculteur décide d'utiliser un attelage pour ses labours, il est obligé de le louer à crédit. Dans ces conditions, il ne peut avoir aucune exigence sur la date d'intervention de l'équipement sur ses parcelles. La main d'oeuvre familiale est moyenne, mais l'agriculteur loue sa force de travail chez les autres afin de dégager des liquidités. Il a des terres disponibles, mais le manque d'équipement le freine pour la mise en exploitation de nouvelles défriches.

Ses priorités vont au vivrier, le sorgho et le maïs, pour assurer son autosuffisance alimentaire. Une implantation précoce du maïs lui permet de plus de limiter la période de soudure alimentaire. L'arachide est cultivée pour la vente, les épouses assurant les besoins familiaux avec leurs parcelles. La culture cotonnière joue essentiellement le rôle de voie d'accès à la fertilisation minérale (une partie des engrais est détournée et mise sur le maïs), mais surtout, elle permet de préparer les parcelles pour le sorgho et le maïs précoce mis en place l'année suivante. Dans ces conditions, l'agriculteur peut accepter le risque d'implanter le cotonnier à une date tardive, date à laquelle il a enfin accès à un équipement libre.

#### **Modèle d'action**

L'agriculteur annonce trois modalités d'implantation pour le cotonnier : un semis direct, un semis après un sarclage manuel et un semis après un labour

mécanique. Il définit des types de parcelles avec des règles d'attribution de ces modalités. La modalité « labour mécanique » s'applique aux nouvelles défriches. Pour les autres, c'est l'état d'enherbement des parcelles avant la préparation du lit de semence qui détermine l'une ou l'autre des modalités, le semis direct s'appliquant uniquement à des semis précoces, car ils sont *a priori* moins infestés d'adventices.

Les semis du cotonnier sont déclenchés à partir du 20 mai, et prennent fin quand la surface prévue est mise en place, à condition de ne pas dépasser le mois de juillet.

L'absence d'équipement et la longueur des chantiers effectués manuellement accentuent la concurrence entre les différentes opérations agricoles, d'où l'importance des règles d'arbitrage : entre opérations, les sarclages avant semis et les semis sont prioritaires sur les sarclages après semis ; entre les cultures cette fois, il s'agit d'implanter en semis direct le plus vite possible, d'abord le sorgho, puis au-moins 0,25 hectare de maïs, puis l'arachide (fig. 6). Les parcelles d'arachide des épouses (environ 0,5 hectare) sont semées après celle de l'agriculteur, et celui-ci les aide seulement s'il est disponible. L'implantation du cotonnier peut alors débiter, suivie de celle du complément en maïs.

### Comparaison avec réalisations de 1993 et 1994

Le schéma prévisionnel est globalement réalisé pour les deux années (fig. 6) : la parcelle cotonnière de 1993 est une nouvelle défriche, ce qui explique le retard observé. D'ailleurs la difficulté d'accéder à l'équipement l'oblige à revoir ses objectifs de surface à la baisse. Par contre, en 1994, le cotonnier est implanté sur des anciennes parcelles et sur une surface plus importante.

## Discussion

Nous avons pu voir que le déroulement réel des semis de cotonnier dans les unités de production étudiées résulte en grande partie d'un déroulement prévu, avec l'activation d'un corps de règles de décision. Ce corps de règles se retrouve dans les trois exemples étudiés, et correspond assez bien à celui construit par C. Aubry (1995) dans le cas de la sole de blé dans des systèmes de grande culture en France. A partir de ce modèle préexistant, l'agriculteur peut décider d'intégrer des évolutions suite à l'introduction d'une innovation technique ou à un diagnostic porté sur les résultats de la campagne précédente, ou encore en réponse à la transformation du contexte économique : ces évolutions montrent le processus d'apprentissage de l'agriculteur.

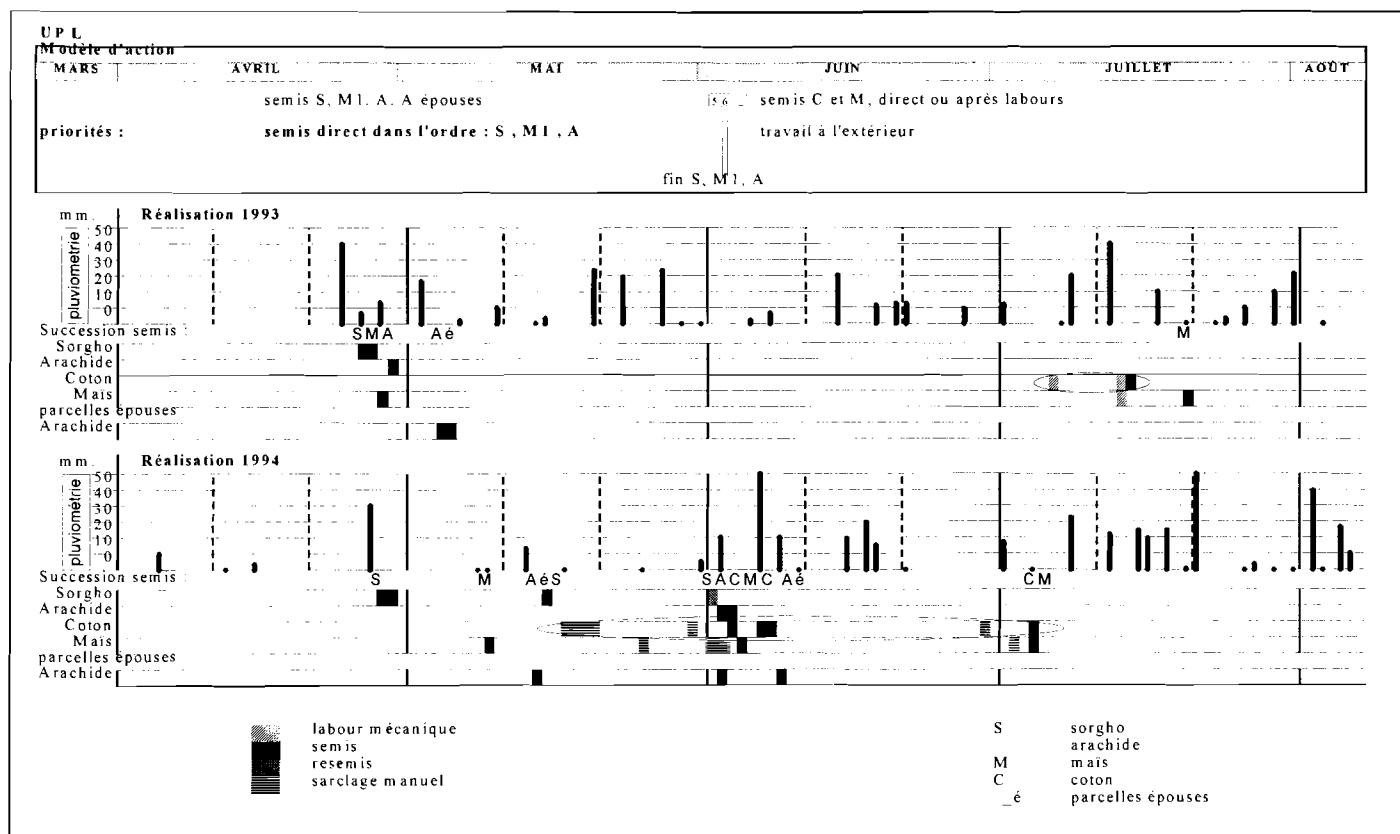


Figure 6 — Contenu du modèle d'action de UP L et réalisation en 1993 et 1994.



En comparant le contenu de ces règles pour les trois unités de production étudiées, on peut voir que les règles de déclenchement des semis du cotonnier sont identiques (à partir du 20 mai), tandis que les modalités d'implantation, les règles de fin de semis et les règles d'arbitrage entre les cultures sont différentes. Ainsi, par exemple, si l'implantation du cotonnier est strictement prioritaire sur les autres cultures pour UP F, une surface « tampon » non prioritaire apparaît chez UP D, et la priorité cotonnière disparaît pour UP L. En conséquence, dans le premier cas les semis de cotonnier sont concentrés autour du 20 mai, quelles que soient les conditions pluviométriques de l'année. Dans le second cas, les semis sont toujours étalés dans le temps, et dans le dernier cas ils sont variables, soit très étalés, soit concentrés autour d'une date d'implantation tardive. Nous pouvons également remarquer à l'aide de ces trois exemples la précision plus ou moins forte du schéma prévisionnel. Cette précision peut être reliée au degré d'incertitude qui pèse sur les décisions des agriculteurs, et principalement en ce qui concerne l'équipement : de UP F à UP L, cette incertitude augmente, allant de la disponibilité d'un attelage performant à une absence d'équipement, en passant par un attelage asin moins rapide et moins puissant.

## Conclusion

L'étude des trois cas nous a permis de mettre en évidence les déterminants à l'origine de la date et des modes d'implantation du cotonnier. Il est possible de les regrouper en trois classes : d'une part le milieu naturel, avec la pluviométrie aléatoire et les types de sols influençant l'état d'enherbement des parcelles ; d'autre part le milieu socio-économique, avec entre autres l'influence de la Sodécoton diffusant des innovations et jouant sur la disponibilité des intrants ; et enfin l'agriculteur avec ses contraintes de fonctionnement, internes à son exploitation, qui intègre tous les éléments extérieurs précédents, se fixe des objectifs de rendement et détermine les moyens à mettre en oeuvre et la façon de les appliquer. L'implantation du cotonnier est bien tributaire de la gestion de l'organisation du travail à l'échelle de l'unité de production.

Par rapport aux recommandations de la Sodécoton, nous pouvons percevoir ici toute la difficulté de faire respecter une règle unique (semis précoce avec une forte dose d'engrais), qui comporte un objectif de production élevée, à un ensemble très divers d'agriculteurs. Et nous voyons l'importance du rôle des surfaces cotonnières non déclarées, qui, même faibles en surface, permettent aux agriculteurs de moduler les doses d'engrais apportées, et d'ajuster leur calendrier de travail à leurs propres contraintes et objectifs.

## Remerciements

L'auteur remercie Christine Aubry pour la relecture attentive de la première version de ce texte, et pour ses précieux conseils.

## Références bibliographiques

- AUBRY C., 1995 –  
*Gestion de la sole d'une culture dans l'exploitation agricole. Cas du blé d'hiver en grande culture dans la région picarde.* Thèse de Doctorat. INA P-G, 285 pages + annexes.
- BOULANGER J., 1956 –  
Sur la nécessité des semis de juin en culture cotonnière pour le centre-est Oubangui. *Cot. Fib. Trop.*, 11, 1 : 9-22.
- BRAUD M., RICHEL F., 1963 –  
L'importance de la date de semis pour la culture cotonnière de l'ouest et du nord de la Centrafrique. *Cot. Fib. Trop.*, 18, 3 : 265-272.
- CERF M., SEBILLOTTE M., 1988 –  
Le concept de modèle général et l'analyse de la prise de décision technique. *C.R. Acad. Agric. F.*, 74 (4) : 71-80.
- CERF M., MOUSSET J., ANGEVIN F., BOIZARD H., PAPY F., 1994 –  
La modélisation des conditions d'intervention au champ en grande culture. Symposium international « Recherches-système en agriculture et développement rural », Montpellier (France), 21-25 novembre 1994. Actes, pp. 53-57.
- CHATELIN M.H., MOUSSET J., PAPY F., QUIEVREUX D., 1994 –  
Conception de démarches de conseil en agro-équipement basées sur la simulation de l'organisation du travail. Symposium international « Recherches-système en agriculture et développement rural ». Montpellier (France), 21-25 novembre 1994. Actes, pp. 639-643.
- COCHEME J., FRANQUIN P., 1967 –  
Etude agroclimatologique dans une zone semi-aride en Afrique au Sud du Sahara. In : O.M.M., *Note Technique n° 86*. Genève, Suisse, Organisation météorologique mondiale.
- CRETENET M., 1987 –  
Aide à la décision pour la fertilisation du cotonnier en Côte-d'Ivoire. *Cot. Fib. Trop.* vol. XLII, fasc. : 245-253.
- DOUNIAS I., 1995 –  
*Fonctionnement des systèmes de culture en zone d'installation de migrants au Nord-Cameroun.* Collection du Cirad, (à paraître).
- DURU M., PAPY F., SOLER L.G., 1988 –  
Le concept de modèle général et l'analyse du fonctionnement de l'exploitation agricole. *C.R. Acad. Agric. F.*, 74 (4) : 81-93.
- LAPORTE C., PAPY F., SOLER L.G., SERVETTAZ L., 1986 –  
Démarche pour un diagnostic de l'équipement en traction des exploitations agricoles. *Bull. Tech. Inf.*, 412/413 : 631-640.
- MEGIE C., 1963 –  
Pluviométrie, date de semis et productivité du cotonnier dans la région de Tikem (Tchad). *Cot. Fib. Trop.*, 18, 2 : 251-262.
- MILLEVILLE P., 1976 –  
Comportement technique sur une parcelle de cotonnier au Sénégal. *Cah. Orstom, Sér. Biol.*, 11 (4) : 263-275.
- PAPY F., AUBRY C., MOUSSET J., 1990 –  
Éléments pour le choix des équipements et chantiers d'implantation des cultures en liaison avec l'organisation du travail. In : Boiffin J., Marin-Lafèche A. (éd.) : *La structure du sol et son évolution. Les Colloques de l'Inra*, 53, pp.157-85.

SEBILLOTTE M., SOLER L.G., 1988 –  
Le concept de modèle général et la  
compréhension du comportement de  
l'agriculteur. *C.R. Acad. Agric. FR.*, 74 : 59-70.

SEBILLOTTE M., SOLER L.G., 1990 –  
Les processus de décision des agriculteurs.

In : Brossier et al. (éd.) : *Modélisation  
systémique et système agraire*. Inra,  
pp. 93-101.

SODECOTON, 1995 –  
*Rapport trimestriel de la campagne d'activités  
(mars, avril, mai)*. Garoua (Cameroun).



# Savoir pratique sur les systèmes techniques et aide à la décision<sup>1</sup>

François Papy

## Introduction

L'exploitation agricole est un système complexe.

L'esprit humain cherche à maîtriser la complexité des choses par une activité de simplification : soit pour en expliquer le fonctionnement (cas du théoricien ; ici, le chercheur sur les systèmes techniques et les systèmes d'exploitation), soit pour la gérer (cas du praticien ; ici, l'agriculteur ou l'éleveur). Chacun des objectifs conduit à un traitement du système qui lui est propre. On doit prendre la mesure de cette différence de représentations — issue d'une différence de situations —, si l'on souhaite que communiquent entre eux le savoir théorique (acquis par une démarche scientifique) et le savoir pratique (acquis par un apprentissage empirique).

Voilà l'idée maîtresse, développée dans cet exposé à partir de travaux réalisés, en France, depuis une vingtaine d'années, avant même la création, en 1979, du département « Systèmes agraires et développement », au sein de l'Institut na-

---

<sup>1</sup> Ce texte reprend (avec l'autorisation des éditeurs) l'intégralité d'une communication présentée à la « First European convention on Farming systems research/extension » qui a eu lieu les 6 et 7 novembre 1993 à Edinbourg et dont les actes ont été publiés par CAB international sous le titre « Rural farming systems analysis : European perspectives », J.B. Dent et M.J. McGregor (éd.).

tional de la recherche agronomique (Inra). Il sera essentiellement consacré à la gestion des systèmes techniques proprement dits.



## Démarche

### *Analyse des pratiques*

La critique du modèle linéaire descendant de diffusion d'une innovation (de sa conception théorique à sa mise en pratique) est admise depuis suffisamment longtemps pour qu'il soit inutile de la développer ici. En France, c'est au début des années 70 que des agronomes et des économistes mesurent le manque de pertinence des modèles uniques de développement, conçus sans prendre en compte les finalités des agriculteurs et les conditions concrètes de l'insertion d'innovations techniques dans les systèmes de production (Deffontaines, 1973 ; Sebillothe, 1974 ; Osty, 1974, 1978 ; Petit, 1975, Bonnemaire, 1994). On prend conscience que les agriculteurs doivent avoir « des raisons de faire ce qu'ils font », qu'il conviendrait de comprendre. On distingue alors le concept de *techniques* de celui de *pratiques*. Les premières se caractérisent indépendamment des agriculteurs et ont un contenu théorique. Les secondes relèvent des manières de faire des agriculteurs et sont fortement marquées par les conditions concrètes de réalisation des opérations techniques (Cristofini *et al.*, 1978 ; Teissier, 1979). Les pratiques sont postulées être le résultat d'une intention de faire, elle-même fonction d'objectifs de l'agriculteur, dans un contexte de contraintes et d'opportunités. Aussi deviennent-elles objet de recherche : par une *analyse des pratiques*, on pense pouvoir comprendre les raisons de faire de l'agriculteur — voire les finalités de son action. On cherche à répondre aux trois questions suivantes : que fait-il et comment fait-il ? quels sont les résultats de son action ? pourquoi fait-il cela ? (Landais et Deffontaines, 1989-a). La simple observation de ce qui est fait ne suffit pas ; on questionne l'agriculteur sur ce qu'il fait et les raisons qu'il en donne. Ainsi sont entreprises des études sur la conduite des cultures et l'entretien des aptitudes du milieu (Sebillothe, 1987 ; Blanc-Pamart et Milleville, 1985 ; Capillon et Caneill, 1987), la conduite des troupeaux (Lhoste et Milleville, 1986 ; Gibon et Duru M., 1987 ; Landais et Deffontaines, 1989-a ; Mathieu et Fiorelli, 1990), ou encore la gestion de la trésorerie (Chia, 1992), la gestion de l'espace (Collectif, 1977).

### *Modélisation des processus de décision*

Au cours de ces études, une certaine insatisfaction se dessine cependant chez les chercheurs : la simple analyse des pratiques suffit-elle à bien comprendre ?

Exemple : à cause de la variabilité du climat, la variabilité du déroulement des opérations d'une année sur l'autre est parfois telle qu'il est très difficile d'y déceler un principe directeur, même après des enquêtes menées comme indiqué plus haut ; cela a été montré aussi bien en grande culture (Aubry, 1995) que pour des systèmes d'élevage (Mathieu, Fiorelli, 1990). Bien sûr, on trouve, le plus souvent, auprès de l'agriculteur ou de l'éleveur des explications ; mais, *a posteriori*, n'est-il pas trop facile d'en trouver ? ne faut-il pas plutôt rechercher l'ensemble des solutions qui se sont offertes à lui, à un instant « t », et les raisons qui l'ont amené à choisir certaines plutôt que d'autres ? Si tel est le cas, il faut alors s'interroger sur le *processus de décision*, au sens donné à ce terme par Sebillotte et Soler (1990) de cheminement conduisant à tel ou tel choix dont on ne cherche pas à connaître les procédures cognitives qu'il sous-tend, mais que l'on vise à modéliser sous forme de règles. Reconnu comme moteur, en quelque sorte, des pratiques il devient, à son tour, objet de recherche. Les premiers travaux sur ce thème, entamés sur des systèmes de grande culture (Cerf et Sebillotte, 1988 ; Duru *et al.*, 1988 ; Sebillotte et Servettaz, 1989), se généralisent à des systèmes plus complexes : les exploitations d'élevage ou de polyculture-élevage (Landais, 1987 ; Duru *et al.*, 1988 ; Chatelin et Havet, 1992 ; Hubert *et al.*, 1993).

Le passage de l'étude des pratiques à celle des processus de décision constitue une rupture dans la manière de poser les hypothèses du travail scientifique sur les pratiques : pour rendre compte de ces dernières, on cherche, désormais, à étudier et reconstituer les situations de décision dans lesquelles se trouve l'acteur. Ce faisant, on utilise, dans le domaine agricole, les idées que l'américain Simon, prix Nobel d'économie, a développées (il y a maintenant 40 ans !) à propos de l'organisation et de la gestion des administrations (Simon, 1957). Peu connu, semble-t-il, dans les milieux de recherche américains sur les « farming systems », il l'est en France, tout au moins chez les économistes et les tenants de l'analyse systémique. Cependant, l'originalité des recherches du département SAD de l'Inra tient au fait que les processus de décision ne sont pas étudiés seulement par des économistes (ou par des spécialistes des sciences cognitives, en plein développement), mais aussi par des spécialistes du fonctionnement des *systèmes techniques* que sont les systèmes de culture et les systèmes d'élevage.

Les premiers travaux réalisés dans cette optique sur les processus de décision ont porté sur la conduite d'une culture : la betterave (Sebillotte et Servettaz, 1989), situation choisie pour sa relative simplicité, car, de par son intérêt économique, les choix sont faits en faveur de cette culture, en cas de « conflits » avec d'autres. Les auteurs ont commencé par suivre un petit nombre d'agriculteurs en train d'opérer sur une campagne agricole : non seulement aux moments des actions proprement dites, mais aussi lorsque, pour

réfléchir aux actions futures, ils faisaient des « tours de plaine ». On les a observés et questionnés sur ce qu'ils faisaient ou qu'ils observaient ; on leur a demandé ce qu'ils prévoyaient de faire ; on a discuté, *in fine*, des résultats : « ont-ils atteint leurs objectifs ? ont-ils dû s'adapter ? modifier leurs objectifs ?, etc. ». Des démarches similaires ont été utilisées pour l'étude de l'organisation du travail (Papy *et al.*, 1988 ; Papy *et al.*, 1990 ; Dedieu *et al.*, 1992 ; Navarrete, 1993), la gestion de la sole de blé (Aubry, 1995), la gestion de l'irrigation en situation de ressource en eau limitante (Leroy *et al.*, 1990), la conduite de l'alimentation des troupeaux au pâturage (Duru *et al.*, 1988 ; Mathieu et Fiorelli, 1990 ; Osty et Landais, 1991 ; Chatelin et Havet, 1992 ; Hubert *et al.*, 1993).

En mettant en oeuvre des principes identiques de formalisation de règles de décision, des études ont été menées par des économistes sur la gestion d'ensemble de l'exploitation (Brossier *et al.*, 1991) ainsi que sur la gestion stratégique, au sens des choix à moyen ou long termes orientés par les projets de l'agriculteur et de sa famille (Hemidy *et al.*, 1993). Les résultats qui vont être présentés ne portent, cependant, que sur la gestion des systèmes techniques productifs, qui, de par son caractère récurrent, permet à l'agriculteur de se faire, au fil des ans, une expérience.



## Concepts

### *Modèle d'action*

Les décisions portant sur la gestion des systèmes techniques ne sont pas prises à la dernière minute : elles sont organisées d'avance selon des plans que l'agriculteur (ou l'éleveur) est plus ou moins capable d'explicitier. Un exemple va l'illustrer.

M. A. a une exploitation de grande culture dans le Bassin Parisien ; il cultive 150 ha de blé sur 20 parcelles derrière différents précédents : pomme de terre, betterave et pois (Aubry, 1995). A l'automne, une fois la récolte de pomme de terre achevée, il doit à la fois récolter les betteraves selon un rythme régulier exigé par la sucrerie et semer la sole de blé. Il a, sur l'ensemble de sa sole de blé, un objectif de conduite intensive (viser au minimum 80 q/ha), qu'il traduit en sous-objectifs pour l'automne, à savoir : ne pas débiter par les semis avant le 05/10 (pour des raisons sanitaires), finir avant le 20/10 les emblavures sur les parcelles qui, ayant porté pomme de terre et pois, sont libres dès le début des semis, et terminer tous les semis vers le 10/11. N'étant pas suffisamment équipé pour mener de front la récolte des betteraves et les semis de blé, il



découpe la campagne en deux phases distinctes auxquelles correspondent respectivement des opérations à réaliser, à certaines dates et sur des parcelles particulières, et un ordre de priorité entre opérations concurrentes :

- *phase 1*, de la fin des récoltes de pomme de terre à la fin des semis de blé derrière les précédents récoltés précocement (que l'on souhaite être le 20/10) ;
  - parcelles concernées : les 70 ha derrière pomme de terre, 30 ha derrière pois et les parcelles de betterave les plus argileuses qu'il faut récolter en premier ;
  - règles : dès la fin de la récolte des pommes de terre, faire celle de betterave sur les sols les plus argileux, puis, à partir du 05/10, donner la priorité aux semis de blé sur pomme de terre et pois ; c'est seulement en cas de bonnes conditions climatiques que l'on peut envisager de pousser plus avant la récolte de betterave pendant cette phase ;
- *phase 2*, de la fin de la première période à la fin des semis de blé (que l'on souhaite pour le 10/11 et qui ne doit pas dépasser fin novembre environ) ;
  - parcelles concernées : celles de betteraves devant être semées en blé ;
  - règles : la priorité est donnée à la récolte de betterave pendant cette phase, c'est-à-dire qu'on réalise cette opération selon le calendrier de la sucrerie, même si, par suite d'un retard, des parcelles sont libres pour être semées en blé.

En cas de retards exceptionnels des règles de régulation interviennent entre phases successives. Si, au cours de la première, le retard est tel que les règles prévues ne suffisent pas à s'y adapter, M. A. choisit, à partir d'un certain moment, d'enclencher la seconde, où priorité est donnée aux récoltes de betterave sur les semis de blé, quitte à renoncer à semer suffisamment tôt tous les blés derrière pomme de terre et pois et, par suite, à réduire l'espérance de rendement. Si — événement rare — le retard est tel, en fin de seconde phase, qu'il n'a pas fini ses semis le 20 novembre, il renoncera à les faire et sèmera à la place du pois au printemps.

Les travaux réalisés par plusieurs des unités de recherche du département SAD, tant sur des exploitations de grande culture que sur des exploitations d'élevage ou de polyculture-élevage, permettent d'affirmer que les plans d'action peuvent être représentés comme suit. L'agriculteur (ou l'éleveur) sait d'avance que l'atteinte des objectifs qu'il s'est fixés est plus ou moins certaine. Faute de prévoir les événements futurs, liés au climat, à la conjoncture économique, aux accidents de tous ordres (c'est impossible !), l'agriculteur cherche à être prévoyant, c'est-à-dire à anticiper en se donnant, *a priori*, des règles d'ajustement aux éventualités. Mais il lui est intellectuellement impos-

sible de concevoir, à tout instant, un ajustement global de son exploitation ; il lui faut sérier les problèmes. Ceci est possible car les éventualités n'ont pas toutes la même probabilité ou les mêmes conséquences et l'aléa n'a pas le même poids selon les différentes étapes du processus de production. On peut se représenter l'agriculteur comme décomposant son objectif final de production en objectifs intermédiaires qu'il sait avoir de fortes chances d'atteindre à des moments donnés. Le cycle complet de production (ou la saison) est ainsi découpé en phases élémentaires qui s'enchaînent. A chaque phase est donc associé un de ces objectifs intermédiaires, et, pour atteindre ce dernier, des règles d'ajustement aux événements relativement fréquents qui s'appliquent à des portions données de territoire. Pour faire face à des événements exceptionnels survenant au cours d'une phase donnée, on peut imaginer une nouvelle régulation par modification des règles de la phase suivante ou par prélèvement des ressources nécessaires dans d'autres parties du système d'exploitation. Enfin, en cas d'événement très rare, on peut imaginer une restriction des objectifs.

En définitive, *il apparaît possible de concevoir une organisation des décisions de l'agriculteur comme résultant d'un découpage du temps et de l'espace qui lui permet de traiter d'une façon hiérarchisée les incertitudes auxquelles il doit faire face.* Ce sont là des procédures simplificatrices de gestion de son système d'exploitation, car en se fixant des sous-objectifs à atteindre par un jeu de règles au cours d'une phase sur une portion de territoire, il évite d'être, à tout instant, tracassé par des ajustements à faire pour atteindre l'objectif final. Cependant cette manière de décomposer les difficultés de gestion ne fait jamais perdre de vue la gestion de l'ensemble. On retrouve là un principe général, identifié par Simon. Le terme de *modèle d'action* a été proposé pour désigner cette organisation préalable des décisions (Cerf et Sebillotte, 1988 ; Duru *et al.*, 1988 ; Sebillotte et Soler, 1990 ; Sebillotte, 1990-a). On trouvera de nombreuses illustrations du concept de modèle d'action aussi bien dans des travaux portant sur la grande culture (Papy *et al.*, 1988 ; Sebillotte et Servettaz, 1989 ; Cerf *et al.*, 1990 ; Papy *et al.*, 1990 ; Aubry *et al.*, 1992 ; Le Gal, 1993) que sur les systèmes d'élevage (Landais et Deffontaines, 1989-b ; Duru *et al.*, 1990 ; Mathieu et Fiorelli, 1990 ; Chatelin et Havet, 1992 ; Hubert, 1993 ; Hubert *et al.*, 1993).

Ces modèles d'action ont une double logique : synchronique (l'agriculteur fait des arbitrages au cours d'une phase donnée entre les activités qu'il ne peut mener simultanément) et diachronique (l'agriculteur donne une cohérence à l'enchaînement des décisions portant sur des portions de territoire ou des lots d'animaux). C'est ainsi que l'on peut identifier chez M. A., sur l'ensemble de

ses vingt parcelles, trois manières de cultiver le blé, correspondant respectivement :

- aux blés derrière pomme de terre ;
- aux blés derrière pois et les premières betteraves récoltées ;
- aux blés derrière les dernières betteraves.

On peut parler de trois systèmes techniques ou encore de trois itinéraires techniques ; chacun correspond à des lots de parcelles (Aubry, 1995).

Ainsi, après cette analyse, les systèmes techniques que sont les itinéraires techniques ou les systèmes de culture (Sebillotte, 1990-b) apparaissent comme le résultat d'un processus complexe de décisions sur la localisation des cultures dans l'espace et la gestion commune de toutes les activités de l'exploitation sur l'année entière. On pourrait dire des choses similaires sur les systèmes d'élevage.

### *Modèle de connaissance*

Les modèles d'action qui nous permettent de nous représenter la gestion par l'agriculteur de ses systèmes techniques sont interactivement liés à des *modèles de connaissance* des systèmes biotechniques qu'il pilote ; entendons par là que l'activité de gestion procède de ces représentations mais également les produit. Une partie de ces connaissances, sans doute, lui sont propres, mais dans leur grande majorité elles sont socialement construites par des échanges d'expériences que les agriculteurs ont entre eux et par leur appropriation des connaissances techniques diffusées par les conseillers (Darré, 1989). C'est ainsi qu'au sein d'une région donnée des agriculteurs se représentent de la même façon les fonctions du maïs dans l'alimentation des animaux ou encore les conditions dans lesquelles un travail du sol est possible après une pluie (Cerf *et al.*, à paraître). Ces connaissances s'explicitent de façon simple et liée à l'exécution des actions ; exemple : à un semis de blé précoce est liée une forte espérance de rendement, qui justifie que l'on prévoit d'appliquer sur les parcelles concernées de fortes quantités d'azote, de fongicides, etc. ; ou encore : il existe fin avril une forte probabilité de reprise des pluies justifiant que l'on mette à profit le moindre jour disponible pour intervenir dans les champs avant cette période.

Ces représentations opératoires contiennent les indicateurs d'état qu'utilisent les agriculteurs pour prendre leurs décisions d'intervention (ou d'attente) : la couleur du feuillage, des symptômes de maladie, le virage de couleur du sol en phase de dessiccation, la hauteur d'herbe, la conformation des animaux, etc. Ils

peuvent n'être observés que sur certaines parcelles, elles-mêmes indicatrices du comportement d'un plus grand nombre.

Les travaux précédents sont finalisés par l'aide à la décision ; examinons comment les concepts de modèles d'action et de modèles de connaissances peuvent être utilisés à cette fin.



## Usages

### *Principes de construction des modèles d'action*

Les modèles d'action sont des formalisations construites en étroite collaboration avec l'agriculteur. Certains des travaux, cités plus haut, sur les systèmes de culture et d'élevage font état de procédures pour les élaborer. Quelques principes méthodologiques peuvent être proposés :

- on commence par ébaucher un découpage du temps en phases et par identifier les objectifs intermédiaires visés au terme de chacune d'elles ;
- on met l'agriculteur face à différentes situations de décision, par des jeux de simulation, afin de lui faire expliciter des règles de régulation pour atteindre ces objectifs et, s'il n'y arrive pas, des règles de rattrapage ;
- on confronte, pour le valider, le modèle auquel on aboutit ainsi aux documents disponibles révélateurs des pratiques mises en oeuvre par l'agriculteur sur plusieurs années successives ; en cas de désaccord c'est l'occasion de préciser le modèle d'action.

Cette activité du technicien est déjà un premier mode d'aide à la décision, par une simple réflexion de l'agriculteur sur lui-même, aidé par un expert extérieur dans un exercice de maïeutique. Mais on peut aller plus loin : notre expert extérieur a désormais en main tous les éléments pour porter sur les systèmes techniques pratiqués plusieurs types de diagnostics nécessaires à une aide à la décision plus poussée (Sebillotte, 1990-a ; Hubert, 1993).

### *Diagnostics*

Revenons à M. A. Son conseiller fait un constat : les blés de pois, qui se trouvent généralement sur des parcelles argileuses, sont tous les ans infestés de mauvaises herbes entraînant une perte par rapport à ce qu'on est en droit d'attendre de semis précoces. De ce premier diagnostic découle l'idée de proposer un désherbage d'automne et non de fin février comme le pratique M. A. Ce dernier manifeste son accord sur ce premier diagnostic. Mais si l'on

tient compte des marges de manoeuvre (c'est-à-dire si l'on internalise ce diagnostic), on conclut qu'il est impossible de désherber les blés de pois en automne, le calendrier de travail étant déjà très chargé pendant cette saison. Il faut chercher une autre solution. Le technicien et l'agriculteur envisagent alors de traiter ces parcelles par des déchaumages successifs en été, reconnus pour leur efficacité à faire lever et détruire les mauvaises herbes. Si M. A. ne l'avait pas fait jusqu'alors, c'est qu'en été aussi il n'a guère de temps entre les moissons et les récoltes de pomme de terre. Mais l'idée lui vient alors d'avoir recours à une entreprise de travaux agricoles pour faire ses déchaumages en été.

Le technicien a commencé à faire un diagnostic sur l'efficacité de l'itinéraire technique pratiqué sur les blés de pois, de façon externe à l'activité de l'agriculteur. Il s'est référé à des modèles biotechniques d'élaboration des performances, issues de connaissances théoriques, de réseaux d'expérimentation et de son expérience personnelle. En constatant que ce diagnostic était partagé par l'agriculteur, il s'est assuré que ce dernier avait les mêmes modèles de connaissance que lui sur le désherbage du pois et qu'il n'était pas nécessaire de lui fournir des informations supplémentaires. Ce n'est évidemment pas toujours le cas. Il a ensuite tenu compte des contraintes de l'agriculteur, faisant, de la sorte, un diagnostic plus internalisé (assimilable à ce que Simon appelle l'effectivité), qui a permis à M. A. et à lui-même d'imaginer un autre modèle d'action possible, permettant une meilleure maîtrise des adventices dans les blés derrière pois. Dans certains cas le technicien peut être conduit à constater une carence en connaissances techniques pour aider l'agriculteur à faire ses choix. C'est alors le point de départ d'un programme de recherche de nouvelles références techniques (Cerf *et al.*, 1990).

L'aide à la décision porte donc sur la conception de modèles d'action, mais aussi sur la mise au point de modèles de connaissance qui doivent être partagés entre techniciens et agriculteurs. Les agronomes et zootechniciens doivent s'interroger sur la validité des modèles de connaissance qu'on peut déceler chez les agriculteurs, mais également sur la pertinence de ceux qu'ils propagent dans la littérature technique. Dans cet ordre d'idées des recherches doivent être faites sur les *indicateurs d'état* des systèmes techniques : quelle validité accorder aux indicateurs employés par les praticiens comme, par exemple, le virage de couleur des sols en cours de dessiccation ou la hauteur de l'herbe ; et, en retour, quels nouveaux indicateurs proposer, accessibles aux praticiens, simples d'emploi et efficaces ? Pour avoir méconnu ces principes, la diffusion, en France, de la méthode du bilan pour piloter la fertilisation azotée a connu bien des déboires (Cerf et Meynard, 1988).

## Aide aux choix de structure de l'exploitation

Le concept de modèle d'action sur la gestion des systèmes techniques peut être utile pour des décisions d'un autre ordre : celles qui portent, à moyen ou long terme, sur des modifications notables de la structure même de l'exploitation comme l'arrêt ou l'adoption d'une activité, l'agrandissement, la modification des équipements, du personnel (Chatelin *et al.*, 1993). La nouvelle politique agricole commune (PAC) confère à ces questions une actualité toute particulière. Pour raisonner l'articulation entre ces choix stratégiques et les modalités de conduite des systèmes techniques, la démarche est la suivante :

- on construit avec les agriculteurs les modèles d'action actuels ;
- on en simule le fonctionnement dans le cadre des modifications envisagées dans l'exploitation : agrandissement, nouvelles productions, modification du matériel, de la main-d'œuvre, etc. On fait, de la sorte, une expérimentation : on formalise une procédure mentale que l'agriculteur fait plus ou moins de lui-même.

On peut cependant aller plus loin, si l'on sait transformer ces procédures mentales en procédures de calcul, opération fort utile pour estimer les risques dus aux aléas climatiques. Dans plusieurs cas, grâce à la collaboration avec des économistes, spécialisés dans l'instrumentation informatique et à des chercheurs en Intelligence artificielle, nos démarches ont abouti à la conception de logiciels. Ces derniers connectent entre eux des modèles d'action et des modèles de fonctionnement des systèmes biophysiques, conçus spécifiquement pour mettre en correspondance les étapes de l'évolution de l'élaboration de la production ou des états du milieu avec les interventions techniques. On peut distinguer trois étapes dans la mise au point de ces outils de conseil qui articulent choix stratégiques et pilotage des systèmes techniques : la conception du modèle de l'instrument, l'implémentation informatique, l'expérimentation de l'instrument dans le cadre d'actions concrètes de conseil (Chatelin *et al.*, 1993). C'est sur la modélisation de l'organisation du travail que nous sommes le plus avancés : le logiciel Otelo (Attonaty *et al.*, 1990, 1993) est utilisé, en France, par des conseillers de régions de grande culture (Papy et Mousset, 1992 ; Mousset, 1996) et expérimentalement au Sénégal (Le Gal, 1993). Une étude dont l'objectif est similaire permet de calculer les risques climatiques en fonction des équipements de fenaison et des stratégies face au risque (Gibon *et al.*, 1989 ; Duru, Colombani, 1992) ; de même, le logiciel Déciblé permet de simuler, sous différents scénarios climatiques, les conséquences de différentes modalités de la conduite du blé sur le rendement et les reliquats azotés à la récolte (Aubry *et al.*, 1992). D'autres travaux, enfin,

portant sur la conduite des systèmes fourragers ou de la gestion de ressources limitées en eau d'irrigation en sont au stade de la conception instrumentale.

### *Organisation du conseil*

Le conseil technique consiste traditionnellement à alimenter le pool de connaissances de nouvelles références techniques dont on cherche à spécifier le domaine d'application en fonction de deux grandes catégories de critères que l'on croise :

- caractéristiques du milieu,
- types d'exploitation.

Des procédures opératoires pour réaliser des typologies d'exploitation ont été proposées à cet effet (Capillon, 1986 ; Perrot et Landais, 1993) ; elles sont utilisées dans les services techniques les plus efficaces.

Il reste que les conseils sont souvent très ponctuels et trop fragmentaires, aux dires mêmes des agriculteurs, enquêtés récemment par l'Association nationale pour le développement agricole (Anda) ; ces derniers souhaiteraient qu'ils soient à la fois plus personnalisés et plus intégrateurs des différents niveaux de décisions (conduite des systèmes techniques et orientation à terme de l'exploitation). Nous pensons que les concepts présentés plus haut peuvent aider les agents des différents services de développement à répondre à cette attente, à condition toutefois d'avoir, avec les agriculteurs, des relations de conseils plus interactives qu'auparavant.

C'est là le champ d'une véritable recherche-action à mener en étroite relation avec les conseillers (Vallerand, 1994 ; Albaladejo et Casabianca, 1997). Les travaux évoqués plus haut, oeuvre de chercheurs le plus souvent en prise directe sur des agriculteurs, les ont quelque peu court-circuités ; évitons de le faire plus longtemps. Dans le cadre du conseil individuel, il s'agit d'étudier comment un conseiller peut, avec l'agriculteur, construire ses modèles d'action, identifier les connaissances nécessaires à sa mise en oeuvre, réaliser des simulations qui permettent d'évaluer les risques liés à un changement d'orientation (Papy, 1993). Mais il faut aussi construire régionalement un savoir collectif, commun aux agriculteurs et aux techniciens. Il devrait pouvoir s'organiser autour de typologies de modèles d'action, fruit d'un effort de généralisation qui fasse ressortir la diversité des problèmes de gestion des agriculteurs.

## Remerciements

Ce texte a été soumis à différents chercheurs de l'Inra : Mmes et MM. Aubry, Bellon, de Bonneval, Brossier, Cerf, Duru, Havet, Hubert, Landais, Meynard, Navarrete, Osty, Soler, Vissac. Il a été l'occasion d'échanges fructueux, dont je leur sais gré, et a bénéficié de leurs remarques.

## Références bibliographiques

ALBALADEJO C., CASABIANCA F., 1997 –  
*La recherche action. Etud. Rech.*, 30,  
211 pages.

ATTONATY J.M.,  
CHATELIN M.H., MOUSSET J., 1993 –  
A decision support system based on farmer's  
knowledge to assess him in decision making  
about work organization and long term  
evolution. Models computer programs and  
expert systems for agricultural mechanization,  
International seminar of third and 5 th technical  
sections, CIRG, Florence, 1-2/10/93.

ATTONATY J.M., CHATELIN M.H.,  
POUSSIN J.C., SOLER L.G., 1990 –  
Un simulateur à base de connaissance pour  
raisonner équipement et organisation du travail  
en agriculture. *In* : Bourguin P., Walliser B.  
(éd.) : *Economics and artificial intelligence*.  
Paris, pp. 291-297.

AUBRY C., 1995 –  
*Gestion de la sole d'une culture dans  
l'exploitation agricole. Cas du blé en grande  
culture dans la région picarde*. Thèse de  
Doctorat. INA P-G, 283 pages + annexes.

AUBRY C., CHATELIN M.H.,  
POUSSIN J.C., ATTONATY J.M.,  
MASSE J., MEYNARD J.M.,  
GERARD C., ROBERT D., 1992 –  
Déciblé : a Decision support system for wheat  
management. IVth International congress for  
computer technology in agriculture, Versailles  
1-3/06/1992.

BLANC-PAMARD C.,  
MILLEVILLE P., 1985 –  
Pratiques paysannes, perception du milieu et  
système agricole. *In* : Blanc-Pamard C.,

Lericollais A. (éd.) : *A travers champs.  
Agronomes et géographes*. Orstom, coll.  
*Colloques et Séminaires*, pp. 101-138.

BONNEMAIRE J., 1994 –  
Inra experience in creating a research structure  
for agrarian systems and development in  
France. *In* : J.B. Dent et M.J. McGregor (éd.) :  
*Rural and farming system analysis*. London,  
UK, CAB international.

BROSSIER J., CHIA E.,  
MARSHALL E., PETIT M., 1991 –  
Gestion de l'exploitation agricole familiale et  
pratiques des agriculteurs. Réflexions  
théoriques à partir de l'expérience française.  
*Can. J. agric. Econ.*, 39 : 119-135.

BROSSIER J., VISSAC B.,  
LE MOIGNE J.L. (éd.), 1990 –  
*Modélisation systémique et systèmes agraires*,  
Inra. 365 pages.

CAPILLON A., 1986 –  
A classification of farming systems, preliminary  
to an extension program. *In* : C. Butler flora, M.  
Tomecek (éd.) : *Farming systems research  
and extension : management and  
methodology*. Kansas state Univ., (Manhattan,  
KS USA), pp. 219-235.

CAPILLON A. (éd.), 1989 –  
*Grassland systems approaches. Some French  
research proposals. Etud. Rech.*, 16,  
218 pages.

CAPILLON A., CANEILL J., 1987 –  
Du champ cultivé aux unités de production : un  
itinéraire obligé pour l'agronome. *Cah. Orstom*,  
*Sér. Sci. hum.*, 23(3/4) : 409-420.



- CERF M., MEYNARD J.M., 1988 – Enquête sur la mise en oeuvre des méthodes de fertilisation raisonnée. Ille Forum de la Fertilisation raisonnée, Nancy.
- CERF M., PAPY F., ANGEVIN F. (à paraître) – Are farmers experts at identifying possible days for tillage ? *Agronomie*.
- CERF M., PAPY F., Aubry C., Meynard J.M., 1990 – Théorie agronomique et aide à la décision. In : Brossier *et al.* (éd.), pp. 181-202.
- CERF M., SEBILLOTTE M., 1988. – Le concept de modèle général et l'analyse de la prise de décision technique. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 74(4) : 71-80.
- CHATELIN M.H., AUBRY C., LEROY P., PAPY F., POUSSIN J.C., 1993 – La pilotage de production : quelle prise en compte pour l'aide à la décision stratégique ? In : Soler L.G. (éd.) : *Instrumentation de gestion et conduite de l'entreprise. Cah. Econ. Sociol. rurales*, Inra, 28.
- CHATELIN M.H., HAVET A., 1992 – Understanding forage system management to improve it the simulation contribution. In : Gibon, Matheron (éd.) : *Global appraisal of livestock farming systems and study of their organizational level : concepts, methodology and results*. European Communities, Agriculture series, pp. 347-354.
- CHIA E., 1992 – Une « recherche clinique » : proposition méthodologique pour l'analyse des pratiques de trésorerie des agriculteurs. *Etudes et Recherches*, 26 : 1-39.
- COLLECTIF (GROUPE DE RECHERCHE INRA/ENSSAA), 1977 – *Pays, paysans, paysages dans les Vosges du Sud. Les pratiques agricoles et la transformation de l'espace*. Paris, Inra, 200 pages.
- CRISTOFINI B., DEFFONTAINES J.P., RAICHON C., DE VERNEUIL B., 1978 – Pratiques d'élevage en Castagniccia. Exploration d'un milieu naturel et social en Corse. *Etud. rurales*, 71-72 : 89-109.
- DARRE J.P., 1989 – Introducing livestock farmer's way of thinking in the study of grazing systems. In : Capillon (éd.), pp.173-179.
- DEDIEU B., SERVIERE G., JUSTIN C., 1992 – L'étude du travail en exploitation d'élevage : proposition de méthode et premiers résultats. Inra, *Productions animales*, 5(3) : 93-204.
- DEFFONTAINES J.P., 1973 – Analyse de situations dans différentes régions de France. Freins à l'adoption d'innovations techniques. *Etud. rurales*, 52 : 80-90.
- DURU M., COLOMBANI H., 1992 – Haymaking : Risks and uncertainties in Central Pyrenees grasslands. *Agric. Syst.*, 38 : 185-207.
- DURU M., GIBON A., OSTY P.L., 1990 – De l'étude des pratiques à l'aide à la décision. L'exemple du système fourrager. In : Brossier *et al.* (éd.), pp.159-180.
- DURU M., PAPY F., SOLER L.G., 1988 – Le concept de modèle général et l'analyse du fonctionnement de l'exploitation agricole. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 74(4) : 81-93.
- GIBON A., DURU M., 1987 – Fondements des systèmes d'élevage ovin pyrénéens et sensibilité au climat. Inra, Séminaire Agrométéorologie, Toulouse, 16-17/04/1986. Actes, pp.303-316.
- GIBON A., LARDON S., RELIERY J.P., 1989 – The heterogeneity of grassland fields as a limiting factor in the organization of forage systems. Development of a simulation tool of harvests management in the central Pyrenees. In : Capillon (éd.), pp.105-117.
- HEMIDY L., MAXIME F., SOLER L.G., 1993 – Instrumentation du contrôle de gestion stratégique dans la petite entreprise : le cas de l'entreprise agricole. In : Soler L.G. (éd.) : *Instrumentation de gestion et conduite de l'entreprise. Cah. écon. sociol. rurales*, 28 : 91-118.
- HUBERT B., 1993 – Comment raisonner de façon systémique l'utilisation du territoire pastoral ? IVe Congrès international des terres de parcours, Montpellier (à paraître dans *Agricultures*).
- HUBERT B., GIRARD N., LASSEUR J., BELLON S. 1993 – Les systèmes d'élevage ovins préalpins : derrière les pratiques, des conceptions modélisables. In : Landais (ed.) : *Pratiques d'élevage extensif*. Inra, pp. 351-385.
- LANDAIS E., DEFFONTAINES J.P., 1989-a – Les pratiques des agriculteurs. Point de vue

sur un courant nouveau de la recherche agronomique. *Etud. rurales*, 109 : 125-158.

LANDAIS E., DEFFONTAINES J.P., 1989-b – Analysing the management of a pastoral territory. The study of the practices of a shepherd in the Southern French Alps. In : Capillon (éd.), pp. 199-207.

LE GAL P.Y., 1993 – Processus de décision et innovation : l'exemple de la double riziculture dans le delta du fleuve Sénégal. Séminaire Innovations et Sociétés, Montpellier.

LEROY P., DEUMIER J.M., JACQUIN C. ET AL., 1992 – *Etude de la faisabilité pour la mise au point d'une méthode de conduite des irrigations*. Rapport Inra/ITCF au ministère de l'Agriculture, 100 pages.

LHOSTE P., MILLEVILLE P., 1986 – La conduite des animaux : techniques et pratiques d'éleveurs. In : Landais (éd.) : *Méthodes pour la recherche sur les systèmes d'élevage en pays tropicaux*. Maison Alfort, IEMVT, pp. 247-268.

MATHIEU A., FIORELLI J.L., 1990 – Modélisation des pratiques de pâturage d'éleveurs laitiers dans le Nord-Est ; les régulations face à l'aléa climatique. In : Brossier et al. (éd.), pp.135-157.

MOUSSET J., 1996 – Enquête et diagnostic de l'organisation des exploitations de grande culture. In : *Mécagro, conseil en agro-équipement dans l'exploitations de grande culture*. Amiens, le Biopôle végétal, Section Agro-transfert, pp.39-124.

NAVARRETE M., 1993 – L'organisation du travail, déterminant de la conduite technique d'une culture de tomate sous serre. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 79 : 107-117.

OSTY P. L., 1974 – Comment s'effectue le choix des techniques et des systèmes de production ? Cas d'une région herbagère des Vosges. *Fourrages*, 59 : 53-69.

OSTY P.L., 1978 – L'exploitation agricole vue comme un système. Diffusion de l'innovation et contribution au développement. *Bull. tech. Inf.*, 326 : 43-49.

PAPY F. 1993 – Nouveau contexte, nouveau conseil. *Bulletin mensuel de l'APCA* n° 50, 10 pages.

PAPY F., ATTONATY J.M., LAPORTE C., SOLER L.G., 1988 – Work organisation simulation as a basis of farm management advice. *Agric. Syst.*, 27 : 295-314.

PAPY F., AUBRY C., MOUSSET J., 1990 – Eléments pour le choix des équipements et chantiers d'implantation des cultures en liaison avec l'organisation du travail. In : Boiffin J., Marin-Lafleche A. (éd.) : *La structure du sol et son évolution. Les Colloques de L'Inra*, 53, pp.157-185.

PAPY F., MOUSSET J., 1992 – Towards communication between theoretical and applied knowledge : the usefulness of simulation software. In : *Farm computer technology in search of users ? IVth International congress for computer technology in agriculture*, pp.173-176.

PERROT C., LANDAIS E., 1993 – Exploitations agricoles : pourquoi poursuivre la recherche sur les méthodes typologiques ? *Cah. de la recherche-développement*, 33 : 13-23.

PETIT M., 1975 – L'adoption des innovations techniques par les agriculteurs. Plaidoyer pour un renouvellement de la théorie économique de la décision. *Pour*, 40 : 79-91.

SEBILLOTTE M., 1974 – Agronomie et agriculture. Essai d'analyse des tâches de l'agronome. *Cah. Orstom, Sér. Biol.*, 24 : 3-25.

SEBILLOTTE M., 1987. Du champ cultivé aux pratiques des agriculteurs. Réflexion sur l'Agronomie contemporaine. *C. R. Acad. Agric. Fr.*, 73(8) : 69-81.

SEBILLOTTE M., 1990-a – Les processus de décision des agriculteurs. Deuxième partie : conséquences pour les démarches d'aide à la décision. In : Brosier et al. (éd.), pp.103-117.

SEBILLOTTE M., 1990-b – Some concepts for analysing farming and cropping systems and for understanding their different effects. Inaugural congress, European society of agronomy. Actes, pp.1-16.

SEBILLOTTE M., SERVETTAZ L., 1989 – Localisation et conduite de la betterave sucrière. L'analyse des décisions techniques.

In : Sebillotte (éd.) : *Fertilité et systèmes de production*. Inra, Paris, pp. 308-344.

SEBILLOTTE M., SOLER L.G., 1990 –  
Les processus de décision des agriculteurs.  
Première partie : acquis et questions vives. In :  
Brossier *et al.*(éd.), pp. 93-101.

SIMON H.A., 1957 –  
Administration behaviour : A study of decision-  
making processes in administration  
organisation. Traduction française 1983,  
*Economica*, Paris, 322 pages.

TEISSIER J.M., 1979 –  
Relations entre techniques et pratiques. *Bull.*  
*Inrap*, 38.

Vallerand F., 1994 –  
The contribution of action/research to the  
organisation of agrarian systems : preliminary  
results of experiments underway in France. In :  
Dent J.B. et McGregor M.J. (éd.) : *Rural and  
farming system analysis*. London, UK, CAB  
international.



# De la parcelle au périmètre irrigué

Comprendre l'organisation collective du travail  
pour juger de la conduite  
d'une double culture annuelle

**Pierre-Yves Le Gal**

## Introduction

La discipline agronomique s'est développée depuis une vingtaine d'années dans une double direction : la production des connaissances touchant aux relations entre peuplement végétal cultivé, milieu naturel et techniques culturales, d'une part ; l'action au niveau de la pratique agricole, d'autre part (Sebillotte, 1974). Cette seconde composante s'est donnée pour objectif d'améliorer la pertinence des diagnostics émis et l'efficacité de la fonction de conseil technique auprès des agriculteurs.

Analysant les relations entre les indicateurs de performance des systèmes de culture, tels que le rendement, les pratiques culturales et les modalités de gestion des agriculteurs, les agronomes ont opéré un changement d'échelle d'observation, tant « le niveau où se pose un problème n'est pas toujours, de loin s'en faut, celui où ce problème pourra être résolu » (Milleville, 1987). Ils se sont ainsi intéressés au fonctionnement des exploitations agricoles, niveau apparu central pour comprendre comment les producteurs construisent leurs projets, élaborent et déploient leurs stratégies et réalisent les arbitrages nécessaires dans l'allocation des ressources disponibles entre leurs différentes activités (Capillon, 1988).

Partant de ce cadre général, des recherches plus récentes, inspirées des sciences de gestion, ont précisé la façon dont les agriculteurs structurent et pilotent leurs entreprises. Le concept de modèle d'action a été forgé pour

désigner l'organisation préalable des décisions à prendre, sur laquelle ils calent la conduite de leurs systèmes de culture (Sebillotte et Soler, 1990 ; Papy, 1994). Niveau privilégié d'analyse de l'agronome, la parcelle s'est révélée être un niveau de gestion parfois trop fin pour l'agriculteur, qui raisonnerait plutôt en sole et sous-ensembles de parcelles (Aubry, 1995). Toujours pour partir des modes de représentation des producteurs, l'approche globale des exploitations a été écartée au profit d'une approche sectorielle structurée autour de « noeuds de fonctionnement », correspondant à des problèmes complexes de gestion tels que l'organisation du travail ou la gestion des systèmes fourragers (Papy *et al.*, 1990 ; Girard *et al.*, 1994 ).

Développés en France, ces travaux présentent pour point commun de s'intéresser à des systèmes pilotés par un décideur unique, éventuellement secondée par une main-d'oeuvre salariée sous sa responsabilité (Navarette, 1993). S'il doit balayer une large gamme de décisions allant du réglage d'un outil au choix d'un investissement, l'agriculteur gère de façon autonome les conflits éventuels dans l'allocation de ses ressources en fonction des besoins. Il existe cependant des situations où plusieurs unités de production se coordonnent autour de l'utilisation d'une ressource commune. Le matériel agricole en donne un exemple de plus en plus fréquent, mais les associations qui en découlent ne regroupent en général qu'un nombre limité d'agriculteurs autour d'une ou deux opérations culturales.

Des formes plus complexes d'interdépendance apparaissent avec la gestion partagée de l'eau sur les aménagements hydro-agricoles, où se trouvent regroupés des centaines, voire des milliers d'agriculteurs, particulièrement en région tropicale du fait de la taille limitée des exploitations. Les périmètres irrigués combinent alors une structure physique, organisée autour de réseaux hiérarchisés de canaux adducteurs et de drains, et des structures spécifiques de gestion, où interviennent selon différentes formules, agriculteurs et services publics. Les décisions collectives concernant la distribution de l'eau d'irrigation et l'évacuation des eaux de drainage influencent non seulement la couverture des besoins hydriques des plantes, mais également le calage des calendriers culturaux au cours de l'année. Réciproquement les pratiques de gestion de l'eau à la parcelle, combinées aux autres interventions culturales, semis, désherbage, fertilisation et récolte, ont *in fine* des conséquences sur sa gestion globale et son coût aux niveaux supérieurs d'organisation du périmètre irrigué.

Cette réciprocité entre gestion collective et individuelle de l'irrigation, variable selon la nature des aménagements hydrauliques, implique d'appréhender la conduite des systèmes de culture à des niveaux dépassant l'exploitation et donc *a fortiori* la parcelle. Il en va de même pour l'organisation du

travail, car le démarrage de la campagne agricole n'est alors plus du seul ressort de l'exploitant individuel mais de la collectivité qui choisira la date d'ouverture d'une vanne ou de mise en route d'une station de pompage. Ces situations sont donc source d'interrogations nouvelles pour l'agronome. Parallèlement aux problèmes de coordination des activités culturales dans le temps et l'espace, comment les différents acteurs s'organisent-ils pour coordonner leurs comportements et piloter leurs systèmes de culture ?

Nous avons traité cette question sur l'exemple de la double culture irriguée dans le delta du fleuve Sénégal, région comprise entre les villes de Saint-Louis et Richard-Toll. Ce système de culture combine l'utilisation partagée de l'eau sur des périmètres irrigués de 1 000 à 2 000 hectares, et de matériels agricoles lourds, tracteurs et moissonneuses-batteuses, appartenant à des entrepreneurs de travaux agricoles (Le Gal, 1995a). L'enquête de terrain s'est étalée sur trois ans, de 1991 à 1993. Elle s'est déroulée sur deux aménagements, en se limitant aux parcelles cultivées par trois villages : Diawar sur l'aménagement de Boundoum, Thiagar et Ndiethene sur l'aménagement de Thiagar. La méthodologie mise en oeuvre a combiné le suivi des pratiques culturales sur l'ensemble de ces parcelles, le suivi de tous les matériels agricoles mobilisés sur ces parcelles, et des entretiens avec les différents acteurs impliqués (responsables d'organisations paysannes, agriculteurs individuels, entrepreneurs agricoles). Nous présenterons dans cet article la façon dont se pose le problème de gestion de la double culture sur ces aménagements, et illustrerons la manière dont les paysans y répondent à travers l'analyse des décisions liées au déclenchement du chantier de récolte.

## Position du problème

### *La double culture*

La double culture pratiquée dans le delta consiste en la succession de deux cycles de riz la même année sur les mêmes parcelles (fig. 1). Longtemps impossible du fait de la remontée des eaux marines depuis l'embouchure du fleuve en saison sèche, elle s'est développée sur quelques périmètres irrigués depuis 1988 avec la mise en place d'un barrage à trente kilomètres en amont de Saint-Louis. La combinaison de ce barrage avec celui de Manantali au Mali, permet en effet de réguler le débit du fleuve et d'approvisionner, en permanence, les aménagements en eau douce (Le Gal, 1995b).

Le positionnement des cycles culturaux est par ailleurs conditionné par les exigences thermiques des variétés utilisées et les conditions de température rencontrées dans la région. Un modèle agro-physiologique développé par

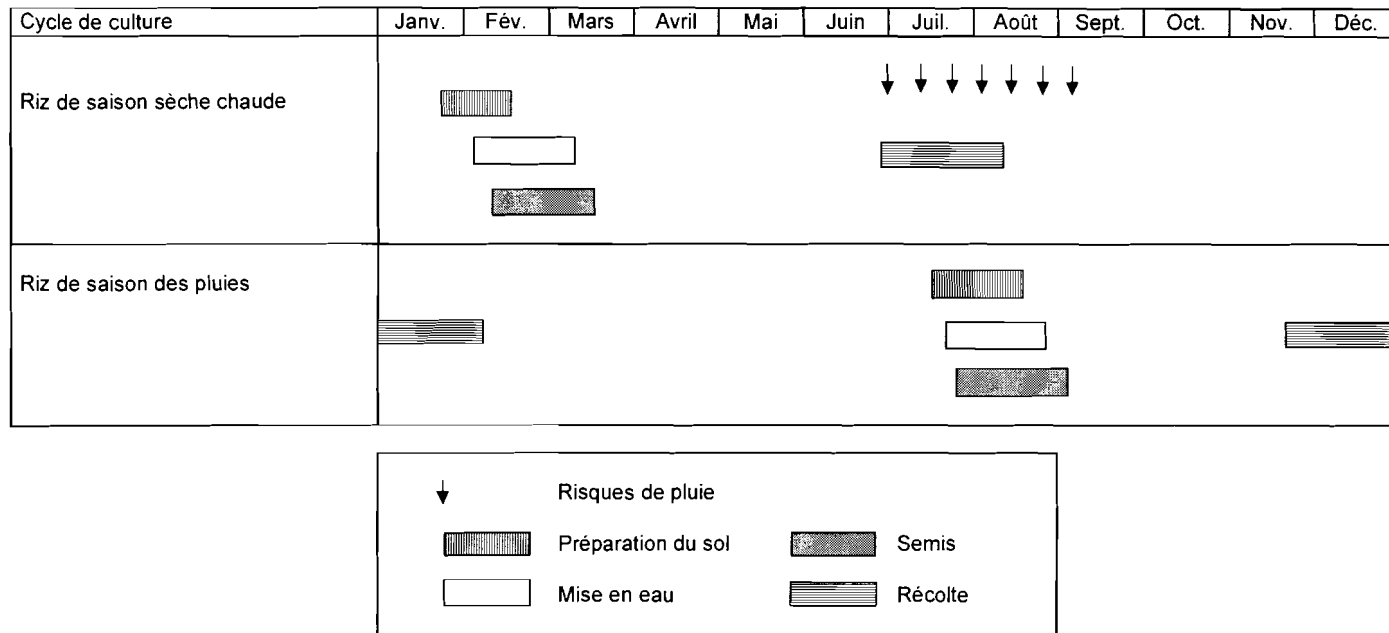


Figure 1 — Calendrier cultural en double culture irriguée.



l'Association pour le développement de la riziculture en Afrique de l'Ouest (Adrao) permet de choisir, par simulation, les couples variétés - dates de semis les mieux adaptés, en tenant compte de la variation des longueurs de cycles et des risques de stérilité des épillets, dus aux basses températures à la méiose et aux températures élevées à la floraison (Dingkuhn, 1995 ; Dingkuhn *et al.*, 1993). Dans le delta, la succession riz de saison sèche chaude - riz de saison des pluies valorise au mieux le temps disponible en fonction des contraintes climatiques et agro-physiologiques. Le cycle de saison sèche débute en effet mi-février pour s'achever en juillet, période à laquelle il chevauche le cycle de saison des pluies qui sera récolté à partir de novembre.

Ce calendrier cultural est soumis à deux contraintes dont les agriculteurs doivent tenir compte : premièrement, la phase de chevauchement des deux cycles coïncide avec l'arrivée des pluies, qui, quoique faibles en moyenne annuelle (194 mm de 1979 à 1991) sont suffisamment irrégulières dans leur date d'apparition et leur intensité pour venir perturber, certaines années, le bon déroulement des récoltes à la moissonneuse-batteuse et des préparations du sol au tracteur ; deuxièmement, la sensibilité du riz aux températures froides à la floraison détermine des dates limites de semis en saison des pluies, variables selon les variétés. Ces dates, connues des agriculteurs, constituent pour eux un objectif à ne pas dépasser dans le déroulement des travaux, une fois la variété choisie. Ainsi Jaya, variété de cycle moyen appréciée des paysans pour son rendement, voit son taux de stérilité moyen augmenter rapidement dès qu'elle est semée au-delà du 15 août, alors qu'Ai'wu, variété de cycle court fréquemment rencontrée en double culture sur le delta, peut être semée sans risque jusqu'au 1<sup>er</sup> septembre (fig. 2).

Pour autant, ces contraintes seraient aisément contournables si la gestion de la double culture se limitait à une parcelle. Mais l'utilisation partagée de l'eau et du matériel sur une surface donnée imposent aux acteurs de se coordonner autour de la mise en oeuvre des différents chantiers à assurer. Ces processus relèvent d'un problème général d'organisation du travail, entendu comme l'ensemble des choix portant sur la nature des chantiers et leur enchaînement au cours de la campagne agricole (Papy *et al.*, 1990). Chaque chantier correspond à une combinaison de main-d'oeuvre et d'équipement, définissant le mode de réalisation des opérations culturales.

### *Une multiplicité d'acteurs et de fonctions*

Dans notre cas, les opérations culturales structurant l'itinéraire technique rizicole peuvent se répartir en trois groupes en fonction de leur mode de

réalisation, manuelle ou mécanisée, et de la nature des ressources mobilisées, individuelles ou collectives (tabl. 1). Certaines relèvent plutôt des individus, telles que le semis ou la vidange des parcelles, d'autres, d'une gestion commune du réseau d'irrigation (mise en eau) ou du matériel agricole (préparation du sol et récolte mécanisée).

Tableau 1  
Répartition des opérations culturales selon leur mode de réalisation et la nature des ressources mobilisées

Ressources	Opération manuelle	Opération mécanisée
Ressources propres à chaque exploitation	Semis Vidange Coupe manuelle	-
Ressources partagées entre exploitations	Mise en eau Battage manuel	Préparation du sol Récolte mécanisée Battage mécanisé

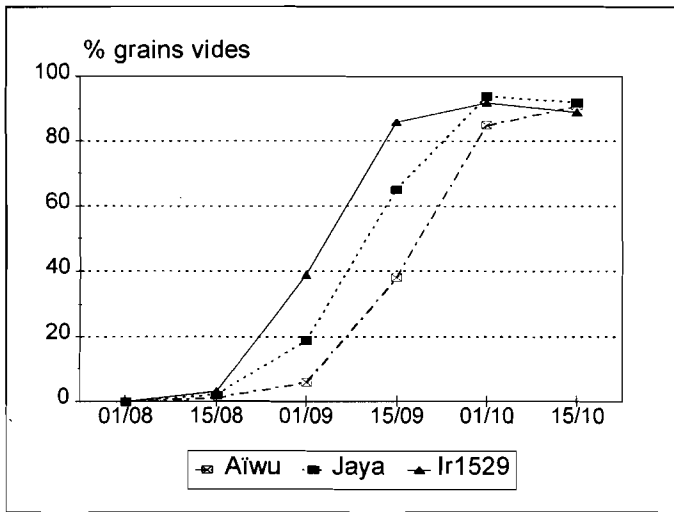


Figure 2 — Variation du taux de stérilité moyen en fonction de la date de semis pour trois variétés utilisées sur le delta en double culture (1970-1991).

Ces opérations s'inscrivent dans un espace, celui de l'aménagement hydraulique, entité où se concrétise la décision de faire la double culture, et où se déroulent les processus biophysiques, techniques et organisationnels contrôlant sa mise en oeuvre. Chaque aménagement possède des caractéristiques hydrauliques, édaphiques et physiques propres, qui définissent son degré d'adaptation à la double culture mécanisée. Par ailleurs, ces opérations ne sont pas indépendantes les unes des autres. Les décisions prises dans leur mise en

oeuvre et leur enchaînement font intervenir des configurations variables d'acteurs individuels et collectifs, s'articulant autour de la structure physique de l'aménagement et de son environnement (fig. 3).

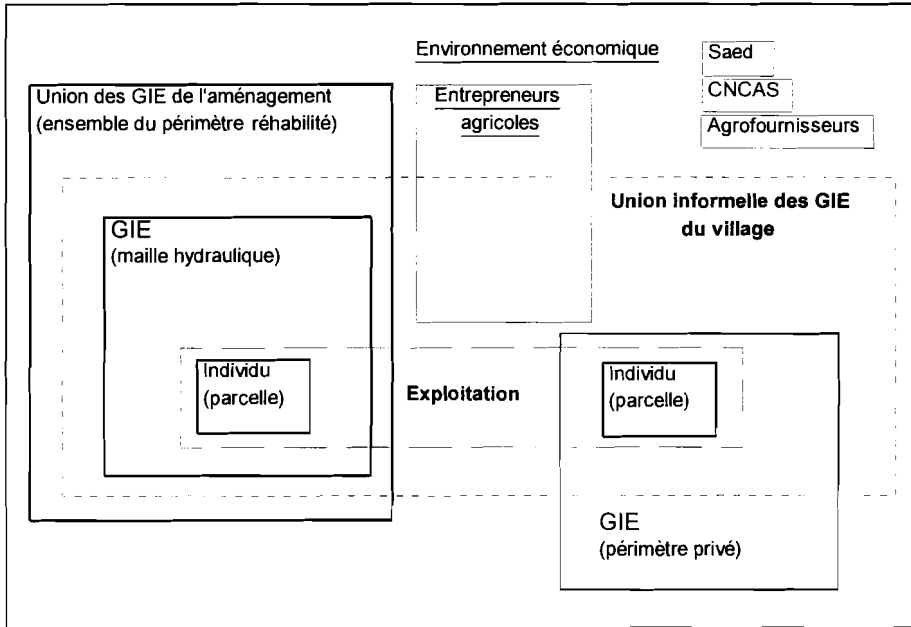


Figure 3 — Représentation schématique des relations entre centres de décision.

– *Le paysan individuel* sur sa parcelle relève d'une exploitation qui, en général, possède des parcelles sur d'autres aménagements. Etant, dans chaque cas, fortement dépendant des décisions prises collectivement, il opte ainsi pour une stratégie d'occupation de l'espace et d'adhésion à plusieurs groupements de producteurs, qui lui permet de minimiser les risques économiques liés à ses activités agricoles. L'exploitation est donc classiquement le lieu où l'agriculteur, en fonction de ses objectifs liés à sa situation familiale, décide de la répartition de ses ressources en temps et capital.

– *Le groupement d'intérêt économique (GIE)* regroupe, sur les aménagements suivis, les individus appartenant à une même maille hydraulique, chaque maille étant raccordée à un canal primaire ou secondaire et au réseau de drainage. Doté d'un statut juridiquement reconnu, le GIE peut accéder au crédit : il joue donc un rôle dans l'organisation et le financement de la campagne agricole, décide de l'intérêt de réaliser la double culture et gère l'eau au sein de sa maille.

– *L'Union des GIE* regroupe l'ensemble des GIE d'un aménagement. Cette entité, gérée directement par les paysans depuis le désengagement de l'Etat du secteur irrigué en 1990, décide de la réalisation de la double culture et gère globalement l'eau sur l'aménagement (entretien des canaux, gestion des stations de pompage, perception des redevances, etc.).

– *L'ensemble des GIE d'un même village* coordonne les relations avec les entrepreneurs de travaux agricoles pour la location de leurs matériels. Informel, ce niveau de décision n'est apparu qu'en cours d'enquête. Son poids dans le déroulement de la double culture est important, puisqu'il conditionne le déroulement des chantiers mécanisés.

– *Les entrepreneurs de travaux agricoles* sont, pour la plupart, des agriculteurs enrichis ou des commerçants. Les organisations paysannes sont rarement propriétaires de matériels, et les gèrent en général plus mal, du fait d'une dilution des responsabilités entre plusieurs individus (Allené, 1994). Les objectifs et modalités de gestion de ces entreprises conditionnent la disponibilité de leurs matériels à un moment donné et les performances des chantiers mécanisés.

– La Caisse nationale de crédit agricole du Sénégal (CNCAS) et la Société nationale d'aménagement et d'exploitation des terres du delta du fleuve Sénégal et des vallées du fleuve Sénégal et de la Falémé (Saed) interviennent dans le financement des campagnes agricoles et donc leur déclenchement et enchaînement, la première en organisant les crédits de campagne nécessaires à l'achat des intrants et à la location des tracteurs, la seconde en contrôlant la commercialisation du paddy et sa transformation en riz blanc. Depuis 1994, ces fonctions ont été libéralisées : des riziers privés traitent aujourd'hui directement avec les GIE et les individus pour acheter leur paddy.

Les relations entre les centres de décision seront donc déterminantes pour la réussite de la double culture. Comme l'indique Riveline (1983) à propos des entreprises, elles s'inscriront plus dans la recherche de compromis acceptables et négociés que dans une cohérence logique globale. Dans cette recherche collective, l'organisation devra tenir compte d'une incertitude interne, liée aux comportements de ses agents, d'une part, et externe, produite par son environnement socio-économique, d'autre part (Crozier et Friedberg, 1977 ; Courbon, 1982).

### *Des résultats trompeurs et divers*

Plusieurs indicateurs permettent de juger de la réussite de la double culture sur un aménagement donné. Le premier consiste à observer l'évolution des

superficies cultivées d'une année à l'autre. Sur les trois sites faisant l'objet de cette étude, on constate un réel succès de cette formule (fig.4). A Thiagar et Ndiethene, les surfaces en double culture sont en augmentation constante depuis 1991, année d'introduction de cette innovation. Le taux de double culture atteint 60 à 70 % en 1993, dépassant l'objectif fixé par l'Etat. A Diawar, ce taux égale même 100 % pour la seule année étudiée. Dans les trois cas, les superficies mises en valeur ne sont pas négligeables, et atteignent 175 à 190 hectares à leur maximum.

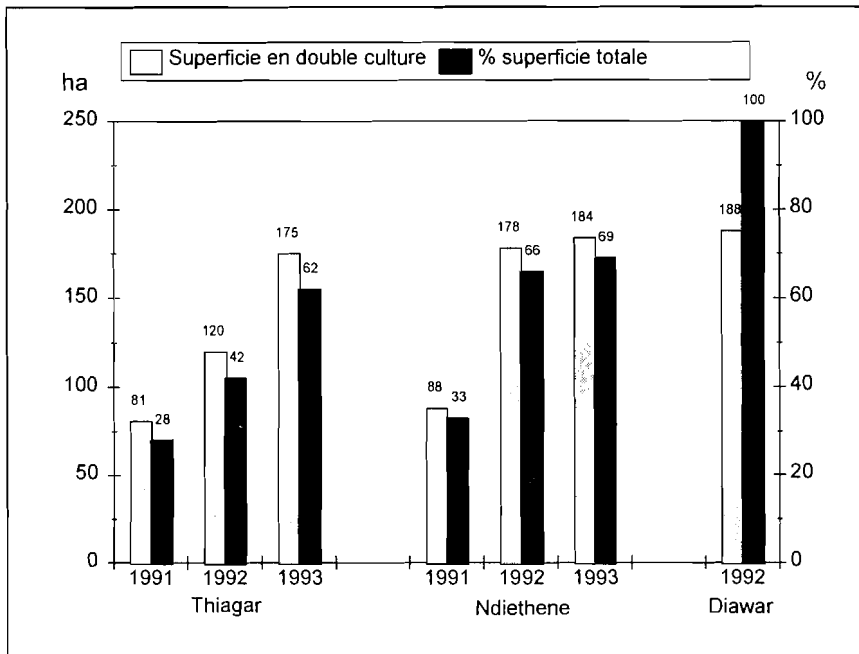


Figure 4 — Evolution de la superficie cultivée en double culture par village et année.

Un second diagnostic peut cependant être porté, tenant compte des contraintes de calendriers et notamment des risques de stérilité des épis dus à des semis tardifs en saison des pluies. En se référant à la date du 15 août, conforme aux objectifs visés par les agriculteurs et aux connaissances agrophysiologiques sur les variétés disponibles, nous observons une situation contrastée selon les sites et les années (fig.5). A Thiagar, la superficie semée au-delà du 15 août est toujours élevée, et oscille entre 40 et 78 % de la surface en double culture. A Ndiethene, les semis de saison des pluies ont été effectués avant le 15 août sur la grande majorité des surfaces en 1991 et 1993. Par contre, 81 % des surfaces accusent un retard de semis en 1992, compensé

par le choix d'Aïwu, qui peut être semé à moindre risque jusqu'en début septembre. La situation est intermédiaire à Diawar, où 42 % des surfaces sont semées au-delà du 15 août, principalement avec la variété IR1529. Les comportements des agriculteurs en terme de choix variétal varient également largement selon les sites et les années.

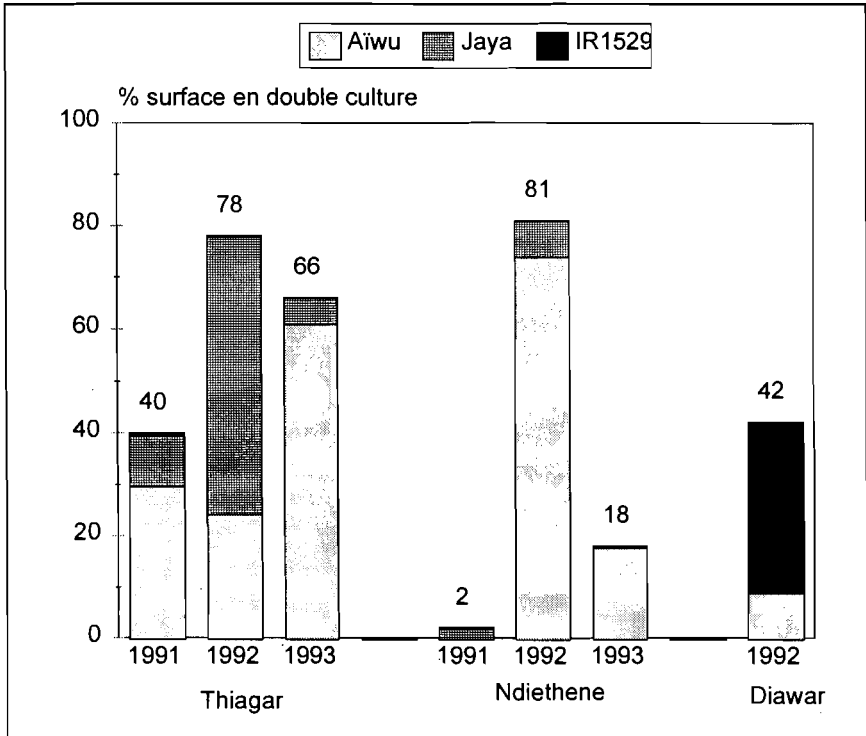


Figure 5 — Evolution des superficies en double culture semées au delà du 15 août par site et variété.

Ces résultats dénotent un problème général de calage des calendriers de travail par rapport aux dates limites de semis propres aux variétés de cycle moyen, à même de compromettre l'intérêt agronomique et économique de la double culture, compte-tenu des baisses de rendement induites par la stérilité des épillets. Les semis étant le résultat de l'ensemble des opérations s'enchaînant de la récolte du précédent à la mise en eau du suivant, ces différences proviennent d'un déroulement variable des calendriers de travaux, comme le confirme la comparaison entre Diawar et Ndiethene en 1992 (fig. 6), pour des superficies en double culture équivalentes (respectivement 188 et 178 ha) :

- le chantier de récolte débute avec une quinzaine de jours de retard à Ndiethene, malgré des dates de semis globalement équivalentes en saison sèche chaude ;
- les chantiers de récolte et de préparation du sol se chevauchent à Diawar alors qu'ils se succèdent à Ndiethene ;
- les performances des chantiers mécanisés sont en moyenne plus élevées à Ndiethene (tabl.2), mais dans les deux villages, elles varient largement d'un jour à l'autre. Une interruption de plusieurs jours est également observée à Diawar.

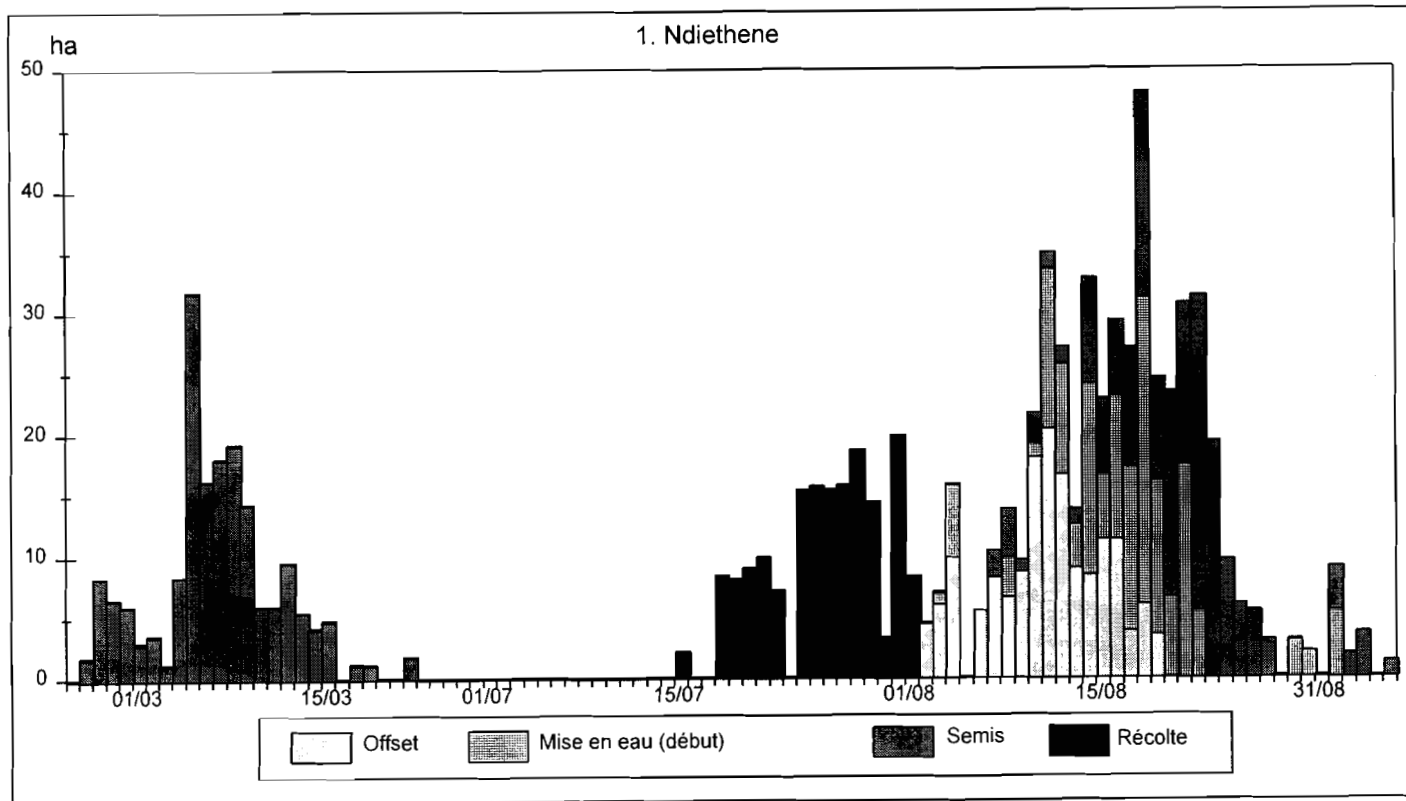
Ces pratiques influent positivement ou négativement, et selon un poids variable, sur le déroulement final des semis. Elles résultent des comportements individuels des acteurs, paysans et entrepreneurs, et de leurs modalités de coordination par les structures collectives. Juger de la réussite de la double culture implique donc d'analyser et de formaliser ces comportements.

Tableau 2  
Performances moyennes par chantier et site

Chantier	Vitesse (ha/j)	Diawar	Ndiethene
préparation du sol	moyenne	6,8	9,5
	maximum	19,4	12,2
mise en eau	moyenne	7,0	5,3
	maximum	40,1	25,5
semis	moyenne	7,6	5,9
	maximum	30,6	19,8
récolte	moyenne	4,1	9,6
	maximum	14,6	19,7

## Incertitudes individuelles et coordination collective

Pour ce faire, nous avons élaboré un modèle explicatif structuré autour de deux composantes : (i) les acteurs individuels génèrent, à travers leurs décisions, un ensemble d'incertitudes vis-à-vis des groupements de producteurs ; (ii) pour gérer cette incertitude et coordonner ces comportements, ces groupements déploient des stratégies construites, de façon variable, autour de trois processus généraux : la contractualisation de leurs relations avec les acteurs individuels, la simplification des processus de gestion et l'adaptation aux événements rencontrés. Nous illustrerons une partie de ce modèle en analysant





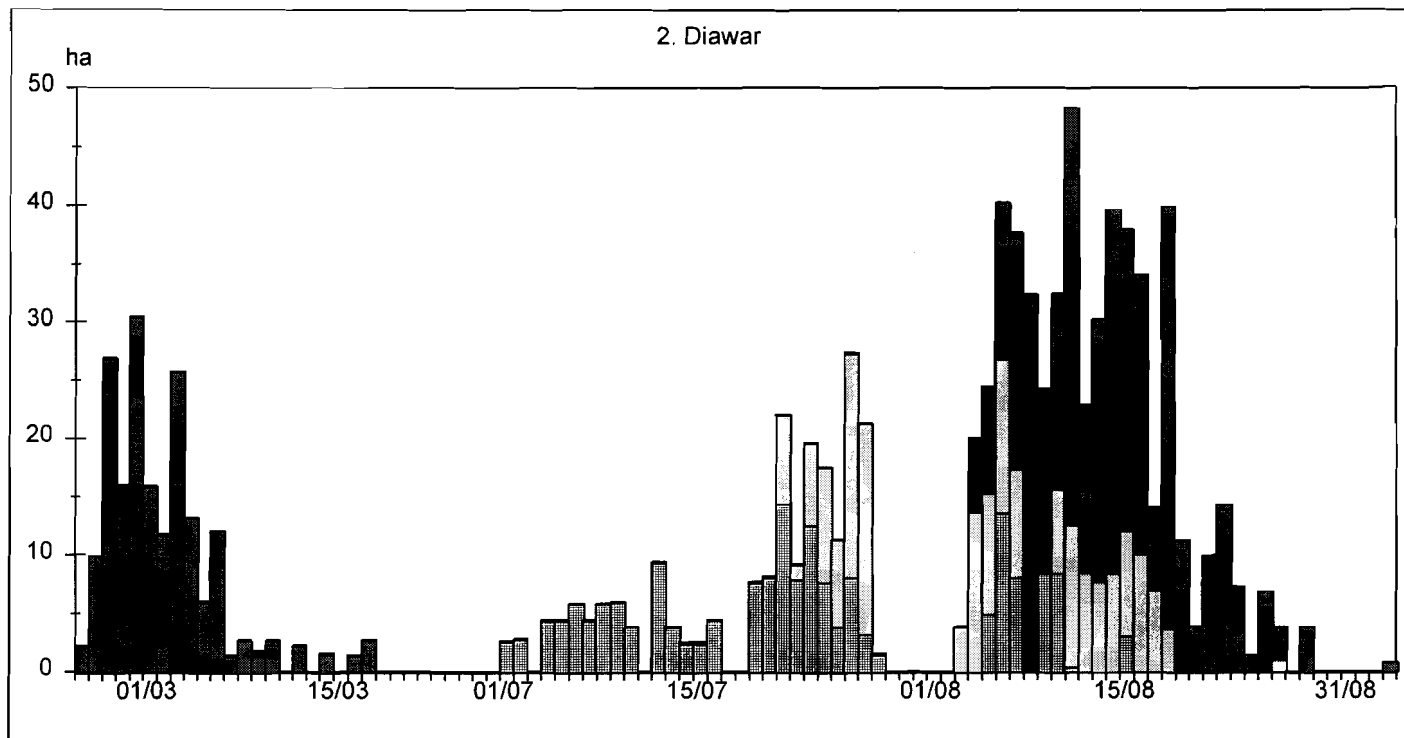


Figure 6b — Calendrier de travail à Diawar en 1992.

la façon dont est choisie la date de déclenchement des récoltes du riz de saison sèche sur les deux aménagements suivis.

Au plan agronomique, le problème s'énonce ainsi : comment choisir sur chaque parcelle les dates de vidange et de récolte, afin que soient calées la portance de la parcelle, nécessaire aux moissonneuses-batteuses pour travailler dans de bonnes conditions, et la maturité du paddy, à une humidité comprise entre 16 et 20 % ? La question serait relativement simple à traiter si les paysans étaient autonomes pour ces deux décisions, comme c'est le cas au projet Retail, au Mali (Le Gal, 1995b). Mais la gestion partagée des moissonneuses-batteuses induit un degré de dépendance entre les acteurs, qui complexifie les choix à réaliser. Interviennent alors le paysan sur sa parcelle qui choisit sa date de semis, sa variété et sa date de vidange, l'entrepreneur qui contrôle la disponibilité de ses matériels et la structure collective qui met en relation ces deux ensembles.

Le déclenchement de la récolte est perçu différemment selon les points de vue. Le paysan individuel n'a qu'une connaissance imparfaite, voire nulle, de la date à laquelle sa parcelle sera récoltée par une moissonneuse-batteuse. Cette date dépend en effet du déroulement du chantier, dont les performances sont fonction de la qualité du service offert par les entrepreneurs et du nombre d'entreprises prospectées par les structures collectives.

C'est pourquoi le paysan ne tient pas compte de la vitesse de ressuyage du sol et du calage entre portance, maturité et récolte pour fixer la date à laquelle il va drainer sa parcelle. Bien au contraire, la plupart des agriculteurs réalisent tardivement cette opération par rapport au stade du riz, en général au delà de 20 jours après floraison, alors qu'une quinzaine de jours paraissent suffisants au plan agronomique (Dingkuhn et Le Gal, 1996). Leur objectif demeure en effet individuel : ils cherchent avant tout à augmenter leur rendement en amenant à maturité les dernières panicules épiées.

Ce comportement général est néanmoins variable sur un même aménagement pour une même campagne, comme le montre l'étalement des intervalles floraison-vidange (fig. 7). Il en résulte une diversité des états parcellaires, accrue par des maturités différentes selon les dates de semis et les variétés, et par des dynamiques variables de ressuyage. Les raisons de ces dynamiques variables vont de l'intensité d'évapotranspiration du couvert végétal, à la texture du sol et à sa salinité, en passant par le nivellement des parcelles, d'éventuelles fuites à partir des canaux, ou des pluies survenant en cours de ressuyage. Les structures collectives se trouvent ainsi placées à un instant  $t$  devant un patchwork d'états parcellaires sur lequel elles n'ont qu'une information incomplète dans le temps et l'espace. La combinaison des décisions

individuelles en matière de date de semis, de variété et de date de drainage, représente donc pour elles un facteur d'incertitude sur lequel elles n'ont qu'une influence relative et elle-même incertaine.

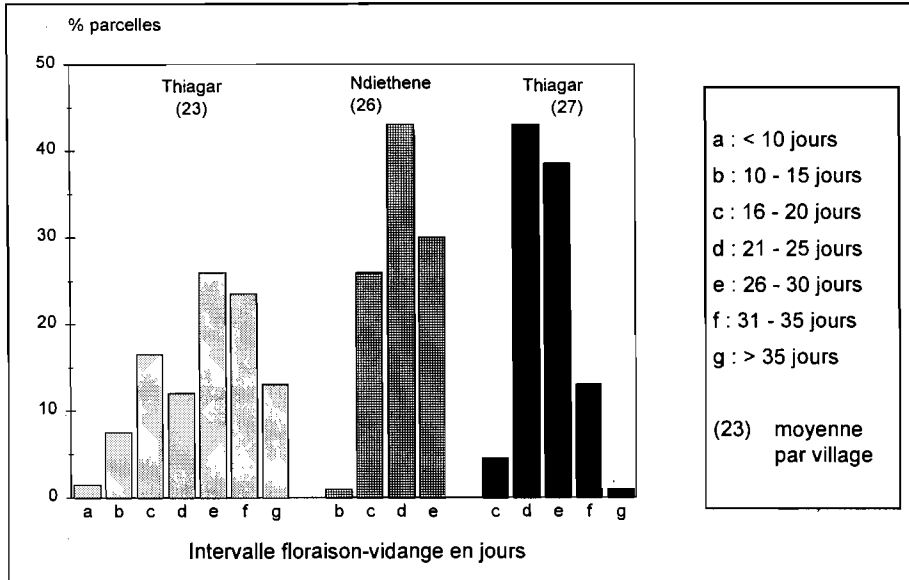


Figure 7 — Distribution des intervalles floraison-vidange par parcelle en saison sèche chaude 1992.

Les solutions adoptées pour résoudre ce problème exploitent les particularités de chaque aménagement, aux plans hydraulique, foncier et décisionnel. A Thiagar, le déclenchement de la récolte doit tenir compte de l'interdépendance des différents acteurs impliqués, et de leurs positions spécifiques. Ainsi, les villages et les GIE désirent que la récolte, une fois commencée, se fasse au plus vite. Ils craignent en effet que l'étalement des travaux augmente, pour les parcelles non récoltées, les risques de dégâts par les oiseaux et les troupeaux divaguant sur l'aménagement, à la recherche de pailles fraîchement coupées. Ils souhaitent donc éviter des interruptions de chantier dues à des enlisements des matériels ou à la présence de parcelles trop humides qui bloquent la récolte de celles situées plus en aval.

De leur côté, les entrepreneurs désirent également éviter ces risques d'enlèvement, source de casse de matériel et de perte de temps, donc d'argent. Ils demandent donc qu'une superficie récoltable minimale leur soit assurée en début de chantier. Pour répondre à ces différentes attentes, éviter les conflits potentiels, et tenir compte de l'hétérogénéité des états parcellaires, les struc-

tures collectives ont simplifié le problème, d'une part, en centralisant le choix de la date de déclenchement du chantier au niveau de l'Union des GIE, puisqu'ils se trouvent tous liés par cette décision et, d'autre part, en calant cette date sur les dernières parcelles de l'aménagement arrivant à maturité, de façon à se donner un volant de sécurité sur la portance supposée des premières parcelles drainées. De ce fait, la plupart des parcelles se trouvent récoltées à sur-maturité.

Sur l'aménagement de Diawar, la situation est simplifiée par le fait que les différentes parcelles, et donc les individus, sont beaucoup plus autonomes en terme d'accès au réseau hydraulique et à la voirie. Il est donc possible de déconnecter, au niveau parcellaire, les décisions liées au drainage et aux récoltes. Le village est également plus autonome au plan des moissonneuses-batteuses, et les liens entre entrepreneurs locaux et paysans sont plus étroits, permettant à ces derniers de mieux adapter l'arrivée des matériels à leur demande.

Ces éléments offrant plus de souplesse, le choix du déclenchement de la récolte est laissé aux individus, en fonction de leur perception de l'état de leur parcelle et de la possibilité de mobiliser une machine en début de campagne. Ces différences de flexibilité entre les deux aménagements expliquent la quinzaine de jours d'écart observés entre Diawar et Ndiethene en saison chaude 1992, dans le déclenchement du chantier de récolte.

## Discussion et perspectives

Pour l'agronome soucieux de porter un diagnostic dans une perspective d'aide à l'action des agriculteurs, la gestion partagée d'une ou plusieurs ressources mobilisées dans la conduite de leurs systèmes de culture, implique d'opérer un changement de niveau d'observation, de la parcelle vers un ensemble d'exploitations dont les limites sont parfois imprécises. Les modes d'association entre agriculteurs relèvent en effet plus souvent de leurs relations sociales informelles que de formes juridiques établies.

Ce changement d'échelle doit s'accompagner de nouvelles méthodologies d'analyse, dont certaines restent à créer. Le concept de modèle d'action et les cadres de représentation des processus de décision adaptés à une fonction spécifique de l'exploitation, tel que l'organisation du travail, conservent leur utilité pour décrypter les phénomènes observés. Mais la dimension collective des modalités de gestion incite à nous rapprocher des questions étudiées dans les entreprises par les recherches en gestion.

Ce rapprochement permet tout d'abord de préciser les facteurs explicatifs des situations rencontrées. Dans le cas présenté ici, nous avons ainsi émis l'hypo-

thèse que les difficultés rencontrées par les paysans dans la conduite de la double culture résultait d'un triple déficit organisationnel :

- déficit stratégique d'abord : face aux logiques contradictoires des acteurs individuels, les structures collectives ne parviennent pas à se construire une vision claire et structurée de leur futur ; elles se replient alors sur la gestion courante sans inscrire celle-ci dans une stratégie plus globale (Martinet, 1983) ;
- déficit d'information ensuite : les structures collectives évaluent mal certains paramètres fondamentaux de la conduite de la double culture ; elles sont également peu au fait des décisions prises au niveau interne par les individus, comme au niveau externe par les entrepreneurs ; comme il en va de même dans le sens des acteurs individuels vers les structures collectives, le système global d'information lié à cet ensemble d'acteurs s'avère déficient ;
- déficit d'autorité et de contrôle hiérarchique enfin, qui représente, à nos yeux, l'originalité des organisations paysannes par rapport aux entreprises classiques ; chaque paysan conserve en effet un degré d'autonomie élevé du fait qu'il relève d'une exploitation agricole dont les limites dépassent largement l'aménagement considéré ; les individus sont donc difficilement contrôlables par les structures collectives.

Ce rapprochement amène également à nous interroger sur nos modalités d'intervention. La recherche en intervention partant d'une demande des acteurs plus ou moins bien formalisée, précisant les problèmes posés, les reformulant en problématique scientifique, puis soumettant ses résultats à leur réflexion, en constitue le fil conducteur, notamment dans les articulations avec les sciences bio-physiques, qui permettent d'évaluer l'impact d'un mode de gestion sur le milieu naturel et cultivé. Ce type d'approche n'est pas sans poser problème en matière de validation des résultats obtenus et des modèles proposés, une épistémologie constructiviste paraissant dans ce cas mieux indiquée (Girin, 1990 ; Le Moigne, 1990).

Se pose également le problème de l'utilisation des connaissances produites dans une perspective d'aide à l'action. Les principes adoptés se détournent alors de la recherche d'une solution optimale, prenant la forme de recommandations proposées aux agriculteurs, mais qui n'auraient guère de sens en matière d'organisation dans des situations de gestion aussi complexes. A travers l'instauration d'un dialogue avec un observateur extérieur, l'objectif est plutôt d'aider les acteurs à mieux formaliser leurs modes de raisonnement et leurs interrelations, puis à mieux évaluer l'effet de tel mode d'organisation sur la réalisation de leurs objectifs (Attonaty et Soler, 1991). Pour stimuler cette réflexion, le recours à des situations virtuelles construites à partir d'une repré-

sentation de la réalité vécue par les acteurs, que permet actuellement un logiciel tel qu'Otelo (Attonaty *et al.*, 1990), nous paraissent une solution pédagogique intéressante.

En gestion collective, l'application de ces principes doit conduire à un élargissement de ces objectifs vers l'élaboration de démarches d'aide à la négociation, capables d'analyser et de représenter les relations entre les acteurs. Dans ce processus d'apprentissage organisationnel, le recours à la modélisation se fait plus complexe. Plusieurs voies sont aujourd'hui ouvertes, depuis la construction de modèles simples représentant les processus techniques et économiques à gérer (Tanguy, 1989), jusqu'à l'utilisation d'outils basés sur l'intelligence artificielle distribuée, dont la mise en œuvre dans le milieu biologique et agricole demeure encore du domaine de la recherche (Bousquet, 1994) et dont l'opérationnalité dans un cadre professionnel de conseil reste à évaluer.

L'étude de la gestion collective des systèmes de culture ouvre des perspectives nombreuses, en région tropicale où la taille des exploitations conduit très souvent les agriculteurs à mettre en commun leurs ressources, et plus généralement dans toutes les situations où des produits passent d'une exploitation à l'autre ou vers une industrie de transformation. Les modalités de gestion intègrent alors la dimension spatiale du pilotage des flux entre acteurs, dimension que les systèmes d'information géographique peuvent aider à comprendre et à maîtriser (Guérin *et al.*, 1994). Placé à l'articulation entre les sciences du vivant et les sciences humaines, l'agronome s'ouvre ainsi un champ nouveau de recherche et d'intervention, dont les perspectives scientifiques dépassent sa seule discipline dès lors que sont abordées des problématiques telles que la gestion des ressources naturelles et le développement régional.

## Références bibliographiques

ALLENE R., 1994 –  
*Stratégies et modes de gestion des équipements agricoles par les prestataires de services mécanisés dans le delta du fleuve Sénégal*. Mémoire fin d'études. INA P-G, Paris, France, 52 pages + annexes.

ATTONATY J.-M., SOLER L.-G., 1991 –  
Des modèles d'aide à la décision pour de nouvelles relations de conseil en agriculture.  
*In : Nouvelles approches en gestion de l'exploitation agricole. Econ. rurale*, 206 : 37-45.

- ATTONATY J.-M., CHATELIN M.-H.,  
POUSSIN J.-C., SOLER L.-G., 1990 –  
Un simulateur à base de connaissance pour  
raisonner équipement et organisation du travail  
en agriculture. In : P. Matarasso (éd.) :  
*Représentation, modélisation, développement*.  
Montpellier, France, Agropolis, pp. 301-314.
- AUBRY C., 1995 –  
*Gestion de la sole d'une culture dans  
l'exploitation agricole. Cas du blé d'hiver en  
grande culture dans la région picarde*. Thèse de  
Doctorat. INA P-G - Inra, Paris, France,  
285 pages + annexes.
- BOUSQUET F., 1994 –  
*Des milieux, des poissons, des hommes :  
étude par simulations multi-agents. Le cas de  
la pêche dans le delta central du Niger*. Thèse  
Doctorat. Université Claude Bernard, Lyon,  
France, 175 pages.
- CAPILLON A., 1988 –  
Jugement des pratiques et fonctionnement des  
exploitations. In : M. Jollivet (éd.) : *Pour une  
agriculture diversifiée : arguments, questions,  
recherches*. Paris, France, L'Harmattan,  
pp. 124-133.
- COURBON J.-C., 1982 –  
Processus de décision et aide à la décision.  
*Economie et Sociétés. Série Sciences de  
Gestion*, 3, Tome XVI, 12 : 1466-1476.
- CROZIER M., FRIEDBERG E., 1977 –  
*L'acteur et le système*. Paris, France, Le Seuil,  
493 pages.
- DINGKUHN M., 1995 –  
Climatic determinants of irrigated rice  
performance in the Sahel. III. Characterizing  
environments by simulating crop phenology.  
*Agr. Syst.*, 48 : 435-456.
- DINGKUHN M., LE GAL P.-Y., 1996 –  
Effect of drainage date on yield and dry matter  
partitioning in irrigated rice. *Field Crops  
Research*, 46(1-3) : 117-126.
- DINGKUHN M., LE GAL P.-Y.,  
POUSSIN J.-C., 1993 –  
RIDEV : un modèle de développement du riz  
pour le choix des variétés et calendriers  
culturels. In : Boivin et al. (éd.) : *Nianga :  
laboratoire de la culture irriguée*. Saint-Louis,  
Sénégal, ISRA-Orstom, pp. 205-222.
- GIRARD N., HAVET A., CHATELIN M.-H.,  
GIBON A., HUBERT B., RELIER J.-P., 1994 –  
Formalisation des relations stratégie/pilotage  
dans les systèmes fourragers. Propositions  
pour la conception d'instruments d'aide à la  
décision. Symposium International  
« Recherches-système en agriculture et  
développement rural ». Montpellier (France),  
21-25 novembre 1994. Actes, pp. 223-229.
- GIRIN J., 1990 –  
Analyse empirique des situations de gestion :  
éléments de théorie et de méthode. In :  
Martinet A.-Ch. (coord.) : *Epistémologies et  
sciences de gestion*. Paris, Economica,  
pp. 141-182.
- GUERIN G., LARDON S.,  
OSTY P.-L., TRIBOULET P., 1994 –  
Comprendre et représenter l'organisation  
spatiale des systèmes techniques. L'élevage  
ovin extensif du sud du Massif Central.  
Symposium International « Recherches-  
système en agriculture et développement  
rural ». Montpellier (France),  
21-25 novembre 1994. Actes, pp. 119-124.
- LE GAL P.-Y., 1995a –  
*Gestion collective des systèmes de culture en  
situation d'incertitude : cas de l'organisation du  
travail en double culture dans le delta du fleuve  
Sénégal*. Thèse de Doctorat. Paris,  
INA P-G, 215 pages + annexes.
- LE GAL P.-Y., 1995b –  
Le développement de la double culture irriguée  
au Sahel : contraintes et perspectives pour les  
agriculteurs. Séminaire « La riziculture irriguée  
au Sahel : perspectives pour un  
développement durable », Ndiaye, Sénégal,  
Adrao, 27-31 mars 1995, 29 pages.
- LE MOIGNE J.-L., 1990 –  
Epistémologies constructivistes et sciences de  
l'organisation. In : Martinet A.-Ch. (coord.) :  
*Epistémologies et sciences de gestion*. Paris,  
Economica, pp. 81-140.
- MARTINET A.-CH., 1983 –  
*Stratégie*. Paris, Vuibert Gestion, 320 pages.
- MILLEVILLE P., 1987 –  
Recherches sur les pratiques des  
agriculteurs. *Cah. Rech. Dev.*, 16 : 3-7.
- NAVARRETE M., 1993 –  
L'organisation du travail, déterminant de la  
conduite technique d'une culture de tomate  
sous serre. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 79 :  
107-117.
- PAPY F., 1994 –  
Working knowledge concerning technical

systems and decision support. In : J.B. Dent and M.J. McGregor (éd.) : *Rural farming systems analysis : European perspectives*. London, UK, CAB international, pp. 222-235.

PAPY F., AUBRY C. ET MOUSSET J., 1990 – Éléments pour le choix des équipements et chantiers d'implantation des cultures en liaison avec l'organisation du travail. In : J. Boiffin et A. Marin-Lafèche (éd.) : *La structure du sol et son évolution*. Paris, coll. *Les Colloques de l'Inra*, 53 : 157-185.

RIVELINE C., 1983 – Nouvelles approches des processus de décision (les apports de la recherche en gestion). *Futuribles*, déc. 1983 : 64-77.

SEBILLOTTE M., 1974 – Agronomie et Agriculture. Essai d'analyse des tâches de l'agronome. *Cah. Orstom, Sér. Biol.*, 24 : 3-25.

SEBILLOTTE M., SOLER L.-G., 1990 – Les processus de décision des agriculteurs. Première partie : acquis et questions vives. In : Brossier J., Vissac B. et Le Moigne J.L. (éd.) : *Modélisation systémique et système agraire. Décision et organisation*. Paris, Inra, pp. 93-101.

TANGUY H., 1989 – La réhabilitation des modèles et des plans dans l'entreprise. Le cas d'une maison de Champagne. *Cah. Econ. Sociol. rurales*, 10 : 26-64.



# De paysan à planteur en six ans, ou l'étonnante reconversion d'un centre de transmigration en Indonésie

Patrice Levang

## La transmigration : un gigantesque programme de colonisation agricole

En 1905, le gouvernement colonial néerlandais décida de déplacer 155 familles originaires de Kedu (Java-Centre) pour les installer dans un village de colonisation appelé Bagelen, dans les environs de Gedong Tataan (Lampung). La transmigration était née<sup>1</sup>. Aujourd'hui, avec 6,4 millions de migrants déplacés des « îles intérieures » (Java, Madura, Bali) vers les « îles extérieures » de l'archipel indonésien (Sumatra, Kalimantan, Sulawesi, Irian Jaya), la transmigration représente la plus grande opération de migration volontaire jamais organisée par un Etat. Elle diffère d'autres mouvements migratoires par la forte implication de l'Etat à tous les niveaux. L'Etat sélectionne les migrants, les prend en charge de la zone d'origine jusqu'au village de colonisation, leur alloue des terres, une maison, de la nourriture, des outils, etc., et gère les centres pendant une durée minimale de cinq ans.

Les objectifs du programme sont multiples et évoluent avec le temps. Tout d'abord, la transmigration est une politique sociale. A l'issue d'une période d'exploitation « rationnelle » des Indes orientales (1830-1870), le gouver-

---

<sup>1</sup> Appelé *Kolonisatie* pendant l'ère coloniale, le programme fut renommé transmigration après l'Indépendance. Pour plus de renseignements sur l'histoire du programme, consulter Pelzer (1945), Hardjono (1977), World Bank (1988), Levang (1995).

nement colonial néerlandais commença à s'inquiéter de la « réduction du bien-être des indigènes ». Le responsable de cette réduction était clairement désigné : la pression démographique excessive dans les îles intérieures. Au tournant du siècle, les maîtres mots des réformes proposées par les avocats de la politique « éthique »<sup>2</sup> pour soulager la misère à Java s'intitulaient : irrigation, éducation et émigration. Le premier objectif assigné à la transmigration consistait à donner de la terre à ceux qui en manquent et, par là, réduire la pression foncière à Java. Même si cet objectif n'a jamais été atteint — les 6,4 millions de migrants sont à comparer aux 78 millions de croît démographique de Java pendant la même période — il sert toujours de justification première au programme.

La transmigration est aussi une politique de développement. Dans les îles périphériques sous-peuplées, l'absence de main-d'œuvre et de savoir faire sont tenus pour responsables du sous-développement. En déplaçant les hommes sans terre vers les terres sans hommes, la colonisation agricole est supposée résoudre à la fois les problèmes sociaux à Java et les problèmes de développement dans les îles périphériques.

Réduire le déséquilibre démographique de l'archipel — en 1980, Java à elle seule regroupe 62 % de la population nationale sur 7 % de sa surface — est aussi un objectif politique ou plus exactement géopolitique. Le président Sukarno considérait la transmigration comme « un véhicule pour la construction nationale par l'assimilation et l'intégration des groupes ethniques minoritaires » (Sukarno, 1964). La localisation de certains centres le long de frontières disputées (Papouasie, Nouvelle Guinée) ou dans des archipels isolés (Natuna) n'est pas étrangère au concept de « gestion territoriale » cher aux militaires indonésiens (Budiardjo, 1986 ; Colchester, 1986).

Poursuivant à la fois des objectifs sociaux, de développement et géopolitiques, la transmigration s'adresse à des paysans dans un cadre de développement agricole. En cela, elle répond également à la définition d'une politique agraire (Levang, 1995). Développement agricole ne signifie cependant pas la même chose pour un cultivateur sur brûlis de Sumatra ou de Bornéo que pour un riziculteur javanais ou balinais. Mais, pour le gouvernement indonésien, politiquement dominé par les Javanais, les *ladang* (essarts) sont synonymes d'archaïsme alors que les *sawah* (rizières inondées) signifient développement<sup>3</sup>. Les modèles techniques ne sont jamais indépendants des modèles culturels.

<sup>2</sup> Dirigé par Van Deventer, Van Kol et Brooschooft, le groupe de pression *Ethici* s'efforçait de convaincre l'opinion publique néerlandaise que la métropole avait une dette d'honneur envers sa colonie.

<sup>3</sup> Cf. la très intéressante étude de Dove (1986) concernant l'idéologie du développement agricole en Indonésie.

## La quantité plutôt que la qualité

La riziculture inondée fut le premier modèle technique retenu par la transmigration. Les autorités coloniales néerlandaises découvrirent rapidement qu'il ne suffisait pas de déplacer des riziculteurs pour créer des rizières. Les premiers colons javanais installés au Lampung s'avèrent incapables de créer et de gérer des réseaux d'irrigation par eux-mêmes. L'absence de savoir faire et les contraintes physiques furent tenues pour responsables de cet échec. D'une part, les transmigrants n'étaient pas sélectionnés sur la base de leurs connaissances techniques, d'autre part, la topographie du sud de Sumatra ne permettait pas la réalisation de travaux d'irrigation par gravité relativement simples. Au contraire, elle nécessitait la construction de grands barrages et le creusement de canaux primaires longs de plusieurs kilomètres, toutes opérations hors de portée du colon moyen. A l'issue des premières expériences, la mise à disposition rapide d'un réseau d'irrigation apparut comme la condition *sine qua non* de la réussite d'une colonie. Malheureusement, cette obligation renchérit considérablement le coût d'installation d'un centre de transmigration, limitant par là le nombre de migrants concernés. Entre 1905 et 1941, le gouvernement colonial ne parvint à déplacer que 200 000 colons (Pelzer, 1945). Dans l'intervalle, la population de Java s'était accrue de 19 millions d'habitants.

A l'issue des luttes pour l'Indépendance en 1949, la jeune république décida de poursuivre le programme. Pour le gouvernement, la transmigration ne présentait d'utilité que si elle concernait un grand nombre de personnes. Les budgets étant limités, la solution consistait à réduire le coût par famille déplacée. Vers la fin des années 1960 et le début des années 1970, la transmigration expérimenta un nouveau type de projet visant à mettre en valeur les marécages côtiers. Dans ces projets, appelés *pasang surut*, le jeu de battement de la marée assurait la circulation, l'irrigation et le drainage par un seul et même réseau de canaux. Malgré un coût de construction initial plus faible que dans le cas d'un système d'irrigation régional, le coût global de la mise en valeur des marais côtiers s'avéra nettement plus élevé. L'ensablement des canaux et la subsidence de la tourbe se traduisaient par des coûts d'entretien prohibitifs. Qui plus est, les résultats agricoles furent décevants en raison de l'insuffisance du contrôle de l'eau et de l'intrusion d'acides sulfates. A la fin des années 1970, les autorités décidèrent d'arrêter le programme *pasang surut* au bénéfice des projets en cultures vivrières pluviales.

A vrai dire, la culture pluviale pour la transmigration ne peut être considérée comme une innovation. Un centre de transmigration en culture pluviale n'est

guère différent d'un centre en culture irriguée... où l'irrigation est restée à l'état de projet. De tels centres présentent l'intérêt, évident pour les autorités, de permettre l'implantation d'un grand nombre de trans migrants au moindre coût, une simple route d'accès tenant lieu d'infrastructures. Malheureusement, la viabilité de tels projets est rarement assurée. En culture permanente, le taux de matière organique baisse rapidement, l'infestation par les adventices s'accroît, et les paysans doivent travailler davantage pour des rendements moindres. Après quelques années, de nombreux migrants renoncent à l'activité agricole ou abandonnent les colonies. Autrefois, les mêmes problèmes avaient décidé les autorités coloniales à restreindre la transmigration aux projets irrigués.

Mais au début des années 1970, les pouvoirs publics pensaient que, grâce aux progrès de la science, l'agronomie moderne disposait des solutions techniques aux problèmes passés. Ils étaient encouragés en cela par le succès hors pair de la Révolution verte dans les zones irriguées de Java. Grâce à l'utilisation de variétés à hauts rendements et à cycles courts, à la réhabilitation des réseaux d'irrigation, aux subventions aux engrais et aux pesticides, à la modernisation de la vulgarisation agricole, à la mise à disposition de crédits de campagne par le programme BIMAS<sup>4</sup>, à la stabilisation du prix du riz, etc. l'Indonésie était en passe de retrouver son autosuffisance en riz<sup>5</sup>.



## Batumarta : projet pilote

Reproduire le succès de la Révolution verte dans les zones de cultures pluviales présentait un intérêt fondamental pour la transmigration. Les systèmes de culture traditionnels n'ayant pas permis de mettre en valeur les sols marginaux des îles périphériques, le développement de techniques nouvelles s'avérait indispensable. Les pratiques culturelles des autochtones de Sumatra ou de Kalimantan sont pourtant loin d'être inefficaces. La riziculture sur brûlis est un système de culture efficace et durable tant que la population reste faible et la terre disponible (Levang, 1993). L'hévéaculture extensive<sup>6</sup>, telle que pratiquée sur ces deux îles, s'avère économiquement et écologiquement intéressante (Gouyon *et al.*, 1993). Mais de tels systèmes ne peuvent

<sup>4</sup> Bimbingan masal, ou encadrement de masse. BIMAS est un programme national de crédits de campagne en nature — variétés sélectionnées, engrais et pesticides — à taux d'intérêt subventionné (1 % par mois).

<sup>5</sup> L'autosuffisance a été atteinte en 1983.

<sup>6</sup> Souvent qualifiée de *jungle rubber*.

pas être proposés à des transmigrants. La transmigration étant une politique de développement, elle se doit de promouvoir « une agriculture moderne et intensive » et non un mode d'utilisation de l'espace que les Néerlandais qualifiaient de *Raubbau* (économie de voleurs) et les Javanais de primitif, archaïque et nomade (Dove, 1986).

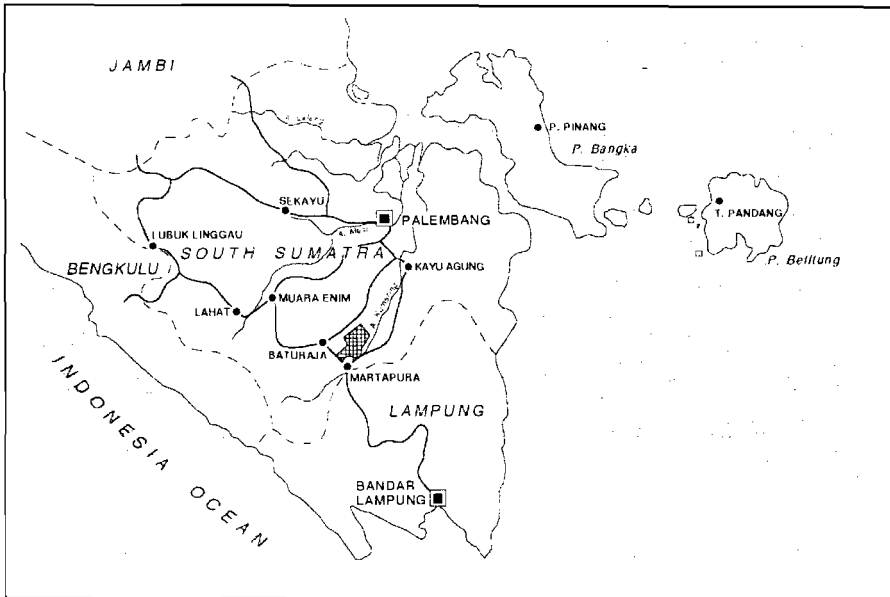


Figure 1 — Localisation de la zone d'étude.

Un nouveau modèle d'agriculture pluviale devait être mis au point pour la transmigration. En 1976, l'interfluve entre les rivières Ogan et Komering dans la province de Sumatra-Sud fut sélectionné à cet effet. Située à mi-chemin entre les villes de Baturaja et de Martapura, la zone de transmigration fut appelée Baturaja<sup>7</sup>. Les premiers colons arrivèrent en 1976.

Le projet pilote de Baturaja diffère considérablement d'un centre de transmigration classique. Le regroupement d'une vingtaine d'unités, prévues pour accueillir au total une dizaine de milliers de familles de colons, permet de

<sup>7</sup> Une enquête agro-économique détaillée fut réalisée en quatre passages pendant l'année agricole 1982-83. Elle concernait 60 familles de transmigrants. Une nouvelle enquête des mêmes familles fut réalisée en 1990 pour évaluer l'évolution des centres.

rentabiliser des infrastructures lourdes et de bonne qualité : routes d'accès goudronnées, marché permanent, usine de traitement du caoutchouc. Le financement du projet, assuré par la Banque mondiale, prévoit un budget de 5 000 à 6 000 US \$ par famille, soit près du double habituellement consenti. Ce coût élevé provient essentiellement de la qualité des prestations offertes aux colons. Comme dans les autres centres, chaque famille reçoit une maison, des outils agricoles et des ustensiles de cuisine, une aide alimentaire complète pendant douze mois, des semences et des plants, des engrais et des pesticides. Pendant cinq ans, les colons sont exemptés de taxes et bénéficient d'une assistance médicale, de la gratuité de l'enseignement, de la vulgarisation agricole et d'un encadrement administratif et « moral ». En plus des aides usuelles, chaque famille reçoit gratuitement une tête de bétail et surtout un hectare de plantation d'hévéas. Enfin, la dotation foncière habituelle de deux hectares ayant été jugée insuffisante, chaque famille reçoit un lot de cinq hectares (Irawan, 1981).

Les promoteurs du projet ne lésinent ni sur l'encadrement administratif, ni sur le soutien technique et scientifique. Agences internationales, ministères, consultants, instituts de recherche et universités interviennent à toutes les étapes du développement des centres. Planification, recherche, encadrement, rien n'est laissé au hasard.

Le système de culture proposé aux migrants appartient au type « intégré ». La dotation foncière de chaque famille se répartit en six parcelles :

- 25 ares de *pekarangan*, jardin-verger abritant la maison ;
- une parcelle de 75 ares à proximité de la maison et une de 100 ares à deux kilomètres de distance, toutes deux destinées à la production vivrière ;
- une parcelle de 100 ares de plantation d'hévéas répondant aux standards des plantations industrielles ;
- une parcelle de 100 ares destinée à être plantée en hévéas par le trans migrant lui-même ;
- enfin, une réserve foncière de 100 ares également.

Selon ses concepteurs, le modèle proposé associe harmonieusement verger, potager, cultures vivrières, culture de rente et élevage. Les fruits et légumes produits sur le *pekarangan* sont censés améliorer la diète des colons et les cultures vivrières assurer l'autosuffisance des familles en riz et en aliments secondaires (maïs, manioc, soja, arachide et haricot mungo). La plantation d'hévéas devrait permettre l'accès à un revenu monétaire. La plupart des trans migrants n'ayant aucune connaissance en hévéaculture, les plantations

sont établies par de grandes sociétés de plantation d'économie mixte : les Perseroan terbatas perkebunan (PTP)<sup>8</sup>. Les opérations de plantation et d'entretien sont confiées à une PTP pour les six premières années, les transmigrants étant employés comme journaliers occasionnels. Les plantations ne sont remises aux colons qu'à l'issue de la sixième année lorsqu'elles sont prêtes à être saignées. Enfin, l'association de l'agriculture et de l'élevage devrait permettre le développement de la traction attelée et le recours à la fumure animale pour maintenir la fertilité du sol.

Le niveau de fertilité chimique relativement médiocre des sols de Batumarta inquiète à juste titre les promoteurs du projet. En association avec l'International rice research institute (IRRI) et plusieurs universités indonésiennes, le Central research institute for agriculture (CRIA) de Bogor est chargé de mettre au point des systèmes de culture efficaces et durables pour les transmigrants. Des essais multilocaux conduits sur plusieurs années permettent ainsi de sélectionner un système de culture qui semble particulièrement performant, associant cultures intercalaires et cultures relais (Inu *et al.*, 1978).

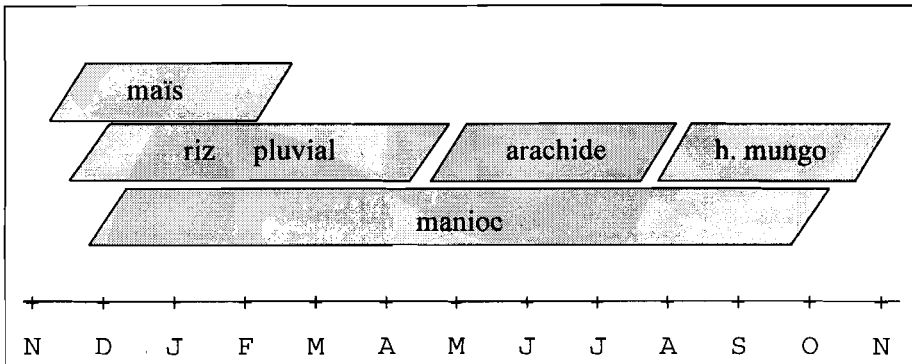


Figure 2 — Un système de culture complexe.

Dans ce système, maïs, riz pluvial, manioc, arachide et haricot mungo se relaient pour occuper le sol en permanence. Le système de culture retenu présente de nombreux avantages, autant d'un point de vue agronomique qu'économique. La culture continue, sans temps morts, facilite le contrôle des adventices — les parcelles sont propres en permanence — et le travail du sol — les sarclages réguliers maintiennent une forte porosité du sol. L'association de cultures à systèmes racinaires complémentaires réduit les pertes d'engrais

<sup>8</sup> Les PTP actuelles sont les héritières des anciennes plantations coloniales nationalisées peu après l'Indépendance.

par lixiviation. Grâce aux cultures relais — la plupart des cultures sont implantées avant que la précédente ne soit récoltée — les sols sont couverts en permanence et ainsi protégés contre l'érosion. Même si la troisième culture annuelle n'arrive pas à son terme<sup>9</sup>, elle peut être utilisée comme engrais vert pour améliorer le taux de matière organique des sols. La culture continue permet d'éviter les pointes de travail et les temps morts, faisant ainsi le meilleur usage de la force de travail familiale. Les cultures associées réduisent les risques liés à une perte totale de récolte ou à une chute brutale des cours. De toute façon, le risque de perte totale de récolte est réduit grâce à un plan de fumure soigneusement étudié et à un contrôle phytosanitaire rigoureux. Le système de culture proposé aux transmigrants est censé assurer non seulement des rendements élevés et des résultats économiques largement positifs, mais aussi une amélioration régulière du niveau de fertilité des sols (Ismail *et al.*, 1978). Heureux transmigrants.

Tableau 1  
Rendements prévus et revenus par hectare en roupies (Rp)

Culture	Rendement (kg/ha)	Revenu brut (Rp/ha)		
Riz (paddy)	2 181	327 150		
Maïs (grain)	1 457	218 550		
Manioc	14 100	282 000		
Arachide (coque)	705	246 750		
Haricot mungo	350	87 500		
Total		1 161 950		
			Revenu brut (Rp)	1 161 950
			Intrants (Rp)	144 300
			Travail (Rp)	396 700
			Revenu net (Rp)	620 950

## Batumarta, du rêve à la réalité

Les études de terrain menées en 1982-83 (un an avant la mise en saignée des premiers hévéas) ne laissent aucun doute : la situation économique — en termes de revenu familial — des migrants de Batumarta ne diffère en rien de celle des autres centres de transmigration (Levang et Marten, 1984). Surtout, les colons refusent obstinément d'adopter les systèmes de culture préconisés par les agronomes.

<sup>9</sup> Ce cas de figure est fréquent étant donné la durée moyenne de la saison des pluies à Sumatra-Sud.



Les paysans optent pour une agriculture vivrière à faible niveau d'intrants. En moyenne, ils cultivent 130 ares pendant la première saison, essentiellement du riz pluvial associé à du maïs et à du manioc en bordure de parcelle. Pendant la deuxième saison, la surface cultivée est ramenée à 80 ares de cultures variées : maïs, légumineuses, pastèques et patates douces. Aucun transmigrant ne tente une troisième saison de culture. Les rendements sont faibles, voire diminuent d'année en année. La quantité de travail consentie ne suffit pas à contrôler la prolifération des adventices. L'application d'intrants à des doses homéopathiques<sup>10</sup> ne suffit pas à compenser la médiocre fertilité des sols. La production de riz ne garantit pas l'autosuffisance des familles. Le *tiwul*, un mélange de riz et de manioc en proportions fortement corrélées aux revenus des ménages, devient l'aliment de base. Pour un revenu annuel moyen de 430 000 Rp par famille, 48 % proviennent d'activités non agricoles. Celles-ci sont indispensables à la survie des familles. Un cercle vicieux est enclenché. Contraints de quitter l'exploitation à la recherche d'emplois salariés, les paysans réduisent de préférence le temps consacré au sarclage. La baisse consécutive de la production contraint encore davantage les ménages à la recherche de revenus non agricoles.

Pour les administrateurs des centres, il ne fait aucun doute que « le refus d'adopter les systèmes de culture proposés est dû au poids des traditions, voire à l'indolence et au comportement irrationnel des paysans » (Amir Hasan Mutalib, comm. pers.). Pour les spécialistes de la Farming system research (FSR), promoteurs des systèmes de culture proposés, les causes de l'échec sont plutôt à rechercher dans le faible niveau technique des migrants et l'absence de capital.

A l'enquête, les colons confirment l'opinion des spécialistes, du moins partiellement. Pour eux, les systèmes proposés présentent deux défauts rédhibitoires : ils nécessitent trop de travail et trop d'intrants. Tous sont conscients que des sarclages plus intensifs et des quantités plus élevées d'engrais et de pesticides bénéficieraient aux cultures. Mais ils disent manquer de travail pour les premiers et de capital pour les seconds. S'il en était ainsi, les familles disposant d'une main-d'œuvre ou de capitaux plus élevés devraient se comporter différemment... ce qui n'est pas le cas. Pour les mêmes raisons, les thèmes

---

<sup>10</sup> La plupart des migrants ignorent tout de la notion de dose d'application, qu'il s'agisse d'engrais ou de pesticides. Les deux types d'intrants sont considérés comme des *obat* (remèdes) et appliqués en fonction des disponibilités financières de la famille. L'effet du remède est supposé proportionnel à la quantité appliquée. Que des doses trop faibles puissent n'avoir aucun effet, voire des effets négatifs par l'induction de résistances, est totalement ignoré.

techniques améliorant la productivité du travail et le subventionnement des intrants devraient répondre aux souhaits des paysans. Mais, même en recourant à la traction attelée pour la préparation du sol, les systèmes de culture proposés nécessitent encore 600 à 800 jours-homme par hectare, soit près du double de la force de travail familiale moyenne. Selon les données de l'enquête, jusqu'à un maximum de 50 ares cultivés, la rémunération du travail familial s'élève à 1 000 Rp par jour-homme. Pour des surfaces plus importantes, l'inévitable recours au travail salarié (1 500 Rp par jour en 1982) réduit considérablement cette rémunération (Levang et Marten, 1984). Quoique fortement subventionnées en 1982, les dépenses en intrants s'élèvent à 144 000 Rp par hectare, un montant considéré comme trop élevé par les transmigrants. Pour les spécialistes de la FSR, il correspond malheureusement à un montant minimum en culture vivrière pluviale continue.

En fait, aucun des paysans enquêtés ne manquait de temps pour effectuer des sarclages plus intensifs. Mais si le travail était disponible dans l'absolu, il ne l'était pas pour réaliser une opération rémunérant insuffisamment le travail familial. Seuls de rares migrants manquaient du capital nécessaire pour acheter des intrants. L'argent était généralement disponible, mais pas pour acheter des intrants agricoles. Là aussi, le retour sur investissement était trop aléatoire. Pour nous, il ne fait aucun doute que la principale raison de la non adoption des systèmes de culture proposés ne provient pas de leur coût en travail ou en intrants mais des risques liés à la culture. Sur un hectare de rizière irriguée à Java, peu de paysans hésiteraient à appliquer les doses recommandées d'intrants. A Batumarta, le niveau de risque n'est pas le même. Comme dans toutes les zones de transmigration récemment ouvertes, les incursions de sangliers, les proliférations de rats ou d'autres ravageurs peuvent, l'espace d'une nuit, réduire à néant l'espoir d'une récolte.

Le système de culture pratiqué par les transmigrants n'est pas plus efficace que celui préconisé par les agronomes. Mais il est moins risqué. A Batumarta, face à son champ ravagé par une horde de sangliers, le colon javanais s'estime heureux de n'avoir perdu que sa récolte. S'il avait épandu l'engrais recommandé, il aurait des dettes en plus.

Batumarta survit. Après cinq années de vaches maigres, de nombreuses familles parlent d'abandonner le centre, de rentrer à Java ou à Bali. Mais pour retrouver quoi ? La grande majorité des migrants ne possède plus rien dans les zones d'origine<sup>11</sup>. A Batumarta, ils possèdent cinq hectares de terre, malheu-

---

<sup>11</sup> La vente de leurs biens ne représente qu'un maigre pécule pour les transmigrants. En quittant leur village, ils renoncent le plus souvent à un éventuel héritage au profit d'un membre de la fratrie.

reusement peu fertiles mais bien à eux. L'amélioration de statut social lié à la propriété foncière vaut bien quelques sacrifices. Les hévéas devraient prochainement entrer en production. Qui sait si la vente de latex ne permettrait pas d'améliorer la situation financière des colons ?

## Tant que je gagne, je saigne

L'hévéa va changer la vie des colons au-delà de leurs espérances. Pendant les six premières années, ils ne prêtaient guère attention à ces plantations qui devaient leur revenir un jour. De nombreux migrants n'avaient vu leur premier hévéa qu'à leur arrivée à Sumatra. La PTP chargée de la mise en place des plantations d'hévéas faisait occasionnellement appel à la main-d'œuvre salariée, surtout pendant les trois premières années de croissance des arbres. Les chefs de famille, préférant se consacrer à la culture vivrière, déléguaient habituellement leur épouse. Plus tard, vers la sixième année, c'est leurs grands enfants qu'ils envoyaient à l'école de saignée pour apprendre les techniques de récolte et de greffage.

Les lots de plantation ne sont remis aux transmigrants qu'à l'issue de la sixième année. Dès le début de la saignée, et ce malgré une production encore faible, la vente de latex rapporte en moyenne 30 000 Rp par mois aux familles de migrants. A raison de 4 à 5 heures de travail par jour de récolte de latex, les colons doublent leur revenu monétaire dès la première année de production. Dès lors, les mentalités évoluent au rythme des saignées. Vite, trop vite. L'hévéa présente de nombreux avantages sur les autres cultures. La production en continu assure un revenu régulier au producteur. Une forte concurrence entre usiniers dans la province de Sumatra-Sud garantit au paysan l'obtention d'un prix élevé pour son produit (Nancy *et al.*, 1989). La faible quantité de travail nécessaire pour la récolte se traduit par une forte rémunération de la journée de travail. Enfin et surtout, plus vous saignez... plus vous gagnez.

A ce jeu-là, les cultures vivrières résistent mal. L'hévéaculture fixe le coût d'opportunité du travail familial à un seuil incompatible avec la culture vivrière pluviale. Les migrants se rendent rapidement compte qu'il est plus avantageux d'acheter son riz que de le produire. En moins de deux ans après l'ouverture des panneaux de saignée, riz pluvial, maïs et manioc disparaissent du paysage. L'*alang-alang* (*Imperata cylindrica*) réenvahit les parcelles abandonnées.

D'abord inquiets du peu d'intérêt manifesté par les transmigrants pour l'hévéaculture, les « experts » trouvent maintenant qu'ils s'y intéressent un peu trop.

La consommation d'écorce est jugée abusive. Pour accroître leurs gains immédiats, les migrants accélèrent le rythme de saignée. Des trois saignées hebdomadaires recommandées, ils passent à une, voire deux saignées par jour. Les plus zélés sont surpris la nuit à saigner les arbres de leurs voisins. Passés les premiers excès, l'exploitation se stabilise à un jour de repos pour quatre jours consécutifs de saignée. Ainsi, en huit ans de production, l'écorce primaire est épuisée alors qu'elle devait durer deux fois plus longtemps.

Exploitation abusive, gaspillage, massacre, les experts manquent de mots pour qualifier le comportement « irrationnel » des paysans. Batumarta est régulièrement cité en exemple à ne pas suivre. Le centre est à l'origine des règles extrêmement coercitives mises en place dans tous les projets Nucleus estate and smallholders (NES)<sup>12</sup> développés après 1983 (Gouyon, 1991). Les nouvelles directives sont claires : les paysans, jugés incapables de gérer correctement le capital mis à leur disposition par le gouvernement, doivent être rigoureusement encadrés par le personnel des plantations.



## Reculer pour mieux sauter

Pour les spécialistes de l'hévéaculture, les paysans tuent la poule aux œufs d'or. A cause de la période incompressible de six ans avant l'entrée en production, saigner modérément sur une longue période procure une meilleure rémunération du capital investi, la phase de replantation intervenant moins souvent. A Batumarta, les transmigrants font un calcul différent : « à quoi bon saigner modérément pour obtenir un revenu tout aussi modéré pendant trente ans, alors qu'on peut obtenir un revenu élevé pendant quinze ans ? ».

En optant pour la deuxième solution, les colons sont rapidement en mesure d'améliorer leur habitat. Lors de la deuxième enquête, sur l'ensemble de l'échantillon, seulement 25 % des familles vivaient encore dans la maison fournie par le projet ; 33 % avaient reconstruit une maison pour un montant compris entre 500 000 Rp et 2 millions de roupies<sup>13</sup> ; 42 % avaient construit la maison de leurs rêves avec des budgets compris entre 2 et 13 millions de roupies. Les dépenses d'habitat les plus modestes concernent pour l'essentiel les familles ayant à faire face à de lourdes charges de scolarisation.

Scolarisation et habitat ne sont pas les seules charges importantes des familles. Pendant les sept années écoulées entre les deux enquêtes :

<sup>12</sup> Les projets NES associent un « noyau » formé par une plantation industrielle à un « plasma » de petits planteurs installés en périphérie.

<sup>13</sup> En 1994, 1 \$ US équivaut approximativement à 2 000 Rp.

- 63 % des familles avaient dépensé entre 100 000 Rp et 2 250 000 Rp pour rendre visite à leurs parents restés à Java ou à Bali ; certains migrants vont jusqu'à financer l'installation de leurs proches à Sumatra ;
- 65 % des familles avaient marié un ou plusieurs enfants pour des montants compris entre 300 000 Rp et 4 millions de roupies ; désormais, un mariage à moins de 500 000 Rp est considéré comme un mariage à la sauvette ; d'autres dépenses à caractère social, comme les *selamatan* (repas communiels) connaissaient également une inflation importante puisqu'elles passaient de 50 000 Rp en moyenne en 1983 à plus de 500 000 Rp en 1990 ;
- 30 % eurent à faire face à des dépenses de santé importantes allant de 100 000 Rp à 1 500 000 Rp ; trois familles, dans l'impossibilité d'emprunter la somme indispensable à l'hospitalisation de l'un de ses membres, furent contraintes de vendre une partie de leur dotation foncière ;
- enfin, 70 % des familles avaient établi de nouvelles plantations d'hévéas sur les terrains initialement attribués. Entre 1987 et 1990, la surface en plantations a plus que doublé dans la région de Batumarta. L'hévéa remplace l'*alang-alang* dans les anciens vivriers. L'hévéa grignote les derniers lambeaux de forêt secondaire. L'hévéa gagne jusque dans les *pekarangan* autour des maisons. Loin de tuer la poule aux œufs d'or, les colons sont parvenus à la reproduire.

La reconversion des transmigrants est surprenante. Pendant les six ans suivant son arrivée, Putu Sedane avait assuré la survie de sa famille avec 10 000 Rp par mois, le manioc remplaçant le riz, et le piment complétant la diète. Aujourd'hui, il possède 12 ha dont 4 ha de plantations d'hévéas en production. Son revenu mensuel dépasse le million de roupies. En six ans, des paysans javanais ou balinais ont abandonné la culture vivrière pour se transformer en planteurs produisant pour le marché international. Ignorant tout de l'hévéaculture à leur arrivée sur les centres, techniques de récolte et de greffage n'ont maintenant plus de secrets pour eux. La qualité de l'habitat, le nombre de télévisions, de motocyclettes et d'enfants à l'université sont autant de témoignages de l'élévation du niveau de vie des familles.



## Les leçons de Batumarta

Dans le projet pilote de Batumarta, rien ne marcha comme prévu. *Ex post*, il ne fait aucun doute que le système de culture proposé par les agronomes ne

répondait pas aux vœux des paysans. Il n'y a là rien de très nouveau<sup>14</sup>. Le plus ennuyeux, cependant, est que le modèle avait justement été conçu pour répondre aux attentes des paysans.

Mettre au point un système de culture efficace pour des centres de transmigration implantés dans des zones de fertilité médiocre à Sumatra ou à Kalimantan est un véritable défi. Depuis les débuts du programme, le scénario est resté inchangé. Immédiatement après le défrichement, les colons obtiennent une ou deux récoltes correctes de riz pluvial. Mais, peu après, l'infestation par les adventices et la baisse de fertilité chimique du sol se traduisent par une diminution importante des rendements. Après cinq ans, voire moins, la plupart des migrants renoncent à l'agriculture ou abandonnent les centres. Dans les zones de fertilité médiocre, ni la transmigration ni les transmigrants n'ont su mettre au point des systèmes de culture vivrière pluviale durables, sur les plans agronomique et économique. En Malaisie, dans des conditions environnementales identiques, la Federal land development authority (FELDA) a mis au point des systèmes très efficaces, mais exclusivement basés sur des cultures pérennes comme le palmier à huile ou l'hévéa. Mais, dans les années 1970, en Indonésie, le consensus voulait que de tels systèmes soient inadaptés à des paysans javanais et rejetés par des colons.

La perception du paysanat javanais par les autorités répond assez bien à la célèbre définition d'Alfred Kroeber : « Peasants [...] constitute part-societies with part-cultures » (Kroeber, 1948). Il est communément admis que les paysans souhaitent produire leur nourriture sur leur propre exploitation, ou pour reprendre les termes d'Eric Wolf : « peasants carry on agriculture as a means of livelihood, not a business for a profit » (Wolf, 1957). L'image dominante du paysan javanais parmi les décideurs indonésiens correspond parfaitement à la vision des « théoriciens homogénéistes »<sup>15</sup> telle que résumée par Frank Cancian : « peasants are poor, subjugated, self-sufficient, isolated, homogenous, corporate, resistant to change and socially intense » (Cancian, 1989). Même s'ils n'ont pas lu l'abondante littérature sur les sociétés paysannes depuis Kroeber (1948), Redfield (1956), Wolf (1966), Shanin

<sup>14</sup> L'incompréhension entre agronomes et paysans est une vieille histoire. Jusqu'à la première moitié du XVIII<sup>e</sup> siècle, il n'y a pas de réelle opposition entre le cultivateur éduqué et le paysan moyen (Young, 1786). En France, le terme « agronome » apparaît pour la première fois entre 1760 et 1762. A l'évidence, le mot nouveau véhicule une idéologie nouvelle et, à partir de là, l'agronomie en tant que science s'opposera à la routine paysanne (Sigaut, 1976). Dès lors, il sera implicitement admis que les agronomes promeuvent les innovations et le progrès, alors que les paysans s'accrochent désespérément à la tradition et au passé.

<sup>15</sup> Frank Cancian considère Eric Wolf, George Foster et A.V. Chayanov comme des théoriciens de l'homogénéité des sociétés paysannes.

(1971) et les théoriciens de l'anthropologie économique qu'ils soient « substantivistes » ou « formalistes »<sup>16</sup>, les agronomes chargés de mettre au point des systèmes de culture adaptés pour les transmigraants de Batumarta n'étaient pas ignorants des spécificités paysannes. Ils conçurent délibérément leurs systèmes de culture de manière à ce qu'ils soient à la fois techniquement efficaces et acceptés par les colons javanais.

Leur perception du paysanat javanais explique les choix retenus. Tout d'abord, il est communément admis que les paysans, en général, recherchent l'autosuffisance et que les paysans javanais, en particulier, sont des riziculteurs. En conséquence, le riz, base de l'alimentation, doit être la clé de tout système de culture ; l'exploitation doit également procurer des produits vivriers secondaires, des fruits et des légumes pour compléter la diète des familles. En second lieu, les paysans étant rétifs au changement, le système de culture proposé correspond plus ou moins à un *tumpang sari* amélioré, un système traditionnel javanais associant riz, maïs et manioc. Ce choix implique un lourd investissement en travail familial tout au long de l'année, les diverses associations ne permettant pas de recourir aux herbicides. Troisièmement, les paysans sont pauvres. Ils ne peuvent exploiter que de petites unités en faisant appel à la main-d'œuvre familiale, la plupart des opérations étant réalisées manuellement ou en traction attelée. L'achat d'intrants doit être limité autant que possible. Toutefois, dans les conditions locales, le recours à l'engrais s'avère indispensable non pour augmenter les rendements mais simplement pour les maintenir à un niveau acceptable. Une source de revenu monétaire (hévéa) est donc indispensable. Enfin, les paysans sont homogènes. Le même modèle sera donc proposé à tous, sans tenir compte d'éventuelles différences dans la composition et la taille des familles, les préférences individuelles, etc.

Pour toutes ces raisons, les spécialistes de la FSR ont mis au point un système associant sur la même exploitation, un secteur vivrier à faible rémunération, une plantation pérenne à forte rémunération et un peu d'élevage. Cette vision idyllique de l'exploitation agricole relève plus d'un rêve de bureaucrate que d'un idéal de paysan. La rapidité à laquelle les migrants javanais ont abandonné la culture vivrière à Batumarta a surpris plus d'un observateur. L'attachement du paysan javanais à l'autosuffisance ne serait-il qu'un mythe ? En fait, les paysans (comme les non paysans d'ailleurs) ne recherchent pas l'autosuffisance mais la sécurité. Produire sa propre nourriture pour assurer sa sécurité est souvent le seul choix qui s'offre à eux. A l'inverse, même le plus obstiné des riziculteurs ne résistera pas à l'attrait d'un revenu régulier, élevé et

---

<sup>16</sup> Cf. Dalton (1971) pour une bibliographie complète sur le sujet.

sûr. L'exemple de Batumarta porte un rude coup à l'image idéalisée du paysan produisant sa propre nourriture.

Pour de nombreux agronomes, « l'accroissement ou le maintien de la fertilité du sol constitue l'objectif principal de tout système de culture conçu pour être durable » (Lorenz et Errington, 1991). Dans les petites exploitations ne pouvant pas recourir à des salariés, l'ajustement entre disponibilité et besoins en travail de la main-d'œuvre familiale revêt une importance fondamentale. Les agronomes sont particulièrement attentifs à la viabilité technique des systèmes et aux calendriers de travail. Par contre, ils ignorent trop souvent l'un des aspects essentiels de la viabilité économique : la rémunération du travail familial. Faut-il vraiment s'interroger sur les raisons de la non-adoption des systèmes de culture proposés à Batumarta ? Que dire de ces calendriers de travaux mis au point à l'aide de modélisations informatiques complexes ? Merveilleux systèmes éliminant tout à la fois les pointes et les creux de travail (Lorenz et Errington, 1991). Systèmes durables où trois cultures successives protègent le sol en permanence...

Le paysan javanais travaillerait-il pour son plaisir ? Le faible coût de la main-d'œuvre a dû faire croire à certains que le paysan travaillait pour rien. Pourtant, les paysans javanais ne sont pas moins attentifs que d'autres à la rémunération de leur travail. Toute proposition visant à gagner le double en travaillant deux fois plus a peu de chances d'être retenue, sauf bien sûr si la subsistance immédiate de la famille est en jeu. Toute proposition permettant de gagner plus en travaillant autant éveille l'intérêt des paysans. Une proposition permettant de gagner autant en travaillant moins est immédiatement adoptée. Le rêve le plus doux de tout paysan n'est-il pas de limiter son travail au comptage des sacs de riz livrés avec déférence par de nombreux métayers ? Les paysans n'ignorent rien des coûts d'opportunité. À Batumarta, pendant les premières années, investir du travail dans la culture vivrière n'était intéressant que pendant la première saison de culture. Les résultats de la seconde et de la troisième saisons étaient si aléatoires que la plupart des colons optaient pour le travail à l'extérieur. Plus tard, dès que les hévéas entrèrent en production, la culture vivrière comme le travail à l'extérieur perdirent leur attrait. Batumarta porte un rude coup à l'image idéalisée du paysan « pour qui l'agriculture représente un mode de vie plutôt qu'une source de revenu » (Wolf, 1957).

Mais, si le paysan est si attentif que cela à la rémunération de son travail, pourquoi refuse-t-il avec obstination d'appliquer les doses d'intrants recommandées ? L'augmentation de la production améliorerait considérablement la rémunération du travail. Interrogé, le migrant répond invariablement : « Je n'ai pas d'argent ». Pourtant, les intrants sont largement subventionnés et le



crédit de type BIMAS fonctionne plutôt bien. Dans d'autres centres de transmigration, par exemple, l'arrivée de l'irrigation s'est immédiatement traduite par le recours massif à des intrants pourtant jugés trop chers la saison précédente (Levang, 1995). L'irrigation réduit considérablement les risques liés à la culture. L'application de doses élevées d'intrants en culture pluviale n'est pas trop chère mais elle est trop risquée. Lorsque le colon répond qu'il n'a pas d'argent, il veut dire : « Je n'ai pas d'argent à risquer dans l'achat d'intrants ».

L'association agriculture-élevage ne résiste guère mieux à l'épreuve des faits. Pour les paysans, l'élevage ne présente pas que des avantages. Le fumier produit par une ou deux têtes de bétail ne suffit pas pour fertiliser de grandes parcelles et la charge de travail<sup>17</sup> représentée par l'élevage bovin réduit considérablement l'intérêt de la traction attelée. A Batumarta, indépendamment de sa composition, chaque famille s'est vue attribuer une tête de bétail. Après une année seulement, toutes les familles à faible force de travail<sup>18</sup> avaient revendu leur bovin. Plus tard, dès que les revenus procurés par l'hévéa permirent de renoncer à la culture vivrière, tous les migrants de Batumarta vendirent les bovins offerts par le projet.

Aujourd'hui, les concepteurs de Batumarta admettent volontiers qu'ils ont commis une erreur en voulant associer un secteur vivrier à faible rémunération à une culture de rapport à forte rémunération sur la même exploitation. Ils sont également convaincus que les paysans javanais ne recherchent pas à tout prix leur autosuffisance alimentaire et que des projets exclusivement basés sur des cultures de rapport peuvent convenir à des transmigrants. Mais par-dessus tout, ils sont convaincus du comportement « irrationnel » des paysans. Comment, en effet, qualifier autrement ce comportement anti-économique, ce gaspillage éhonté d'écorce, cette surexploitation des hévéas ? Pour éviter que de tels excès ne se renouvèlent, les experts recommandent la mise en place de structures d'encadrement particulièrement denses.

Le sujet a fait couler beaucoup d'encre. La rationalité paysanne est l'un des thèmes récurrents de l'anthropologie économique. Il ne fait aucun doute que l'optimisation du revenu du capital investi est un objectif d'entrepreneur capitaliste et non un objectif de paysan (Mendras, 1976). Pour le colon de Batumarta, une gestion « correcte » du capital offert par le gouvernement est une gestion lui permettant de réaliser ses objectifs prioritaires : la subsistance

---

<sup>17</sup> Ne pouvant laisser divaguer ses bêtes, le paysan sacrifie en moyenne deux heures de travail par jour (ou 91 jours-homme par an) pour les nourrir.

<sup>18</sup> Pour lesquelles le recours à la traction animale serait le plus utile.

de la famille, la scolarisation des enfants, l'amélioration du cadre de vie et l'élévation du niveau de vie.

Garantir la subsistance des siens reste bien évidemment la première priorité de tout chef de famille. Pour atteindre cet objectif, la préférence ne va pas aux activités agricoles mais à des sources de revenus plus sûres et plus régulières (salarial, commerce, artisanat). Cependant, l'activité agricole représente souvent le seul choix possible dans les zones de transmigration. Plus qu'un moyen de production, la propriété foncière tient lieu d'assurances maladie et retraite. Si la maladie, l'invalidité ou la vieillesse privent le journalier de toute source de revenu, le paysan possédant une rizière n'aura aucun mal à trouver un métayer lui rétrocédant la moitié de la récolte. Qui plus est, comme dans toutes les sociétés agraires, le statut social du paysan javanais dépend étroitement des propriétés foncière et immobilière (Koentjaraningrat, 1985). Les paysans ne possédant ni maison ni terres — appelés *kumpulan* ou *nusup* — occupent le bas de l'échelle sociale. Les *setengah gogol* ou demi-paysans possèdent leur maison et un jardin, mais pas de rizière. Le sommet de l'échelle est occupé par les *gogol* ou vrais paysans qui possèdent à la fois maison, jardin et rizière (Pelzer, 1945). Parmi les *gogol*, les *tiyang baku*<sup>19</sup>, ou descendants des fondateurs d'un village, bénéficient du statut social le plus élevé. Ainsi, même s'il n'améliore pas toujours son niveau de vie, en rejoignant la transmigration, le paysan sans terre accède directement à l'échelon le plus élevé de la société paysanne javanaise.

La scolarisation est considérée par tous les paysans comme le meilleur moyen d'assurer l'avenir de leurs enfants. Les parents sont prêts à tous les sacrifices pour que leur progéniture accède à l'enseignement secondaire et pourquoi pas supérieur<sup>20</sup>. Que leurs enfants entrent dans la fonction publique reste leur vœu le plus cher. Les motivations économiques sont secondaires lorsque l'on connaît les salaires en vigueur dans la fonction publique indonésienne. Mais celle-ci représente ce qu'il y a de mieux en matière de sécurité et de statut social. Les fonctionnaires bénéficient de salaires réguliers, de la sécurité de l'emploi et de retraites<sup>21</sup>. Enfin, le prestige des anciens *priyayi* (le même terme désignait autrefois hauts fonctionnaires et aristocrates) rejailit toujours sur les fonctionnaires modernes.

<sup>19</sup> La terminologie varie d'une région à l'autre de Java, mais la hiérarchie reste la même.

<sup>20</sup> La scolarisation des enfants est sans conteste le plus grand succès du programme de transmigration.

<sup>21</sup> Sans parler d'éventuels extras.

## Batumarta incompris ?

Les 1 865 US \$ par famille, investis en écorce d'hévéa par l'Etat, ont été essentiellement réinvestis en statut social<sup>22</sup> par les transmigrants : extension du domaine foncier, habitat, dépenses à caractère festif et scolarisation des enfants. Le placement de l'Etat n'est pourtant pas si mauvais que certains le laissent entendre. Sans ce cadeau initial, jamais les transmigrants n'auraient été en mesure d'investir dans l'hévéaculture. Grâce à ce cadeau, six ans ont suffi pour réaliser les rêves les plus fous de milliers de familles. Six ans ont suffi pour les intéresser à l'hévéaculture, leur en apprendre les techniques et les transformer en planteurs. Aujourd'hui, Batumarta est devenu un important centre de production de latex, mais aussi de plants greffés. En six ans, des paysans visant à l'autosuffisance se sont transformés en agriculteurs capitalistes produisant pour le marché international.

Batumarta avait été conçu comme un projet pilote. Même si rien ne s'est déroulé conformément aux prévisions, aujourd'hui Batumarta représente un succès hors pair, du moins pour les transmigrants. Les spécialistes de l'hévéaculture sont d'un avis différent. Pour eux, le seul aspect positif du projet est l'administration de la preuve que des systèmes basés exclusivement sur des cultures pérennes conviennent aux transmigrants. Mais, surtout, le projet démontre que l'on ne peut pas confier des plantations industrielles à des paysans. Ainsi, dans tous les projets de transmigration de type NES, postérieurs à Batumarta, les sociétés de plantation ont mis en place des encadrements particulièrement coercitifs pour éviter la surexploitation des hévéas.

Le cadeau a fait place à un crédit remboursé sur la récolte. Le rythme de saignée adopté correspond davantage aux standards en vigueur dans les plantations industrielles gérées comme des entreprises capitalistes. Aux paysans, déduction faite du remboursement du crédit, des intrants et des frais de gestion, il ne reste guère que 75 000 Rp de revenu mensuel par hectare (contre 200 000 Rp en moyenne par hectare à Batumarta, mais sans remboursement de crédit, ni charges). Dans la logique d'entreprise capitaliste qui est celle des sociétés de plantation, les transmigrants ne sont pas considérés comme des paysans mais comme de simples ouvriers agricoles. Qui plus est, des ouvriers agricoles à qui l'on demande de rembourser l'investissement productif et les charges de gestion. La situation est loin de convenir aux migrants. Privés de toute liberté dans l'organisation de leur travail, ils n'ont aucun contrôle sur les dépenses facturées d'office par la société. Ils n'ont

<sup>22</sup> Les éléments de statut social représentant également des sources de revenus.

même pas la liberté élémentaire de tout ouvrier agricole : celle de chercher son bonheur ailleurs. Propriétaires d'une plantation qu'ils ne contrôlent pas réellement, leur fuite serait trop pénalisante.

Pour être sûres de rentrer dans leurs fonds, les sociétés de plantation maintiennent jalousement leur monopole de la commercialisation du caoutchouc. Les paysans, bien évidemment, cherchent à vendre au meilleur prix et à éviter des prélèvements sur lesquels ils n'ont aucune prise. Ce climat de suspicion dégénère fréquemment en démonstrations excessives d'autorité de la part des sociétés de plantation. Menaces, parfois assorties de violence, emprisonnements, voire bastonnades publiques, sont fréquentes dans certains projets. Loin d'atteindre leur objectif, ces excès radicalisent l'attitude des migrants.



## Conclusion

Batumarta a probablement suscité autant d'espoirs que de déceptions. Les concepteurs du projet, en particulier, n'ont vu pratiquement aucune de leurs prévisions se vérifier. Est-ce par amertume que certains ont conclu à l'échec du projet ? L'image mythique que les agronomes avaient du paysannat s'est avérée erronée. Il est clair que les paysans ont refusé de se laisser enfermer dans le moule que leur avaient préparé les experts. Pour corriger le tir, était-il nécessaire de renforcer le moule ? N'aurait-il pas été plus intéressant de remanier le moule en tenant compte des souhaits des paysans et des formes paysannes d'organisation économique ?

Le caractère atypique de Batumarta ne facilite pas les interprétations. L'étude de cas démontre surtout que les paysans ne sont pas paysans par choix mais par nécessité. L'agriculture ne doit être considérée ni comme une source de revenu privilégiée ni comme un mode de vie mais plutôt comme un moyen de survie pour la famille. La sécurité est le maître mot. La propriété foncière sécurise l'activité, l'autosuffisance assure l'alimentation, les dépenses sociales renforcent la solidarité et la résistance au changement n'est que le moyen d'éviter des risques jugés inacceptables. L'importance du changement n'est pas en cause. Par exemple, un changement mineur comme l'intensification du *tumpang sari* traditionnel fut rejeté par les migrants car il impliquait un accroissement des risques. Au contraire, tous les migrants adoptèrent sans hésitation un changement complet de système de production. La culture vivrière était risquée alors que l'hévéaculture procurait des revenus élevés, réguliers et sûrs.

Batumarta démontre qu'en six ans à peine des paysans privilégiant leur autosuffisance peuvent se transformer en agriculteurs capitalistes produisant pour

le marché mondial. Il s'agit là d'une simple constatation et non d'une prise de position idéologique. Nous ne cherchons ni à transformer les paysans en agriculteurs capitalistes, ni à promouvoir Batumarta au rang de modèle à suivre. Par contre, l'étude de cas souligne à l'envi la primauté du comportement économique des paysans dans le choix des systèmes de culture.

## Références bibliographiques

- BUDIARDJO C., 1986 –  
The politics of transmigration. *The Ecologist*, 16 (2-3) : 111-116.
- CANCIAN F., 1989 –  
Economic behavior in peasant communities.  
*In* : Plattner S. (éd.) : *Economic anthropology*.  
Stanford University Press, Stanford,  
pp. 127-170.
- COLCHESTER M., 1986 –  
Unity and diversity : Indonesia's policy towards  
tribal peoples. *The Ecologist*, 16 (2-3) : 89-110.
- DALTON G., 1971 –  
*Economic anthropology and development*.  
Basic books, New York.
- DOVE M.R., 1986 –  
The ideology of agricultural development in  
Indonesia. *In* : MacAndrews C. (éd.) : *Central  
government and local development in  
Indonesia*. Oxford University Press, Singapore,  
pp. 221-247.
- GOUYON A., 1991 –  
*Farming and social changes in South  
Sumatra : a historical perspective*. Indonesia  
study group and society for international  
development, Canberra, 28 pages.
- GOUYON A.,  
FORESTA H. DE, LEVANG P., 1993 –  
Does 'jungle rubber' deserve its name ? An  
analysis of rubber agroforestry systems in  
southeast Sumatra. *Agroforestry Systems*,  
22 : 181-206.
- HARDJONO J., 1977 –  
*Transmigration in Indonesia*. Kuala Lumpur,  
Oxford University Press, 116 pages.
- INU G.I. et al., 1978 –  
*Cropping systems research in transmigration  
areas, Southern Sumatra*. Bogor, Central  
research institute for agriculture, 112 pages.
- IRAWAN H., 1981 –  
*Baturaja Transmigration Project, South-  
Sumatra*. Directorate general of transmigration,  
Jakarta, 12 pages.
- ISMAIL I.G., SUPRAPTO, ARJASA S.,  
SASA J., EFFENDI S., MCINTOSH J.L., 1978 –  
*Cropping systems research in transmigration  
areas. Southern Sumatra*. Annual report,  
Central research institute for agriculture, Bogor,  
112 pages.
- KOENTJARANINGRAT, 1985 –  
*Javanese Culture*. Institute of Southeast Asian  
Studies, Oxford University Press, Singapore,  
550 pages.
- KROEBER A., 1948 –  
*Anthropology*. Harcourt Brace, New York.
- LEVANG P., MARTEN R., 1984 –  
*Batumarta. Agro-economic survey of a  
transmigration centre in South-Sumatra*.  
Orstom, Transmigration project, Jakarta,  
100 pages.
- LEVANG P., 1993 –  
Jachère arborée et culture sur brûlis dans les  
îles extérieures de l'archipel indonésien. *In* :  
Floret C., Serpantié G. (éd.) : *La jachère en  
Afrique de l'Ouest*, Montpellier, Orstom,  
pp. 179-192.
- LEVANG P., 1995 –  
*Tanah sabrang (la terre d'en face). La  
transmigration en Indonésie : permanence*

*d'une politique agraire contrainte*. Thèse de Doctorat. ENSA de Montpellier, 461 pages.

LORENZ C., ERRINGTON A., 1991 – Achieving sustainability in cropping systems : the labour requirements of a mulch rotation system in Kalimantan, Indonesia. *Trop. Agric. (Trinidad)*, 68 (3) : 249-254.

MENDRAS H., 1976 – *Sociétés paysannes. Eléments pour une théorie de la paysannerie*. Armand Colin, Paris, 238 pages.

NANCY C., GOUYON A., ANWAR, NEGRI M., 1989 – Perspectives d'amélioration de la filière caoutchouc naturel en Indonésie : analyse de la filière et comportement des agents (Sumatra-Sud). In : Griffon M. (éd.) : *Economie des filières des régions chaudes. Formation des prix et échanges agricoles*. Montpellier, Cirad, pp. 805-828.

PELZER K.J., 1945 – *Pioneer settlement in the Asiatic tropics*. American Geographical Society, New-York, 290 pages.

REDFIELD R., 1956 – *Peasant society and culture. An anthropological approach to civilization*. The University of Chicago Press, Chicago, 163 pages.

SHANIN T., (éd.), 1971 – *Peasants and peasant society*. Penguin Education, Harmondsworth, 448 pages.

SIGAUT F., 1976 – Changements de point de vue dans l'agronomie française du XVIII<sup>e</sup> au XX<sup>e</sup> siècle. De l'art à la technologie. *Journal d'Agric. Tropicale et de Botanique Appliquée*, 23 (1-2-3) : 19-32.

SUKARNO, 1964 – *Transmigration as a matter of life or death for nation building*. Department of Information, Jakarta.

WOLF E.R., 1957 – Closed corporate peasant communities in Mesoamerica and Central Java. *Southwestern Journal of Anthropology*, 13 (1) : 1-18.

WOLF E.R., 1966 – *Peasants*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 116 pages.

WORLD BANK, 1988 – *Indonesia, the transmigration program in perspective*. World Bank Country study, Washington D.C., 227 pages.

YOUNG A., 1786 – On a method of fattening oxen in Limousin, France. *Annals of Agriculture and Other Useful Arts*, 8 : 325-332.

# Incertitude, contraintes et pratiques des producteurs de pomme de terre dans la Sierra Madre orientale au Mexique<sup>1</sup>

Anne Biarnès

Jean-Philippe Colin

## Introduction

La production de la pomme de terre au Mexique répond à une logique de culture de rapport. Destinée au marché intérieur urbain, hautement spéculative en raison d'une forte variabilité des prix, elle se caractérise par une concurrence interrégionale marquée et par un dualisme de la production. On peut en effet distinguer deux catégories de production : d'une part celle de variétés améliorées de pommes de terre blanches provenant pour l'essentiel de grosses unités de production fortement mécanisées, installées dans les plaines irriguées du nord et du centre du pays ; d'autre part, celle de variétés locales dites « de couleur » provenant de petites exploitations, faiblement dotées en terre et capital, des zones montagneuses du centre du pays. En 1993, cette production de variété de couleur représentait environ 30 % d'un volume total national de 1,1 million de tonnes et provenait, pour plus de la moitié, de la Sierra Madre orientale (Etats de Puebla et de Veracruz).

---

<sup>1</sup> Ce texte reprend les grandes lignes d'un article paru en 1996 dans les Cahiers des Sciences humaines (vol 32, n°3) sous le titre « Incertitude, marginalité et pratiques paysannes. Une étude de cas dans la Sierra Madre orientale (Mexique) ».

De manière générale, la culture de la pomme de terre au Mexique est marquée par un degré sensible de risques<sup>2</sup> : risques agronomiques liés à une maîtrise technique difficile ; risques économiques également, du fait de la conjonction d'une forte variabilité des prix et de coûts de production élevés. Dans la Sierra, les risques agronomiques sont particulièrement élevés du fait d'une forte pression parasitaire et des aléas climatiques. Cependant, en raison des possibilités réduites de diversification, la pomme de terre reste la culture dominante des étages d'altitude.

Cette situation originale — culture hautement spéculative, pratiquée par des producteurs minifundistes, dans un milieu naturel contraignant — pose la question de la reproduction des exploitations en condition de fortes contraintes et d'incertitude. En d'autres termes, quelles sont les pratiques techniques et économiques mises en oeuvre par les agriculteurs de la Sierra pour faire face à cette situation ?

Notre analyse se situe dans la lignée des études empiriques consacrées au risque dans l'agriculture. Elle repose sur une caractérisation de la situation des acteurs, des risques encourus, des pratiques et de leur efficacité<sup>3</sup>. Elle resitue les pratiques agricoles dans un ensemble plus large de pratiques permettant d'assurer une relative adaptation aux aléas de la production et de la commercialisation.

La première partie du texte présentera rapidement les contraintes auxquelles est soumise la production — contraintes liées au milieu naturel et aux structures de production. La deuxième partie évoquera tant les risques pesant sur la production que l'intérêt économique de cette production, malgré de tels risques. Les pratiques mises en oeuvre seront présentées dans la troisième partie. Enfin, une dernière partie permettra d'évaluer les marges de manoeuvre des producteurs.

## ■ Une production sous contraintes

La chaîne montagneuse de la Sierra Madre orientale s'étend face au golfe du Mexique. Elle sépare le tropique humide, à l'est, de l'altiplano, à l'ouest. Ce

<sup>2</sup> Dans ce texte, risque et incertitude sont considérés comme synonymes et correspondent à l'incertitude, selon l'acception de F. Knight (*Risk, Uncertainty and Profit*. Boston, Houghton Mifflin Company, 1921). Ce dernier distingue le risque, probabilisable objectivement ou subjectivement, de l'incertitude, non probabilisable.

<sup>3</sup> Les données sur lesquelles s'appuie cette étude sont précisées dans Biarnès (1995) et Colin (1995) : suivi de 10 exploitations sur un ou deux cycles agricoles et 50 enquêtes approfondies dans un village ; 250 enquêtes à passage unique dans sept villages. Les données chiffrées sont issues de ces 250 enquêtes.



dernier est un immense plateau au climat froid et sec situé à 2 400 m d'altitude moyenne. La principale et la plus ancienne zone de production de pomme de terre de couleur de la Sierra est localisée sur le versant occidental, entre les volcans Cofre de Perote (4 280 m), dans l'Etat de Veracruz, et Pico de Orizaba (5 670 m), dans l'Etat de Puebla (fig. 1).



Figure 1 — Carte de localisation.

L'essor de cette zone de production s'est amorcé au début du XXe siècle en liaison avec la Réforme agraire et le développement d'un marché pour la pomme de terre (Bouquet, 1995 ; Biarnès et Bouquet, 1995). La Réforme agraire qui a fait suite à la Révolution de 1910 a permis la dotation de petits producteurs et d'ouvriers agricoles en terres d'altitude jusqu'alors couvertes de forêt. Le développement d'un marché a été induit par le processus de croissance urbaine et le développement des moyens de transport. L'essor de la culture de la pomme de terre dans la Sierra s'est ainsi confondu avec le mouvement de colonisation agricole des terres d'altitude.

A l'heure actuelle, cette zone de production s'étend entre 2 700 et 3 400 m d'altitude, sur environ 900 km<sup>2</sup>. Elle se présente comme une succession d'enclaves de culture au milieu d'une forêt dégradée de pins. Le milieu naturel

qui la caractérise est propice à la production de la pomme de terre mais reste contraignant. Par ailleurs, conséquence du mode de colonisation de ces terres, le minifundisme (faible dotation en terres et en capital) est le trait dominant de la majorité des exploitations. Ce minifundisme se conjugue à de fortes contraintes de financement.

### *Contraintes du milieu*

Le contexte pédoclimatique des étages d'altitude de la Sierra est favorable à la production de la pomme de terre en culture pluviale. Les sols à dominante de limons ou de sables sont meubles et profonds et permettent une bonne croissance des tubercules. Le climat est froid (8 à 12 °C de moyenne annuelle, selon l'altitude), subhumide (800 à 1 000 mm de pluie par an), avec des pluies de mai à septembre et des gelées d'octobre à février. La pluviosité est suffisamment régulière et abondante pour assurer le développement de la culture. Les basses températures permettent la conservation des plants et leur reproduction d'un cycle à l'autre.

Pendant, du fait du cycle de culture, les producteurs se trouvent en position défavorable lors de la commercialisation de leur production. Le cycle de culture étant déterminé par l'unique saison des pluies et les risques de gel, les plantations sont pour l'essentiel réalisées de mars à mai et les récoltes de septembre à décembre. Faute de structure adéquate de stockage qui permette la conservation des tubercules sans perte de qualité et diminution de leur valeur commerciale, la commercialisation s'effectue au fur et à mesure de la récolte, à une époque de l'année caractérisée par une offre nationale particulièrement abondante.

Par ailleurs, les basses températures restreignent les opportunités de diversification des cultures. S'il est possible de semer de l'orge et du maïs jusqu'à 2 900 m d'altitude et de la fève jusqu'aux alentours de 3 200 m, seules l'avoine fourragère et la pomme de terre sont cultivées au-delà.

Enfin, les pentes limitent la mécanisation des opérations culturales. La pente moyenne, de l'ordre de 12 % dans la zone de culture, augmente avec l'altitude ; au-dessus de 3 000 m, elle peut atteindre, localement, jusqu'à 40 %. D'une façon générale, le travail est donc réalisé manuellement et(ou) en traction animale. L'utilisation du tracteur est limitée à la préparation du sol sur les parcelles les moins pentues.

### *Contraintes de structures*

En dehors de quelques îlots de peuplement indien, toutes les terres de l'actuelle zone de production appartenaient, au début de ce siècle, à des haciendas ou à

de grandes exploitations ayant leur siège sur l'altiplano. Elles n'étaient exploitées que pour leurs ressources forestières ou comme terres de parcours. A partir de 1915, dans le cadre de la Réforme agraire, ces terres ont été réparties par l'Etat entre des petites propriétés privées, des *ejidos*<sup>4</sup> et des terres de statut communal mais d'usage individuel. Elles ont alors été progressivement défrichées et mises en culture.

A l'heure actuelle, pour préserver la forêt restante, tout nouveau défrichement est interdit. La surface totale cultivée peut être estimée à 30 000 hectares et le nombre d'exploitations agricoles à 4 000, réparties entre une trentaine de villages. Dans leur grande majorité, ces exploitations sont de dimensions réduites, disposent d'un capital d'exploitation limité et sont engagées dans de multiples activités.

### **Dotation foncière et superficie cultivée**

La dotation foncière moyenne était de 8,4 ha en 1990, mais le mode s'établissait entre 1 et 2 ha (fig. 2) ; 45 % des exploitations contrôlaient au plus 5 ha et seulement 6 % des exploitations plus de 20 ha (avec un maximum de 100 ha). Les terres données ou prises en faire-valoir indirect ou non cultivées ne modifiaient alors que légèrement ces données. Les dotations foncières se retrouvaient dans les superficies cultivées : 9 ha en moyenne, dont 5,6 en pomme de terre ; près de 70 % des producteurs ne semaient pas plus de 5 ha de cette dernière culture et le mode se situait, comme pour les dotations foncières, entre 1 et 2 ha (fig. 3).

### **Capital d'exploitation**

En dehors des outils de travail manuel, le matériel d'exploitation de base est constitué, pour les exploitations qui en disposent (60 % en 1990), par un attelage de mules et son équipement et, parfois, un véhicule (camion ou camionnette, dans 40 % des cas) ; la possession de tracteurs ou de plusieurs attelages et véhicules reste l'exception. La disponibilité en matériel est corrélée avec la superficie plantée en pomme de terre. En 1990, les exploitations ne disposant d'aucun équipement cultivaient en moyenne 2,7 ha de pomme de terre et les autres 6,3 ha. D'une façon générale, rares étaient les producteurs semant plus de 5 ha qui ne disposaient d'aucun équipement. Les exploitations non équipées ont recours à la location ou, plus rarement, à l'emprunt.

---

<sup>4</sup> Mode de tenure hérité de la réforme agraire (pouvant être défini comme un droit d'usufruit individuel ou collectif sur la terre ; dans la région étudiée, ce droit est individuel).

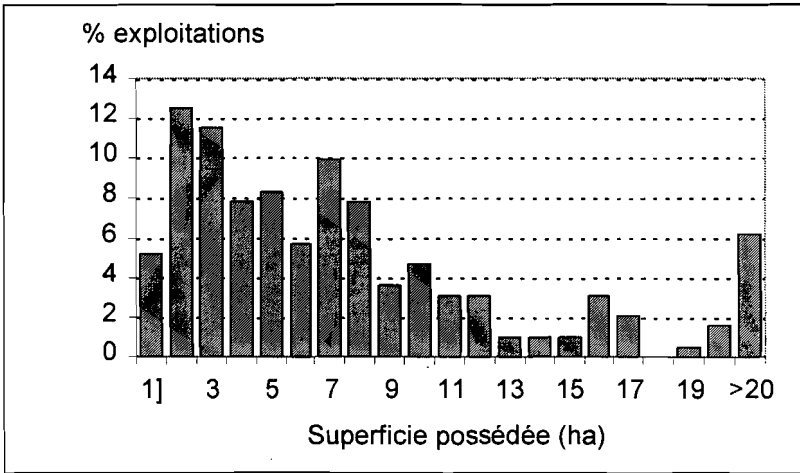


Figure 2 — Répartition des exploitations selon la superficie possédée.

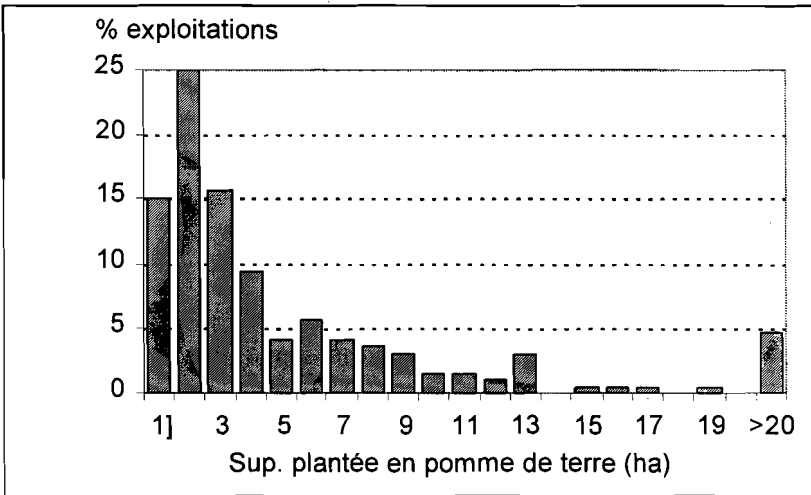


Figure 3 — Répartition des exploitations selon la superficie plantée en pomme de terre.

### Pluriactivité

La diversification des activités caractérise la majorité des exploitations. 67 % des exploitations avaient une activité d'élevage en 1990. Cependant, en raison

de disponibilités limitées en fourrage et en terrains de parcours<sup>5</sup>, il s'agissait dans la plupart des cas (70 % des exploitations concernées) d'un petit élevage domestique : quelques moutons, chèvre ou porcs. Les activités hors exploitation sont, quant à elle, très développées. En 1990, 17 % seulement des chefs d'exploitation travaillaient uniquement dans le cadre de leur unité de production. Le type d'activité réalisé est fortement corrélé à la taille de l'exploitation et au capital disponible. L'emploi temporaire ou permanent de certains membres de la famille dans les exploitations voisines comme manoeuvre agricole, ou en ville dans des activités peu qualifiées (aide-maçon, manoeuvre aux halles de la ville de Mexico, etc.) est systématique dans les exploitations de petite taille (c'est à dire de l'ordre de 3 ha cultivés en pomme de terre en 1990). Les autres activités se rencontrent dans les exploitations plus importantes et sont liées à la dotation en capital ; il s'agit pour l'essentiel d'activités de service (transport local ou régional lié à la possession d'une camionnette ou d'un camion, location de l'attelage ou du tracteur) ou d'activités commerciales (épicerie, commerce de produits agricoles, de véhicules d'occasion, etc.).

### *Contraintes de financement*

Pendant les années 1970 et 1980, dans le cadre de la politique nationale de soutien à l'agriculture pluviale, environ une exploitation sur deux a bénéficié du crédit bancaire. Ces producteurs ont ainsi pu avoir accès, conjoncturellement et pour des montants limités, à des crédits de campagne attribués pour la culture de la pomme de terre. Depuis 1990, à la suite de la réorientation de la politique bancaire, seuls les producteurs pouvant présenter une garantie solide (en 1990, 2 % des producteurs enquêtés) ont encore accès au crédit, et ce, à des taux non préférentiels.

Pour les anciens bénéficiaires, l'évolution de l'environnement économique a été d'autant plus marquante que les coûts de production de la pomme de terre sont élevés et sa production risquée.

## Une production risquée

### *Des coûts de production élevés*

Une quinzaine de variétés de pomme de terre étaient cultivées dans la région en 1990. Les variétés de couleur représentaient alors 80 % de la superficie

---

<sup>5</sup> L'utilisation de la forêt comme terrain de parcours est interdite par les services forestiers.

plantée en pomme de terre, mais la production de certaines variétés améliorées blanches, en particulier la variété Alpha, se développait.

Les variétés de couleur se caractérisent par leur grande rusticité. Elles s'accommodent d'une conduite relativement extensive en intrants et leurs plants peuvent être reproduits plusieurs années sur l'exploitation. A l'inverse, les plants des variétés améliorées ne peuvent pas être reproduits plus de deux ou trois ans sur l'exploitation, du fait d'une dégénérescence très rapide. Seule une conduite intensive en intrants permet d'en valoriser le potentiel de production et d'en rentabiliser l'achat.

Le coût moyen de production par hectare, calculé sur la base d'une valorisation aux prix du marché des facteurs de production fournis par l'exploitation (coûts implicites), reflète ces différences. En 1990, il s'élevait à 4,7 million de pesos<sup>6</sup> pour la variété Alpha produite dans la Sierra (4,3 avant récolte) et 2,3 millions pour les variétés de couleur<sup>7</sup> (1,9 avant récolte). On soulignera l'importance de ces coûts au regard des capacités d'autofinancement de la majorité des producteurs : en 1990, ils représentaient, respectivement, l'équivalent de la rémunération de 376 et 184 jours de travail comme ouvrier agricole.

L'autoproduction des plants ainsi que l'utilisation de la main d'oeuvre familiale et du matériel de l'exploitation permettent de diminuer les dépenses monétaires. Cependant, en 1990, les débours incontournables représentaient, en moyenne, 80 % du coût implicite pour la variété Alpha et 71 % pour les variétés de couleur, en raison des exigences de la culture en intrants (fertilisants, produits phytosanitaires et, dans le cas de la variété Alpha, plants) et de l'utilisation systématique d'une main d'oeuvre salariée (du fait des nombreuses opérations culturales et de la faible mécanisation).

### *Des rendements variables*

Statistiquement, la différence de rendement entre la variété Alpha (15,8 t) et l'ensemble des variétés de couleur (10,9 t) est significative. Cette différence renvoie aux caractéristiques variétales et aux conduites techniques évoquées précédemment.

La dispersion des rendements autour de ces moyennes est cependant forte, allant en 1990 de 3 à 28 t pour les variétés de couleur et de 6 à 39 t pour la variété Alpha. Cette dispersion tient à de multiples facteurs : diversité du

<sup>6</sup> Tous les prix sont exprimés en « anciens » pesos, dont le taux de change était d'environ 550 pesos pour 1 franc français à l'époque des enquêtes (1990).

<sup>7</sup> Différences entre variétés de couleur non significatives.

milieu agroécologique liée au gradient altitudinal, diversité des pratiques agricoles, efficacité de ces dernières, différences d'intensité de la culture relativement à l'emploi d'intrants, différences de maîtrise technique de cette intensité.

Notre propos n'est pas d'analyser ici ces différents facteurs. On se contentera de souligner, à titre d'exemple, le degré très inégal d'information des producteurs quant aux différents traitements phytosanitaires, certains producteurs allant jusqu'à confondre fertilisants foliaires et fongicides. Dans la région, ce contrôle est pourtant rendu crucial car les risques d'infestation sont multipliés par la quasi-monoculture de pomme de terre et les pratiques d'échange de plants entre parcelles et entre producteurs.

### *Un marché incertain*

Le marché de la pomme de terre enregistre de fortes variations saisonnières des prix avec une tendance marquée à la baisse au cours du second semestre (fig. 4). Du fait des cycles de culture et de l'absence de stockage, les producteurs de la Sierra commercialisent l'essentiel de leur production dans des conditions de prix défavorables. Outre ces conditions « structurellement » pénalisantes, les producteurs doivent faire face à une forte variation interannuelle des prix (fig. 5).

Les gains peuvent être élevés, les pertes également. Ainsi, en 1981, les prix aux producteurs de Puebla et de Veracruz (exprimés en pesos constants 1990) ont été exceptionnellement élevés (en moyenne, 1 500 pesos par kilogramme) ; on peut estimer la marge nette moyenne alors obtenue par les producteurs à 12 millions de pesos à l'hectare, pour une production de variétés de couleur. A l'inverse, en 1990, l'effondrement des prix s'est traduit par une perte moyenne, pour les mêmes variétés, de 1,2 million de pesos par hectare (cf. *infra*).

### *Des alternatives réduites*

La pomme de terre est une culture à risque, mais pouvant apporter un niveau de gain incomparablement supérieur à celui des autres cultures envisageables dans la région. Un calcul, effectué sur une longue période (entre 1977 et 1993) afin de prendre en compte la variabilité des prix, fait apparaître une marge nette moyenne de 2,8 millions de pesos par hectare pour les variétés de couleur. Le même calcul réalisé sur les autres cultures montre que le maïs et l'avoine fourragère ne peuvent pas être envisagés comme cultures commerciales et que la marge nette moyenne dégagée par la fève reste modique : ces

marges ont été estimées à 0,3 million de pesos pour la fève, - 0,3 pour le maïs et 0 pour l'avoine.

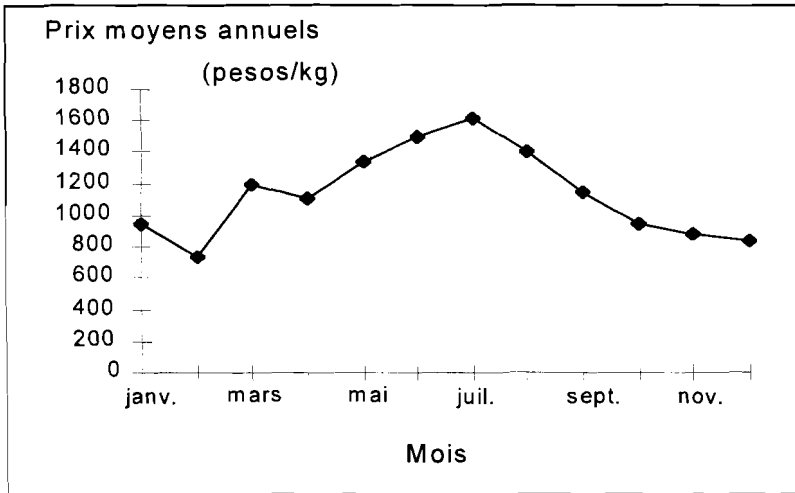


Figure 4 — Evolution intra-annuelle des prix réels (valeur décembre 1990) sur le marché de Mexico, des deux principales variétés de couleur cultivées dans la région, pour la période 1989 - 1991.

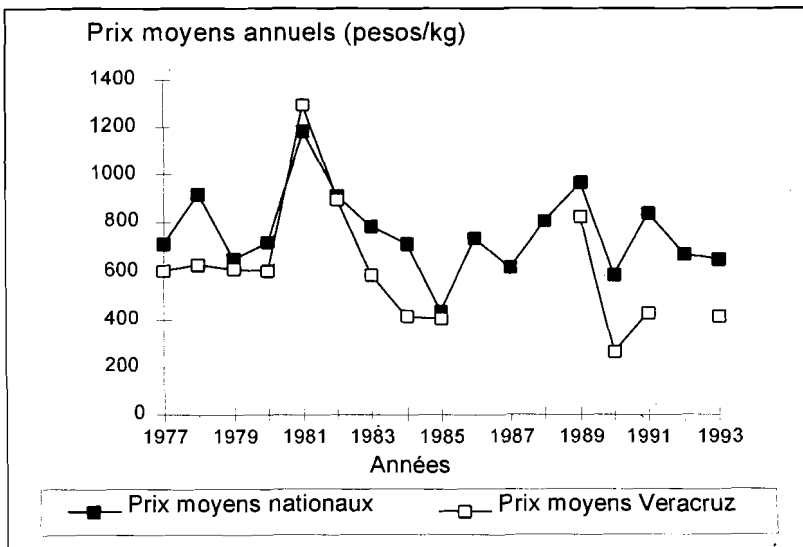


Figure 5 — Evolution interannuelle des prix moyens réels (valeur 1990) aux producteurs, de 1977 à 1993, toutes variétés confondues, au niveau national et dans l'état de Veracruz.



On peut ainsi expliquer la place prépondérante occupée par la pomme de terre dans la grande majorité des exploitations par la conjugaison de deux facteurs. En altitude, l'absence de réelle alternative condamne pratiquement les exploitants à la monoculture. Plus bas sur les pentes, les opportunités de diversification augmentent d'autant plus que l'on se rapproche de l'altiplano, mais, du fait de son intérêt économique, la pomme de terre gardait au début des années 1990 une place importante dans les assolements. On peut, à titre d'illustration, comparer l'importance relative de la culture de la pomme de terre après une mauvaise année dans un village d'altitude (75 % des superficies en 1990) et dans un village situé en bordure de l'altiplano (38 %).

Malgré une forte baisse des prix lors de la récolte 1989, la pomme de terre représentait ainsi 67 % de la superficie totale cultivée en 1990 dans la Sierra. Elle couvrait plus de 50 % des assolements dans 66 % des exploitations, dont 32 % en monoculture.

## Reproduction des exploitations et aléas de la production et de la commercialisation

La reproduction des exploitations dans un contexte de risques élevés dépend de leur capacité à éviter ou à limiter les crises et à relancer chaque année la production agricole (voir par exemple Aubry *et al.*, 1988). Trois types de pratiques permettant d'éviter ou de « passer » avec plus ou moins d'efficacité les crises liées à des chutes du prix de la pomme de terre ou à de mauvais rendements ont été observées. Les deux premiers types de pratiques, non exclusifs l'un de l'autre, renvoient à des comportements anti-aléatoires basés sur une anticipation des risques. Nous avons qualifié « d'offensives » les pratiques visant à éviter les crises et à maximiser les revenus tirés de la culture de la pomme de terre. Les pratiques dites « défensives » désignent tant les pratiques visant à limiter la variabilité des revenus tirés de la pomme de terre que celles permettant de limiter l'incidence des crises que connaît cette production sur les revenus du système famille-exploitation<sup>8</sup>. Le dernier type de pratiques, dites « adaptatives », permet quant à lui une adaptation conjoncturelle post-crise.

### *Des pratiques offensives*

Maximiser les revenus tirés de la culture de la pomme de terre et(ou) éviter les crises temporaires de commercialisation ou de production passent par les

<sup>8</sup> On notera que ces acceptions diffèrent de celles proposées par Yung et Zaslavsky (1992).

mêmes pratiques de réduction des risques de méventes et de contrôle de la production.

### **Jeu sur les dates de plantation et de récolte et sur les choix variétaux**

Une première possibilité consiste à éviter de vendre toute la production au moment le plus défavorable de l'année (en tendance, d'octobre à décembre). En l'absence quasi générale de structures adéquates de stockage, certains producteurs jouent — lorsque la localisation de leur parcelle le leur permet — sur les dates de récolte. Le stockage en terre permet de retarder la récolte de un à deux mois, mais avec des risques de dégradation des tubercules. C'est donc essentiellement en jouant sur les dates de plantation et sur la durée de cycle des différentes variétés (trois à six mois), en relation avec la localisation de leurs parcelles sur le gradient altitudinal, que les producteurs peuvent retarder tout ou partie de leur récolte pour attendre une éventuelle remontée des prix, ou au contraire l'avancer pour récolter avant leur fléchissement maximal. A forte altitude, du fait d'une forte humidité résiduelle des sols en fin de saison sèche et des risques d'excès d'humidité favorisant les infestations de mildiou en pleine saison des pluies, les plantations sont réalisées dès la fin de l'hiver. Les variétés les plus précoces peuvent être ainsi récoltées dès juillet-août. Plus bas, du fait d'une moindre pluviosité, les plantations sont réalisées plus tardivement et les dernières parcelles peuvent être récoltées en janvier.

Pour obtenir une production de contre-saison et profiter davantage de la période de prix élevés sur le marché, certains producteurs n'hésitent pas, lorsqu'ils disposent d'un véhicule, à planter de la pomme de terre dans d'autres régions productrices du pays, sur des parcelles en faire-valoir indirect.

Une deuxième possibilité consiste à s'adapter le plus rapidement possible à la demande afin de profiter des différentiels de prix entre variétés. Ainsi, au moment des enquêtes, certains producteurs avaient amorcé une substitution de variétés améliorées blanches aux variétés de couleur, à la suite d'une évolution différentielle des prix en faveur des premières. Cette reconversion restait cependant réservée aux producteurs en mesure d'assumer un doublement du coût de production. Elle s'accompagnait parfois d'une délocalisation totale ou partielle de la production sur l'altiplano en raison des meilleures conditions de production qui y règnent — faible degré d'infestation phytosanitaire, possibilités d'irrigation par forage et possibilités de mécanisation — et nécessitait alors l'achat de terre ou l'accès à des parcelles en faire-valoir indirect.

### **Meilleur contrôle de la commercialisation**

La production régionale est commercialisée directement par les producteurs sur les marchés urbains de gros — principalement les halles de la ville de Mexico — ou vendue localement à des intermédiaires. Dans tous les cas, en l'absence d'une organisation permettant de contrôler l'afflux du produit sur les marchés et en raison de la forte concentration des opérations commerciales aux mains d'une minorité de grossistes (Garcia et Lorenzo, 1995 ; Linck, 1995), les producteurs sont en situation défavorable pour négocier les prix, en particulier lors des années de surproduction.

Afin d'être en mesure de négocier de meilleurs prix et de mieux assurer l'écoulement de leur production, certains producteurs recherchent des créneaux de commercialisation particuliers (restaurants, industrie agro-alimentaire) et tentent d'établir des relations suivies avec un ou plusieurs grossistes ou intermédiaires importants. Mais le succès de ces démarches commerciales suppose que les exploitants soient en mesure de se démarquer des autres en produisant les variétés, le volume et la qualité demandés par l'acheteur. A la fin des années 1980, les variétés les plus demandées étaient les variétés blanches.

### **Meilleur contrôle de la production**

La recherche d'une production de qualité est toujours associée à un objectif de production élevée et régulière. Elle passe par l'acquisition d'une meilleure maîtrise de la culture et par une intensification plus ou moins raisonnée en intrants : sélection sévère des plants produits sur l'exploitation ou achetés à l'extérieur, fertilisation importante, prévention maximale des accidents phytosanitaires. Cette dernière est assurée par le recours à de nombreux traitements, par le respect d'une rotation minimale de culture (en moyenne, pas plus de deux années sur trois en pomme de terre) et, parfois, par la délocalisation de la production sur l'altiplano.

Le coût de production qu'implique ce type de conduite peut varier du simple au double par rapport au coût moyen. Il est supposé être justifié par l'amélioration du rendement et par un meilleur prix de vente. Mais en cas d'échec, les pertes peuvent être extrêmement élevées. L'augmentation des coûts de production est ainsi le fait de producteurs pouvant assumer ce risque grâce à un important capital-épargne et(ou) une diversification des sources de revenus (cf. *infra*).

### **Efficacité de ces pratiques**

Les différentes pratiques décrites ne sont pas toujours efficaces. En 1989, les prix ont fortement chuté pour toutes les variétés dès le mois de juin rendant

inefficaces toutes les pratiques offensives, à l'exception de celles basées sur une production de contre-saison. En 1990, les prix des variétés de couleur sont restés toute l'année à un niveau extrêmement bas tandis que la variété Alpha a connu un redressement des prix en fin d'année. Les pratiques visant à désaisonniser la production ont donc été inefficaces cette année-là pour les variétés de couleur. En revanche, le différentiel de prix en faveur des variétés blanches s'est confirmé, ainsi que l'intérêt d'une production de qualité associée à un meilleur contrôle de la commercialisation.

Pour les variétés de couleur, la perte moyenne a été de 1,2 million de pesos par hectare, plus de 80 % des exploitations ayant enregistré un résultat nul ou négatif. La variété Alpha, en conduite relativement extensive (coût de production avant récolte inférieur à 4 millions de pesos par hectare), a assuré une perte moyenne de 0,3 million de pesos par hectare, 50 % des parcelles enregistrant une perte. Par contre, en conduite intensive (coût de production avant récolte supérieur à 4 millions de pesos par hectare) le gain moyen a pu être estimé à 7,1 millions par hectare, aucune parcelle n'enregistrant de perte (tabl. 1).

Tableau 1  
Marges nettes obtenues en 1990 pour la culture de pomme de terre  
selon les choix de variétés et de conduite technique

	Variétés de couleur	Variété Alpha, conduite extensive	Variété Alpha, conduite intensive
Coût de production avant récolte (millions de pesos/ha)	1,9	2,9	6,2
Coût total incluant récolte, transport et commercialisation (millions de pesos/ha)	2,9	3,8	7,2
Quantité commercialisée (tonnes/ha)	9,3	8,9	21
Prix de vente (pesos/kg)	182	393	680
Valeur de la production (millions de pesos/ha)	1,8	3,6	14,3
Résultat net/ha (millions de pesos)	- 1,1	- 0,1	7,1
Parcelles présentant un résultat négatif (%)	83	50	0
Nombre total de parcelles observées	115	10	7

### *Des pratiques défensives*

Les pratiques visant à réduire la variabilité des revenus tirés de la culture de la pomme de terre s'appuient sur une répartition des risques de production et de

commercialisation dans l'espace (dispersion des parcelles), dans le temps (étalement des dates de plantation et de récolte) et(ou) entre différentes variétés (diversification des variétés cultivées). Cependant, du fait de la taille importante des parcelles (de 0,5 ha à 30 ha, en moyenne 2 ha) par rapport aux surfaces totales cultivées, du faible nombre de parcelles par exploitation qui en découle (de 1 à 16, en moyenne 3) et de l'absence de mélanges variétaux au sein d'une même parcelle, on est loin de l'extrême dispersion des risques observée dans les Andes péruviennes (Morlon, 1989)<sup>9</sup>.

Les pratiques permettant de limiter l'incidence des crises que connaît la production de la pomme de terre sur les revenus du système famille-exploitation, sont diverses.

La limitation volontaire des coûts de production est une option retenue par de nombreux producteurs, particulièrement lorsqu'ils ne disposent pas de contacts commerciaux, car elle permet de réduire les pertes lors de mauvaises années. Elle passe essentiellement par les choix variétaux et(ou) par la réduction des coûts en intrants. Cependant, même réduits, les coûts demeurent encore importants au regard de la capacité d'autofinancement des producteurs. Par ailleurs, la difficulté qui consiste à réduire les intrants sans pour autant pénaliser trop fortement les rendements et la qualité de la production est surmontée de manière très inégale et avec de plus en plus de peine étant donné le développement des problèmes phytosanitaires.

L'effet des crises peut également être amorti, au niveau de l'exploitation, par la diversification permanente des cultures et(ou) des activités ainsi que par la constitution de réserves de sécurité lors des bonnes années (épargne bancaire ou sous forme de biens mobilisables : porcs, ovins et caprins dans la plupart des cas, voire achat de véhicules ou de biens fonciers en ville). L'ensemble de ces activités permet d'assurer un revenu minimal à la famille, et, dans certains cas, de relancer la production de pomme de terre, après une mauvaise campagne.

L'efficacité des pratiques de diversification dépend, bien entendu, du niveau de revenu auquel elles permettent d'accéder, de l'intensité de la crise momentanée frappant la production de pomme de terre et de l'importance de la consommation familiale. Les revenus tirés d'une diversification des cultures et des activités salariées, généralement mal rémunérées (particulièrement lorsqu'il s'agit d'emplois locaux comme manoeuvre agricole) et temporaires sont les moins susceptibles de contribuer substantiellement au financement de la production de pomme de terre. D'une façon générale, les revenus provenant

---

<sup>9</sup> Morlon fait état, par exemple, de 25 parcelles par famille en moyenne.

d'activités indépendantes liées à la possession d'un capital important (en particulier, véhicules permettant d'exercer des activités de transport) semblaient, au moment des enquêtes, les mieux à même de permettre une relance de la production.

### *Des pratiques adaptatives*

Après une mauvaise campagne agricole, lorsque les pratiques anti-aléatoires n'ont pas pu être mises en oeuvre ou s'avèrent insuffisantes pour éviter la crise ou limiter ses effets, les producteurs sont tenus de s'adapter de manière conjoncturelle en opérant une adéquation entre ressources et besoins.

### **Ajustement des dépenses à de moindres disponibilités**

Cet ajustement est assuré tant par la diminution des dépenses familiales que par celle des dépenses d'exploitation. Il peut conduire à un report des investissements ou à une réduction des ressources affectées au processus de production et tout particulièrement à la culture de la pomme de terre. Cette réduction viendra de l'abandon des variétés les plus exigeantes en intrants, d'une contraction de la superficie plantée — pouvant aller jusqu'à l'abandon de la culture de la pomme de terre — et(ou) d'une extensification de la conduite technique, passant essentiellement par l'utilisation de plants de moindre qualité et par une réduction des apports d'intrants. Les campagnes 1989 et 1990 ayant été marquées par des prix extrêmement bas, tous les producteurs enquêtés avaient réduit leurs dépenses lors de la campagne 1990 et(ou) l'envisageaient pour la campagne 1991. La réduction de la superficie en pomme de terre sans changement de la conduite technique était une option retenue par 68 % d'entre eux, les autres optant une réduction des coûts de production, en plus, généralement, de la réduction des superficies plantées en pomme de terre. On notera qu'une même pratique — comme l'extensification du système de production — peut ainsi renvoyer à deux logiques différentes : mise en oeuvre *ex ante* (relativement à une crise possible), elle correspond à une stratégie antirisque ; mise en oeuvre *ex post*, elle reflète avant tout une contrainte de financement.

Lorsque la localisation des parcelles cultivées permet une diversification des cultures (parcelles localisées sur le piémont ou sur l'altiplano voisin), la réduction de la superficie en pomme de terre s'accompagne souvent d'une augmentation de la part des autres cultures dans l'assolement. Dans le cas contraire, les terres non cultivées en pomme de terre sont, selon le mode de

faire-valoir antérieur, laissées en friche, cédées en faire-valoir indirect ou rendues à leurs propriétaires.

### **Recherche de sources de financement alternatives**

Trois principales sources de financement alternatives sont utilisées pour surmonter les crises et financer la nouvelle campagne agricole.

#### *Les contrats de culture à frais partagés*

Ces contrats, forme de métayage, permettent de limiter au maximum les débours monétaires en jouant sur la complémentarité des ressources disponibles entre deux exploitations. En 1990, 44 % des exploitations y avaient recours.

#### *Le crédit*

Du fait de la disparition du crédit officiel (cf. *supra*), il s'agit avant tout de crédits privés, de type usuraire, avec un taux d'intérêt mensuel extrêmement élevé<sup>10</sup>. Plus d'une exploitation sur deux y avait recours lors de nos enquêtes.

#### *La décapitalisation*

Généralement utilisée comme ultime recours, la décapitalisation porte sur le matériel de transport, l'attelage, le cheptel ou les terres. Ainsi, le contexte difficile de 1989-1990 a-t-il généré un processus de décapitalisation marqué, touchant plus du quart des exploitations (27 %).

### **Risques associés**

Comme cela a été souvent souligné (voir, par exemple, les études de cas dans Milleville et Eldin, 1989), les risques associés à ces mécanismes d'ajustement conjoncturels peuvent être importants et compromettre à terme la reproduction des exploitations.

En réduisant les dépenses consacrées à la culture de la pomme de terre, les producteurs diminuent leur potentiel de reprise à la campagne suivante. L'utilisation de financements alternatifs permet de limiter ou d'éviter cette réduction des dépenses et de profiter au mieux d'une éventuelle bonne année.

---

<sup>10</sup> En 1990, ce taux était de 10 à 15 % mensuel, pour un taux annuel d'inflation d'environ 30 %. Le taux annuel d'intérêt bancaire était quant à lui de 40 % pour les prêts subventionnés (non disponibles dans la région).

Mais cette logique fait courir à l'exploitant le risque d'entrer dans une véritable spirale d'endettement et de décapitalisation. Fin 1990, de nombreux producteurs semblaient être pris dans cet engrenage. La décapitalisation observée correspondait dans 60 % des cas à la nécessité de rembourser un emprunt contracté antérieurement.

11.2.2.2

## Des marges de manoeuvre inégales

L'adoption des différentes pratiques anti-aléatoires qui viennent d'être évoquées ainsi que le degré de recours aux pratiques adaptatives dépendent bien évidemment des stratégies individuelles et familiales et de la perception des risques par les producteurs. Mais ils dépendent aussi fortement des possibilités de mise en oeuvre des différentes pratiques. De ce point de vue, les marges de manoeuvre des producteurs, fortement liées à leur situation, sont bien inégales.

Ainsi, la localisation de certains villages offre aux producteurs un avantage comparatif important leur permettant de jouer sur les dates de récolte. Cependant, les seules pratiques offensives réellement en mesure d'assurer un avantage décisif aux producteurs renvoient aux choix variétaux (adaptation rapide à la demande), aux performances techniques et aux contacts commerciaux. Jouer sur de tels éléments nécessite de fortes capacités de financement et, si possible de délocalisation d'une partie de la production sur l'altiplano. Ce jeu, facilité par la présence de matériel d'exploitation est, de plus, fortement conditionné par l'accès à l'information technique, commerciale (évolution de la demande et des débouchés) et parfois financière (accès au crédit).

L'accès à l'information dépend en bonne mesure d'un « effet-village », certaines communautés semblant avoir été oubliées par les organismes de développement et par les techniciens des entreprises commerciales qui fournissent les producteurs en intrants agrochimiques. La présence de gros producteurs, plus ou moins marquée selon les villages, joue également un rôle important dans la diffusion de l'information technique. Cette dernière s'opère via un processus d'apprentissage, au profit des petits producteurs, lorsque ces derniers s'emploient comme journaliers agricoles, ou encore par le biais des contrats de culture à frais partagés. Enfin, l'accès à l'information dépend, pour une large part, des réseaux de relations de l'agriculteur, de son niveau de formation et de sa disponibilité. Le petit producteur travaillant lui-même ses parcelles est largement désavantagé par rapport au producteur-entrepreneur qui n'a qu'un rôle de surveillance et de gestion des activités et peut ainsi plus



facilement s'engager dans la recherche de l'information et la création de réseaux de relations.

Par ailleurs, nous avons vu que les pratiques défensives en mesure de limiter efficacement l'effet des crises sont celles qui permettent l'autofinancement de la campagne agricole après une mauvaise année. Ces dernières dépendent essentiellement du capital disponible, très corrélé à la superficie antérieurement plantée en pomme de terre.

Enfin, même les pratiques adaptatives ne vont pas d'elles même. L'accès à des sources de financement alternatives est fortement dépendant des réseaux de relations de chacun, des garanties en capital pouvant être offertes aux créanciers et(ou) de la politique bancaire. Il n'est jamais assuré d'une année sur l'autre.

Dans leur majorité, les producteurs n'ont ni « l'envergure » économique, ni l'information suffisantes pour mettre en oeuvre les pratiques anti-aléatoires les plus efficaces. Après une mauvaise année, leur potentiel de production se trouve drastiquement diminué et ils ne sont pas toujours assurés d'avoir accès à des sources de financement alternatives. En conséquence, ils se caractérisent par une gestion très conjoncturelle de leur exploitation, fonction des résultats de l'année précédente et des opportunités qui peuvent se présenter. Cette gestion se traduit par une forte variabilité interannuelle des assolements et des conduites techniques et par une grande instabilité des systèmes de cultures.

Une succession de plusieurs bonnes années peut permettre aux producteurs d'augmenter suffisamment la superficie plantée en pomme de terre et le capital d'exploitation pour devenir à leur tour plus défensifs. Mais en tendance, l'extension de la superficie cultivée, par achat de terres ou par faire-valoir indirect, ne pouvait jusqu'à ces dernières années concerner qu'un nombre réduit de producteurs, du fait de la pression foncière régnant dans la région. De plus, en l'absence de capital initial et en raison du niveau des coûts de production, la progression reste lente et l'exploitation demeure longtemps fragile, très dépendante des résultats de l'année antérieure.

Une année exceptionnelle permet parfois d'accélérer brutalement cette progression. A cet égard, l'exemple de l'achat d'une camionnette d'occasion est parlant. En 1990, cet achat mobilisait la valeur moyenne nette de la production de huit hectares de pomme de terre de couleur ; en 1981, celle de deux hectares seulement. Le crédit bancaire dont ont bénéficié certains producteurs par le passé a eu le même effet lorsqu'il a coïncidé avec de bonnes années, en

permettant une augmentation de la superficie cultivée en pomme de terre et une amélioration des performances techniques<sup>11</sup>. Dans d'autres cas, il a engendré un phénomène marqué de paupérisation lorsque, à la suite d'une mauvaise année, il a conduit à un endettement durable du producteur et à une décapitalisation de l'exploitation afin de rembourser une partie de cette dette.



## Conclusion

L'activité agricole se caractérise, dans la région étudiée, par l'instabilité chronique de la majorité des exploitations. Pour de nombreux producteurs, cette situation d'instabilité est demeurée gérable tant que le résultat moyen net est resté positif sur plusieurs années. La situation tend toutefois à évoluer dans un sens nettement défavorable. Les exploitants de la Sierra doivent affronter une baisse progressive de la rentabilité économique de la production de pomme de terre, du fait d'une augmentation des coûts de production (développement des problèmes phytosanitaires, forte hausse du prix des intrants depuis le début des années 1990) et d'une baisse tendancielle des prix (restriction du marché pour les variétés de couleur, développement accru de la concurrence pour les variétés blanches). Le résultat net tend à devenir négatif sur plusieurs années. En d'autres termes, si les tendances se maintiennent, les pratiques décrites seront dans l'avenir de moins en moins en mesure d'assurer la survie et le développement des exploitations de la Sierra. Les mécanismes anti-aléatoires butteront rapidement sur leurs limites : les pratiques défensives ne permettront pas longtemps d'entretenir une culture déficitaire et les pratiques offensives perdront tout leur sens si elles ne sont que rarement efficaces. Les mécanismes d'ajustement conjoncturel conduiront à une paupérisation croissante des exploitations ne pouvant se reconvertir vers d'autres productions ou activités.

Un retour sur le terrain en novembre 1995, nous a permis d'observer que même les pratiques offensives basées sur la reconversion vers des variétés blanches, qui s'avéraient en 1990 les plus efficaces, sont aujourd'hui remises en cause par les producteurs eux-mêmes, lorsqu'elles ne s'accompagnent pas d'une délocalisation de la production dans les zones irriguées de l'altiplano. Elles se heurtent en effet au développement de la concurrence des régions irriguées du nord et du centre du pays qui offrent, en règle générale, une production de bien meilleure qualité que celle de la Sierra.

---

<sup>11</sup> L'octroi de crédit était accompagné d'une assistance technique.

Mais au delà de la compréhension de l'évolution probable des exploitations de la région étudiée, qui montre, si besoin en était, que l'efficacité des pratiques est très contingente du contexte dans lequel elles sont mises en oeuvre, cette étude permet de souligner une nouvelle fois l'importance de la prise en compte du risque dans l'analyse des pratiques agricoles et la nécessité de ne pas dissocier ces dernières d'un ensemble de pratiques débordant parfois les sphères agricoles et locales et remplissant des fonctions équivalentes ou complémentaires vis à vis de la gestion du risque.

## Références bibliographiques

- AUBRY C., BESSE T., ELLOUMI M., GANA A., GARA M., SEBILLOTE M., SOLER L.G; SOUKI K., 1988 – Vers une transformation de l'agriculture dans les zones semi-arides tunisiennes. *Cah. Rech. Dév.*, 20 : 61-74.
- BIARNES A., 1995 – Logica de producción y funcionamiento de las unidades de producción en el Cofre de Perote. *In* : Biarnès A., *et al.* (éd.), pp. 77-97.
- BIARNES A., E. BOUQUET, 1995 – Au dessous du volcan. Émergence et marginalisation d'une petite agriculture marchande au Mexique. *Cah. Sci. hum.*31 (4) : 931-950.
- BIARNES A., COLIN J.-P., SANTIAGO M. (éd.), 1995 – *Agroeconomía de la papa en México*. Texcoco, Orstom-CP, 190 pages.
- BOUQUET E., 1995 – Diferencial agroecológico y dinámicas económicas. Un estudio de caso. *In* : Biarnès A. *et al.* (éd.), pp. 67-76.
- COLIN J.-Ph., 1995 – Diversidad regional y crisis de la producción de papa en Puebla y Veracruz. *In* : Biarnès A. *et al.* (éd.), pp. 143-177.
- GARCIA R., E. LORENZO, 1995 – Comercialización de la papa en el Distrito Federal. *In* : Biarnès A. *et al.* (éd.), pp. 143-177.
- LINCK T., 1995 – Approvisionnement de Mexico en produits frais et recompositions de l'agriculture mexicaine. *In* : Douzant-Rosenfeld y Grandjean P. (éd.) : *Nourrir les métropoles d'Amérique latine : recomposition des systèmes d'approvisionnement et de distribution*. Paris, L'Harmattan, coll. *Villes et entreprises*, pp. 41-68.
- MILLEVILLE P., EL DIN M., 1989 – *Le risque en agriculture*. Paris, Orstom, coll. *À travers champs*, 622 pages.
- MORLON P., 1989 – Du climat à la commercialisation : l'exemple de l'altiplano péruvien. *In* : Milleville P., Eldin M. (éd.), pp. 187-224.
- YUNG J.M., J. ZASLAVSKY, 1992 – *Pour une prise en compte des stratégies des producteurs*. Montpellier, Cirad-SAR, coll. *Documents Systèmes agraires*, 18, 72 pages.



## Résumés

---

Jean-Marc Meynard : « La modélisation du fonctionnement de l'agrosystème, base de la mise au point d'itinéraires techniques et de systèmes de culture »

L'amélioration des systèmes de culture et la conception d'innovations en conduite culturale peuvent aujourd'hui s'appuyer sur l'utilisation de modèles de fonctionnement des cultures et de leur environnement. Dans une première partie, on met en évidence le rôle que jouent les modèles aussi bien pour la conception de règles de décision élémentaires que pour celle d'itinéraires techniques, de successions de cultures ou d'agencement des systèmes de culture dans l'espace. Dans une seconde partie, on passe en revue différentes difficultés méthodologiques de la démarche : étude des qualités des indicateurs d'aide à la décision ; choix des modèles utilisés pour la prévision de l'effet des techniques sur la production et l'environnement ; principes de la conception et de l'évaluation de systèmes de culture innovants.

Mots clefs : Agriculture durable — Modèles de culture — Règle de décision — Systèmes d'aide à la décision — Succession culturale — Organisation spatiale des systèmes de culture.

Jean Joinville Vacher, Carmen del Castillo, Jacques Dizes, Roland Bosseno : « Une pratique paysanne face aux risques de sécheresse sur l'altiplano bolivien. L'utilisation d'une biodiversité de *Solanum* »

L'altiplano est un vaste plateau agricole situé à une altitude moyenne de 4 000 m. Face aux risques très importants de sécheresse et de gelées, les paysans andins ont développé une agriculture spécifique dont une des caractéristiques est l'utilisation d'une diversité de *Solanum*. Les réponses hydriques et photosynthétiques face à la sécheresse de trois *Solanum* très cultivées sur l'altiplano (*S. curtilobum*, *S. juzepczukii* et *S. tuberosum* ssp *andigena*) ont été comparées à partir de l'analyse de l'évolution de la consommation en eau des cultures, des potentiels hydriques foliaires, de la conductance stomatique, de la transpiration et de la photosynthèse foliaires. Les trois *Solanum* ont été cultivées en plein champ et ont été soumises au régime pluvial d'une saison agricole très sèche (1991-92). Face à l'intense sécheresse *S. curtilobum* se caractérise par une rapide fermeture stomatique, une réduction importante des échanges gazeux et une baisse importante du potentiel minimum (-2 MPa). *S. juzepczukii* présente une tolérance à la sécheresse basée sur une conductance stomatique élevée accompagnée d'une alimentation hydrique soutenue. *S. tuberosum* montre une forte sensibilité stomatique au début de la sécheresse puis une relative tolérance lorsqu'elle s'intensifie. Cette

gamme de réponses correspond à l'hétérogénéité spatio-temporelle des risques de sécheresse sur l'Altiplano.

Mots clefs : Solanum — Diversité — Sécheresse — Andes — Réponses hydriques.

Jean-Pierre Raffailac : « Le rôle de la densité de plantation dans l'élaboration du rendement du manioc »

Les objectifs de production du manioc varient selon les pays producteurs et les zones de culture. Les racines tubérisées doivent satisfaire certains critères qualitatifs pour qu'elles soient bien acceptées. Une expérimentation comparant trois densités de plantation a été conduite pour analyser in fine les répercussions sur la qualité de la production. La dynamique de la couverture végétale est modifiée deux mois après plantation : un plant à faible densité développe des ramifications surnuméraires. Des différences de comportement entre plants monocaules et plants multicaules sont établies. Le suivi des composantes du rendement montre une augmentation des racines en tubérisation en nombre comme en vitesse de remplissage à faible densité. Le niveau de rendement est le même pour tous les traitements mais la qualité, examinée à travers le poids individuel, est modifiée. Une plantation à faible densité offre plus de gros tubercules, convenant mieux à un objectif de commercialisation ; mais d'un autre côté, elle diminue la qualité des boutures pour le cycle suivant. La distribution du poids des tubercules sur la parcelle est discutée en rapport avec différents objectifs assignés à la culture.

Mots clefs : Manioc — Composantes du rendement — Densité de plantation — Côte d'Ivoire.

Anneke de Rouw, Jean-Louis Rajot, Gaby Schmelzer : « Effets de l'apport de bouses de zébus sur les composantes du rendement du mil, sur les mauvaises herbes et sur l'encroûtement superficiel du sol au Niger »

Au Niger (400-600 mm), coexistent une agriculture pluviale extensive et un élevage semi-nomade. La fumure des champs consiste en un apport de bouses de zébus et d'urine (0,5-5 t/ha tous les 3-5 ans). La question se pose de savoir si la très faible valeur nutritive des bouses peut pallier les pertes en productivité. L'expérimentation au champ paysan sur trois ans comprend l'apport de bouses sèches (5 t/ha/an) sans mélange d'urine ou de pailles. L'effet des bouses est surtout sensible au début d'hivernage : pousses de mil plus vigoureuses, plus de biomasse de mauvaises herbes, mais pas plus d'individus. Le Nombre d'épis total et le Poids de grains bénéficient le plus de cet apport ( $P < 5\%$ ), mais sans que le rendement ne s'améliore pour autant. Les bouses piègent les sables éoliens, augmentent la rugosité de la surface du sol et favorisent ainsi l'infiltration. Les bouses,

après trois ans, parviennent à maintenir le niveau initial de fertilité. En revanche, la culture sans intrants entraîne une baisse de pH, de la CEC, et de la matière organique du sol (5-20 cm). Cette gestion de la fumure animale permet aux paysans de continuer à cultiver une même parcelle plus longtemps. Elle est propre à une région où subsiste un recours à la jachère mais où la saturation foncière menace.

Mots clefs : Culture de mil — Bouses — Encroûtement du sol — Sahel — Adventices — Sarclage.

Luc Gilot, Roger Calvez : « Stratégies d'arrosage et fonctionnement global d'un système irrigué. Le cas d'Urcuqui (Equateur) »

Dans un périmètre irrigué traditionnel, où l'eau se répartit selon le mode du tour d'eau souple, on étudie les relations entre stratégies d'arrosage, fonctionnement actuel de la distribution et évolution du système. Les règles de la distribution font apparaître un problème potentiel : les droits d'eau individuels sont trop importants, et impliquent des tours d'eau trop longs et de forts excès lors des arrosages. Les irrigations réelles, mesurées pendant deux cycles culturaux mettent en évidence les stratégies d'arrosage très extensives, basées sur des décisions individuelles ou collectives de ne pas arroser. En moyenne, les résultats sont mauvais et fortement dépendants de la pluie, alors que la dotation globale est suffisante. Cependant, les stratégies des usagers sont très variables. Ceux qui adoptent des stratégies intensives bénéficient des rotations relativement courtes qui résultent des désistements des autres usagers.

Mots clefs : Irrigation — Règles de la distribution de l'eau — Réalité de la distribution de l'eau — Stratégies d'arrosage — Equateur — Analyse multivariée.

Jean-Christophe Poussin : « Diagnostic sur les systèmes de riziculture irriguée dans la moyenne vallée aval du fleuve Sénégal »

Le développement de la riziculture irriguée dans la vallée du fleuve Sénégal constitue un enjeu important pour les Etats riverains. Des rendements potentiels élevés et la possibilité d'effectuer deux récoltes par an permettent d'envisager une relative indépendance alimentaire et une réduction de l'exode rural. Malheureusement, les résultats sont bien en dessous de ceux escomptés : les rendements sont en moyenne inférieurs à 5 t/ha pour des charges comprises entre 2,5 et 4 t/ha, et l'intensité culturale est fréquemment inférieure à 1. L'auteur propose, au travers d'une étude des systèmes de riziculture irriguée pratiqués en moyenne vallée sur la rive sénégalaise, d'effectuer un diagnostic agronomique à l'échelle de la parcelle et d'analyser le processus de production à l'échelle de l'aménagement hydraulique.

Mots clefs : Système de culture — Système irrigué — Riz irrigué — ACP intra-classe — Sahel — Sénégal.

Pierre Milleville : « Conduite des cultures pluviales et organisation du travail en Afrique soudano-sahélienne. Des déterminants climatiques aux rapports sociaux de production »

En Afrique soudano-sahélienne, les conditions climatiques exercent une influence déterminante sur les décisions techniques prises par les agriculteurs pour la conduite des cultures pluviales. Deux modèles dominants peuvent rendre compte des choix techniques et de l'organisation du travail qui en découle, spécifiques des conditions sahéliennes pour l'un, et sud-soudaniennes pour l'autre. Dans les situations intermédiaires, les pratiques des agriculteurs témoignent d'une certaine hybridation de ces deux modèles. Les décisions techniques dépendent par ailleurs du fonctionnement de l'unité de production, tributaire de règles d'organisation spécifiques. La compréhension du comportement technique des agriculteurs suppose de se référer conjointement à ces deux niveaux, tout en sachant que d'autres paramètres explicatifs devraient également être mobilisés.

Mots clefs : Afrique soudano-sahélienne — Risque climatique — Cultures pluviales — Parcelle de culture — Enherbement — Comportement technique de l'agriculteur — Organisation et fonctionnement de l'unité de production.

Didier Genin : « Fonctionnement des systèmes d'élevage extensif. Cadre conceptuel et application à deux types d'élevage andin d'altitude »

A partir de la notion classique de système d'élevage et des bases méthodologiques qui sous-tendent l'étude de son fonctionnement, deux systèmes d'élevage extensif andins d'altitude contrastés sont analysés : un système pastoral camélidés-ovins et un système agro-pastoral. Il est montré l'intérêt d'une évaluation des orientations globales des pratiques d'élevage afin d'avoir une représentation synthétique des projets qui sous-tendent ces pratiques et de mieux cerner les possibilités d'évolution du système en présence. Ainsi, il est apparu que dans le système pastoral étudié, les décisions et les pratiques d'élevage qui en découlent sont dirigées en premier lieu vers une la recherche d'une optimisation de l'interface entre les animaux et les ressources pastorales natives disponibles, plutôt que vers des modifications des composants du système d'élevage. Dans le cas du système agro-pastoral, les produits attendus de l'élevage guident des pratiques plus directives concernant la nature des ressources fourragères à promouvoir et les types d'animaux à élever. Ceci a des implications importantes sur la nature des innovations techniques que peut être amené à proposer le zootechnicien pastoraliste pour renforcer la viabilité du système d'élevage.



Mots-clefs : Systèmes d'élevage — Elaboration des décisions — Elaboration des productions — Pratiques — Elevages andins.

Jean-Christophe Castella : « Pression parasitaire, pratiques paysannes et viabilité des systèmes cotonniers en Thaïlande »

Les pratiques agricoles d'accroissement des surfaces cultivées et d'intensification ont entraîné de profondes transformations des écosystèmes (rapide recul de la forêt, évolution du faciès de l'entomofaune, phénomènes de résistance aux insecticides...) ainsi que des systèmes de production (forte utilisation d'intrants, relation de dépendance vis à vis de l'amont et de l'aval de la filière, « spirale » d'accroissement cumulatif des coûts de production et de l'endettement paysan...) qui sont à l'origine d'une importante crise de la production cotonnière en Thaïlande. Une démarche de diagnostic a été menée de 1991 à 1994 afin d'identifier les conditions nécessaires au maintien voire à l'amélioration de la viabilité des systèmes cotonniers. L'enquête s'est attachée à mettre en perspective les choix techniques des agriculteurs, confrontés à des contextes agro-écologiques et socio-économiques diversifiés, en rapport avec les principaux types de fonctionnement des systèmes de production dans deux régions contrastées. Un réseau d'essais en milieu paysan a été associé au dispositif d'enquêtes afin de créer un référentiel permettant d'évaluer l'effet des pratiques de protection de la culture cotonnière sur les pertes de récoltes dues aux insectes ravageurs.

Mots-clefs : Cotonnier — Pratiques paysannes — Systèmes de production — Lutte intégrée — Thaïlande.

Isabelle Dounias : « Prise de décision et réalisation des semis de la culture cotonnière dans la région Nord du Cameroun »

L'analyse des processus de décision s'est développée récemment en agronomie à partir d'une approche sectorielle de l'exploitation agricole, et autour du concept de modèle d'action qui repose sur l'hypothèse que, pour la campagne agricole, l'agriculteur organise ses décisions techniques de façon « anticipée ». Nous avons voulu tester cette hypothèse sur le cas de l'implantation du cotonnier au Nord-Cameroun, dans des systèmes de culture pluviaux tributaires de l'irrégularité du retour des pluies, et des unités de production disposant d'une main d'oeuvre essentiellement familiale et d'un équipement limité. Nous avons pu montrer, à l'aide de trois exemples, que l'organisation du travail en début de campagne était déterminante pour expliquer l'étalement des semis de cotonnier. Le déroulement réel des semis de cotonnier, pour les trois unités de production présentées, résulte en grande partie d'un déroulement prévu, avec l'activation d'un corps de règles de décision dont la structure est

proche de celle des modèles d'action construits par l'Inra dans d'autres situations.

Mots clefs : Organisation du travail — Modèle d'action — Prise de décision — Culture cotonnière — Nord Cameroun.

François Papy : « Savoir pratique sur les systèmes techniques et aide à la décision »

En se limitant à la gestion des systèmes techniques de production, l'auteur donne un aperçu condensé des travaux menés en France (essentiellement au sein du département SAD de l'Inra) pour répondre à la critique, déjà ancienne, du modèle linéaire descendant de diffusion d'une innovation. Partant d'une analyse des pratiques, entreprise pour comprendre « les raisons que les agriculteurs ont de faire ce qu'ils font », les chercheurs de ce département ont visé à modéliser sous forme de règles les processus de décision. Sous le terme de modèle d'action, on désigne l'organisation anticipée des décisions qui consiste en un découpage du temps et de l'espace permettant de traiter, de façon hiérarchisée, les incertitudes auxquelles l'agriculteur doit faire face. Ces modèles d'action ne sont pas explicites : ils doivent être construits en collaboration avec l'agriculteur. En procédant ainsi, on met en évidence les modèles de connaissance des agriculteurs. Ils peuvent résulter d'une expérience propre de l'agriculteur mais sont aussi le résultat d'un échange social avec d'autres agriculteurs et des techniciens.

Ces recherches ont comme finalité l'aide à la décision et l'organisation du conseil. Par les nouvelles relations qu'elles sous-tendent entre agriculteurs et conseillers, elles renouvellent le métier même de ces derniers. En associant les conseillers techniques à leurs travaux, les chercheurs doivent désormais mettre au point de nouveaux outils de conseil, tant pour le conseil individuel que pour le conseil de groupe. Au moment où se met en place une nouvelle politique agricole commune (PAC) ces perspectives répondent à une attente vive.

Mots clefs : Techniques — Pratiques — Systèmes de culture — Systèmes d'élevage — Modèles d'action — Modèles de connaissance.

Pierre-Yves Le Gal : « De la parcelle au périmètre irrigué. Comprendre l'organisation collective du travail pour juger de la conduite d'une double culture annuelle »

L'analyse et la représentation des processus de décision technique des agriculteurs ont connu des avancées récentes en France, à partir de recherches réalisées sur des exploitations à décideur en général unique. Cet article présente une étude menée au Sénégal sur ce thème, avec deux

périmètres irrigués où la gestion collective de l'eau et des matériels agricoles amène les organisations paysannes à coordonner à la fois des opérations culturales et des acteurs multiples. Le diagnostic porté sur la conduite d'une double culture annuelle sur ces aménagements passe (i) par la prise en compte des décisions individuelles des paysans sur leurs parcelles et de celles des entrepreneurs de travaux agricoles dont les organisations paysannes louent le matériel, et (ii) par l'analyse des solutions mises en oeuvre par ces dernières pour coordonner ces comportements multiples et incertains. Le problème posé met en jeu des aspects climatique, agro-physiologique, technique et organisationnel. Nous illustrons notre démonstration en montrant comment les décisions individuelles de drainage des parcelles entraînent une hétérogénéité des états parcellaires qui complique le choix d'une date de déclenchement des récoltes. Cette situation est gérée différemment par les structures collectives, en fonction de la flexibilité que leur offrent la structure hydraulique du périmètre et leurs relations avec les entrepreneurs agricoles. Nous présentons en conclusion les perspectives offertes aux agronomes par ces problèmes, qui les rapprochent des recherches menées en entreprise par les sciences de gestion.

Mots clefs : Gestion collective — Riz irrigué — Double culture — Organisation du travail — Coordination — Incertitude.

Patrice Levang : « De paysan à planteur en six ans, ou l'étonnante reconversion d'un centre de transmigration en Indonésie »

Batumarta ne se veut pas un centre de transmigration comme tant d'autres. Grâce au soutien financier de la Banque mondiale et à l'assistance technique de nombreux instituts nationaux et internationaux, Batumarta est conçu dès le départ comme un projet pilote, un modèle à suivre pour les transmigrations à venir. Pourtant conçus par des experts renommés, les systèmes de culture proposés ne recueillent pas l'assentiment des colons. Ces derniers commencent par ignorer ou détourner les thèmes techniques recommandés, puis, dès l'entrée en production des hévéas, renoncent carrément à la culture vivrière. Ignorant de nouveau les recommandations des experts, les migrants surexploitent leurs plantations à des fins de consommation immédiate. Considéré par certains comme un échec, Batumarta n'est pas étranger aux règles extrêmement coercitives appliquées dans tous les projets ultérieurs. La communication met l'accent sur le comportement économique des petits planteurs et sur la profonde incompréhension des pratiques paysannes par les agronomes du projet.

Mots clefs : Colonisation agricole — Transfert de population — Transmigration — Agriculture paysanne — Systèmes de production — Hévéaculture — Sumatra — Indonésie.

Anne Biarnès et Jean Philippe Colin : « Incertitude, contraintes et pratiques des producteurs de pomme de terre dans la Sierra Madre orientale au Mexique »

Dans les étages d'altitude de la Sierra Madre orientale, au Mexique, la pomme de terre, totalement destinée au marché, est produite pour l'essentiel dans le cadre d'exploitations faiblement dotées en terre et en capital. Le milieu naturel est particulièrement contraignant ; les possibilités de diversification des cultures sont réduites et les fortes pentes limitent la mécanisation. Les coûts de production élevés, une faible maîtrise des rendements et une forte variabilité des prix sur le marché rendent la production particulièrement risquée. Cette situation de petits exploitants produisant pour le marché, sous fortes contraintes et dans un contexte d'incertitude prononcée pose la question de la reproduction des exploitations. L'étude situe les pratiques agricoles dans trois ensembles de pratiques techniques et économiques visant à réduire les risques et à surmonter les mauvaises campagnes agricoles : des pratiques dites « offensives » visant à éviter les crises et(ou) à maximiser les revenus tirés de la culture de la pomme de terre ; des pratiques dites « défensives » permettant de limiter la variabilité des revenus tirés de la pomme de terre ou l'incidence des crises que connaît cette production sur les revenus du système famille-exploitation ; des pratiques dites « adaptatives » permettant une adaptation conjoncturelle post-crise. Les marges de manoeuvre dont les producteurs disposent pour mettre en oeuvre ces différentes pratiques sont analysées ainsi que l'efficacité de ces pratiques.

Mots clefs : Mexique — Pomme de terre — Minifundisme — Incertitude — Pratiques paysannes.

## Abstracts

---

Jean-Marc Meynard : « Modelling the agrosystem as a way of assessing cropping systems »

Simulation models can now be used to improve cropping systems and develop innovations in crop husbandry. These models simulate the crops and their environment. This report first shows that models are very useful for developing elementary decision rules and crop management systems, crop rotations, and the spatial organisation of cropping systems. It then identifies several problems in the methodology of model-based improvement of cropping systems, such as the qualities of decision-support indicators, choosing the models best suited to predict the effect of cropping practices on production and environment, and the principles of designing and evaluation of new cropping systems.

**Keywords :** Sustainable agriculture — Crop models — Decision rule — Model-based decision support systems — Crop rotation — Spatial organisation of cropping systems.

Jean Joinville Vacher, Carmen del Castillo, Jacques Dizes, Roland Bosseno : « A strategy for dealing with drought on the Bolivian altiplano. The use of *Solanum* biodiversity »

The Bolivian altiplano is a large agricultural plateau at an average altitude of 4000 m. Peasants have developed a specific type of agriculture, of which a major feature is the use of *Solanum* biodiversity to cope with the great risk of drought and frost. The hydric and photosynthesis responses to drought of three species of *Solanum* widely cultivated on the altiplano (*S. curtilobum*, *S. juzepczukii* and *S. tuberosum* ssp *andigena*) were compared by analysing the changes in water use, leaf water potential, stomatal conductance and leaf gas-exchange. The crops were cultivated in the field and during a very dry agricultural season (1991-92). *S. curtilobum* reduced its early stomatal conductance, transpiration and photosynthesis during the drought resulting in a massive decrease in the midday leaf potential (-2 MPa). Drought tolerance by *S. juzepczukii* was based on a high stomatal conductance and a maintenance of water uptake. *S. tuberosum* ssp *andigena* showed great stomatal sensitivity at the beginning of the drought which was followed by relative tolerance when the drought persisted. This diversity of responses corresponds to the spatial-temporal variations in the risks of drought on the altiplano.

**Keywords :** *Solanum* — Diversity — Drought — Andes — Water relations.

Jean-Pierre Raffailac : « Effects of population density on the yield of cassava »

The objectives of cassava production vary from an country and zone to another, but root tubers must satisfy certain qualitative criteria in order to be well accepted. This experiment compared three plantation densities to analyze the quality of the yield with different spacings. The dynamics of the canopy was altered two months after planting. Plants grown at low density developed more ramifications to cover the ground. The behaviors of single-shoot and multi-shoot plants were different, widely spaced plants produced more root tubers that filled more rapidly. All three planting densities gave the same yield but the quality, in terms of individual tuber weight, differed. Low density planting produced more large tubers, wich were more marketable, but it produced poor quality cuttings for the following plantation. The weights of tubers per hectare may thus depend on production objective.

Keywords : Cassava — Yields components — Spacing — Ivory Coast.

Anneke de Rouw, Jean-Louis Rajot, Gaby Schmelzer : « The effects of zebu dung on millet yield, weeds, and soil surface crusting in Niger »

Niger is a country of both rainfed agriculture and semi-nomadic pastoralism. Fields are manured during the dry season by zebus corralled on the cultivated land at night. The manured surface receives between 0.5 - 5 t/ha of dry dung every 3 - 5 years. An on-farm trial (three years) was carried out to examine whether the poor quality dung was enough to sustain millet production. Dry zebu dung (5 t/ha) was applied without urine or crop residues. Dung application favoured the early vigour of both millet and weeds, but the number of weed plants remained unaffected. It also improved ( $P < 5\%$ ) the number of panicles/hill and single grain weight, but the grain yield was not substantially improved (n.s.). Soil surface roughness increased, because the dung application reduced wind erosion. Dung also helped to trap and thus improve infiltration. The initial soil fertility was maintained over the three years by dung application, whereas three years of cultivation without manure resulted in acidification of the top soil (5-20 cm), and loss of CEC and organic matter. The practice of dung application can allow farmers to continue cropping the same field for a longer period, thus putting off the time when a new field is cleared. This form of manuring is widespread in the Sahel and is typical of systems in which it is difficult to obtain fallow land. It is the first step toward permanent cropping and the integration of rainfed agriculture and semi-nomadic pastoralism.

Keywords : Pear millet cultivation — Dung — Soil crusting — Sahel — Weeds — Tillage.

Luc Gilot and Roger Calvez : « Watering strategies, water delivery and crop water deficits in a traditionally irrigated scheme. The case of Urcuqui (Ecuador) »

The relationships between watering strategies, present functioning and development of an irrigation system were studied in a traditionally irrigated scheme. Water is delivered by rotational distribution. Analysis of the distribution rules showed that individual rights for water were very high. As a consequence, the rotation duration is too long and watering is inefficient. Follow-up of real irrigation practices for two cropping periods showed that watering strategies were very extensive. They are based on individual decisions not to water when the cost of this work is thought to be more than the expected gain. Although the overall access to water is technically sufficient, crop water requirements were generally not satisfied and were strongly linked to the rain. However, the users' strategies also differed greatly. The few farmers who chose intensive practices took advantage of the shortening in the rotation that results from the many withdrawals.

Keywords : Irrigation — Water distribution rules — Reality of water delivery — Watering strategies — Ecuador — Cluster analysis.

Jean-Christophe Poussin : « Assessment of an irrigated rice cropping system in the Senegal river valley »

The development of irrigated rice in the Senegal river valley is a great challenge for the riverside States. The potential yields and the possibility of cultivating two crops per year should increase food security and reduce rural exodus. Unfortunately, the results of rice production have been disappointing. The average yield is under 5 t/ha, but the costs are between 2,5 and 4 t/ha, and intensity of cultivation is generally below one. An agronomical study of the irrigated rice cropping systems practiced by farmers in the left side of the Senegal middle valley was carried out to identify problems at the field level, and to understand the production process for the whole irrigated scheme.

Keywords : Cropping system — Irrigated scheme — Irrigated rice — PCA within class — Sahel — Senegal.

Pierre Milleville : « Rainfed crop management and work organisation in the Sudan-Sahel region of Africa. From climatic determinants to social relations of production »

In the Sudan-Sahel region of Africa, climatic conditions determine the decisions made by the farmers about rainfed crop management. These technical choices and the resulting work organisation are described by

two main models. One model is specific to the conditions in the Sahel, the other for southern Sudan region. The farmers' practices, in intermediate areas, are a mixture of the two models. Technical decisions also depend on the way the farm system functions, which, in turn, is governed by the social organisation. Thus understanding the farmers' technical behaviour requires a knowledge of both these aspects together with other parameters.

Keyword : Sudan-sahel Africa — Climatic risk — Rainfed crop — Crop field — Sowing to grass — Farmer's technical behavior — Organisation and functioning of the farm system.

Didier Genin : « Functioning of livestock breeding systems. Conceptual framework and application to two Andean livestock breeding systems »

The classical concept of livestock breeding system and its methodological basis were used to analyse two Andean systems : a mixed camelid-sheep pastoral system and an agropastoral system. The interest of an evaluation of the overall orientations of the breeding practices was carried out to obtain a synthetic representation of the aims of these practices and to explore the ways in which the system is changing. In the pastoral system, decisions and breeding practices are designed to optimise interactions between native forage resources and animals rather than modify the components of the system. The agropastoral system places its main emphasis on the expected animal products and by-products, and these influence more directive practices concerning the nature of forage resources to be promoted and the type of animals to be bred. This has great implications for the nature of technical innovations that the range manager can contemplate to increase the viability of the system.

Keywords : Animal breeding systems — Decision making — Production development — Practices — Andean animal husbandry.

Jean-Christophe Castella : « Pest pressure, farmers' practices and sustainability of cotton production in Thailand »

Increases in agricultural land and intensive cultivation practices have brought about fundamental transformations of the ecosystems (eg. deforestation, changes in the entomofauna and insect resistance), as well as the farming systems (high input farming, dependence on agro-chemicals and lint processing industries, spiralling production costs, etc.) all of which have led to a steady reduction in Thai cotton production during the last few years. A system approach was used from 1991 to 1994 to identify the conditions necessary for sustainable cotton production. On-farm surveys focused on farmers' technical choices in relation to characteristics of the bio-physical and socio-economic environments as well as the differenti-



ated functioning of their production systems. On-farm experiments designed to assess the impact of different pest management practices on the cotton crop were also carried out in the same areas.

**Keywords :** Cotton — Farmers' practices — Production systems — IPM — Thailand.

**Isabelle Dounias :** « Decision making and cotton plant seeding in North Cameroon »

There are recently been progress in the analysis of farmers' decision-making using studies based on a sectorial approach to the farm, and on a new concept, the action model. The action model assumes that farmers plan their technical decisions in advance. This assumption was tested for cotton plant seeding in North Cameroon, in cropping systems that depend on an unevenly distributed rainfall, and are managed by equipment-low family farms. Three farms were studied. The three examples showed that work organisation was the determinant factor. The scheduling of cotton plant seeding was found to depend on forward scheduling, based on a set of decision rules that are similar to those of action models built by Inra to describe other situations.

**Keywords :** Work organisation — Action model — Decision making — Cotton plant — North Cameroon.

**François Papy :** « Working knowledge of technical systems and decision support »

This is an overview of the studies conducted in France (mainly in the SAD department of Inra) in response to the long established criticism of the descending linear model for the diffusion of innovation. The field addressed is restricted to the management of technical systems of production. An analysis of practices was undertaken to understand « why farmers do what they do » and the team at the SAD department then used decision-making rules to construct models. The term action model is used to describe the anticipated organisation of decisions, which consists of conceptually defining blocks of time and space so as to handle the uncertainty facing the farmer in a hierarchical way. These action models are not explicit, they must be constructed in collaboration with the farmer. This approach reveals the farmers knowledge, which can be the result of the farmers experience or interactions with other farmers and technical experts.

These studies are designed to provide decision support, and to organise advice. They require new relationships between farmers and their advisors and have implications for the approach to be used by the advisors

advisors and have implications for the approach to be used by the advisors themselves. By implicating technical advisors in their work, the researcher have to develop new tools for advice, for both individual and group consulting. These objectives are particularly appropriate when a new common agricultural policy (CAP) is being implemented.

Keywords : Techniques — Practices — Cropping systems — Livestock systems — Cognitive action models.

**Pierre-Yves Le Gal :** « From the plot to the irrigated scheme. Understanding the collective work organization so as to assess the management of an annual double cropping system »

Recent research has been conducted in France to analyse and describe farmers' technical decision-making processes, mainly on farms managed by a single decision-maker. This paper describes a study carried out on the same topic in Senegal, with two irrigated schemes where water and in-field equipment are collectively managed. The farmer's organizations must therefore coordinate several cultural operations and actors. The way in which farmers managed an annual double cropping system on these schemes was assessed by taking into account the individual decisions made by farmers on their plots and by contractors who rented their equipment to the farmer organizations, and by analysing the solutions implemented by these organizations to coordinate this multiple and uncertain behaviour. The problem has climatic, agro-physiological, technical and organizational features. The rationale for the analysis is illustrated by showing how individual decisions of plot drainage involve a diversity of plot status, which makes choosing a starting date for harvest difficult. The solutions adopted by farmer organizations to solve this question depend on the flexibility of the hydraulic components of the scheme and of the relationships between farmers and contractors. The conclusion outlines the perspectives offered by these problems to agronomists, with reference to research carried out on farms by the management sciences.

Keywords : Collective management — Irrigated rice — Double cropping — Work organisation — Coordination — Uncertainty.

**Patrice Levang :** « From rags to riches, or how peasants moved from food self-sufficiency to market oriented tree crops in six years »

Batumarta is not a typical transmigration center. Financial support from the World Bank and technical assistance from numerous national and international organizations has ensured that Batumarta was conceived from the outset as a pilot project, a model for future transmigrations. Although designed by renowned experts, the proposed cropping systems

did not obtain settlers' approval. To begin with, these migrants disregarded or misused recommended component technology. Then, once the rubber trees began producing, they abandoned food crops completely. Again, paying no attention to the experts' recommendations, the colonists overtopped their plantations for immediate consumption. Considered to be a failure, Batumarta is not unfamiliar with the extremely stringent regulations applied to Nucleus Estate and Smallholders projects. This paper focuses on the deep misunderstanding of peasant by agronomists and on the economic behavior of cash cropping smallholders.

Keywords : Peasants — Farming systems — Food crops — Free crops — Plantation development — Rubber — Transmigration — Sumatra — Indonesia.

Anne Biarnès and Jean-Philippe Colin : « Uncertainty, constraints and practices of potatoes farmers in the eastern Mexican Sierra Madre »

Potatoes are produced as a cash crop in the eastern Mexican Sierra Madre, mainly by small farms with little land or credit. The natural environment is particularly constraining, there are few opportunities for crop diversification and the use of mechanization is limited by the steep slopes. The combination of high production costs, farmer's low technical capacities and huge price variability makes potatoes production very risky. This raises the question of whether this situation of small farms producing for the market under strong structural constraint and in a context of great uncertainty is sustainable. The study describes the technical and economic practices developed by these farmers, with proactive practices designed to avoid crisis and (or) to maximise the income generated by potato production, defensive practices designed to reduce variations in income or to limit the impact of economic crisis in the potato sector and adaptive practices used to facilitate post-crisis adaptation. The study discusses the conditions under which farmers adopt the above practices, and examines their effectiveness.

Keywords : Mexico — Potato — Small farms — Uncertainty — Peasant practices.

---

achevé d'imprimer sur les presses de :



**LAYAUZELLE GRAPHIC**

IMPRIMERIE A. BONTEMPS

87350 PANAZOL (FRANCE)

N° Imprimeur : 8026024-98

Dépôt légal : Mars 1998

---

La conduite du champ cultivé constitue un objet d'étude central que les agronomes peuvent aborder selon deux points de vue complémentaires. Le premier s'attache à comprendre le fonctionnement de l'agrosystème, afin de disposer de références techniques utiles à l'établissement de diagnostics et à la conception de solutions techniques. Le second s'intéresse aux pratiques et aux décisions des agriculteurs, et permet de préciser les conditions et les modalités d'adoption des innovations. Des expériences de recherche portant sur des situations agricoles très variées illustrent ces deux approches.

Mots clés : Champ cultivé – Agrosystème – Diagnostic agronomique – Pratique – Changement technique.

*Field management is a key subject for study by agronomists, who can approach it from two complementary viewpoints. The first is aimed at understanding the functioning of the agrosystem in order to obtain the set of technical references needed for the performance of diagnoses and the design of technical alternatives. The second concerns farmers' practices and decisions in order to specify the conditions and adoption procedures of the innovations. The two approaches are illustrated by research experiments applied to very varied agricultural situations.*

*Keywords: Cultivated field – Agrosystem – Agronomic diagnostic appraisal – Practices – Technical change.*

**Orstom éditions**  
213, rue La Fayette  
75480 Paris cedex 10

**Diffusion**  
32, avenue Henri-Varagnat  
93143 Bondy cedex

110 FF t.t.c.

ISSN : 0767-2896  
ISBN : 2-7099-1387-9